



Cours

CHAPITRE 1

Sciences de l'ingénieur



Besoins et solutions _____	1
Compétences – Connaissances _____	2
Etude du comportement physique _____	3
Cahier des charges _____	4
Analyse fonctionnelle – Généralités _____	5
Analyse fonctionnelle – Fonctions _____	6
Analyse fonctionnelle externe _____	7
Analyse fonctionnelle interne _____	8
Analyse fonctionnelle – Bête à cornes _____	9
Analyse fonctionnelle – Pieuvre _____	10
Analyse fonctionnelle – Schéma-bloc _____	11
Analyse fonctionnelle – FAST _____	12
Analyse fonctionnelle – SADT _____	13
Modélisation fonctionnelle – Structure générale _____	14
Modélisation fonctionnelle – Chaîne d'énergie _____	15
Modélisation fonctionnelle – Chaîne d'information _____	16
Acquisition de grandeurs physiques _____	17
Types de signaux _____	18
Conditionnement du signal – Généralités _____	19
Conditionnement du signal – Convertisseur CAN CNA _____	20
Chaîne d'acquisition – Caractéristiques des capteurs _____	21
Chaîne d'acquisition – Choix de capteurs _____	22

1 - L'HOMME ET SES BESOINS

L'Homme a des besoins fondamentaux tels que l'accès à l'eau, à l'énergie, à l'alimentation, à l'habitat, au transport, à la santé, à l'éducation et à l'information. On peut aussi ajouter les loisirs, le sport, la sécurité...

communication



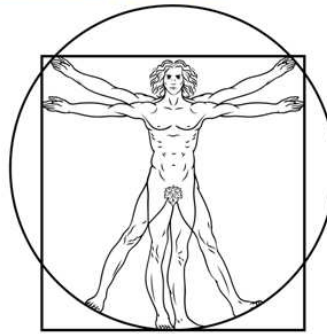
alimentation



INFRASTRUCTURE



energie



HABITAT

TRANSPORT
MOBILITE

sante



LOISIR

SPORT



2 - LES SCIENCES DE L'INGENIEUR

Pour satisfaire les **besoins** de l'Homme, il faut apporter des **solutions**. Leur recherche doit se faire dans un **contexte environnemental contraint**, au sein d'une **concurrence économique** internationale et avec la nécessité d'assurer un **développement durable** pour tous.

La réponse à ces défis passe inévitablement par la formation d'ingénieurs et de chercheurs aux compétences scientifiques et technologiques pluridisciplinaires de haut niveau, capables d'innover, de prévoir et maîtriser les performances des systèmes complexes, en intégrant les grandes questions sociétales et environnementales.

Définies ainsi, les Sciences de l'Ingénieur sont avant tout une activité de synthèse faisant intervenir tous les champs de connaissances existants, et notamment ceux des sciences physiques et des mathématiques.

⇒ **Les Sciences de l'Ingénieur se définissent donc par leur finalité et non par leurs modalités.**

Puisque l'état des connaissances n'est pas figé mais est mouvant, les Sciences de l'Ingénieur le sont aussi. Bien souvent, de nouvelles connaissances amènent de nouvelles solutions. De plus, les besoins de l'Homme évoluent avec le temps.

⇒ **Les Sciences de l'Ingénieur sont en perpétuelle évolution.**

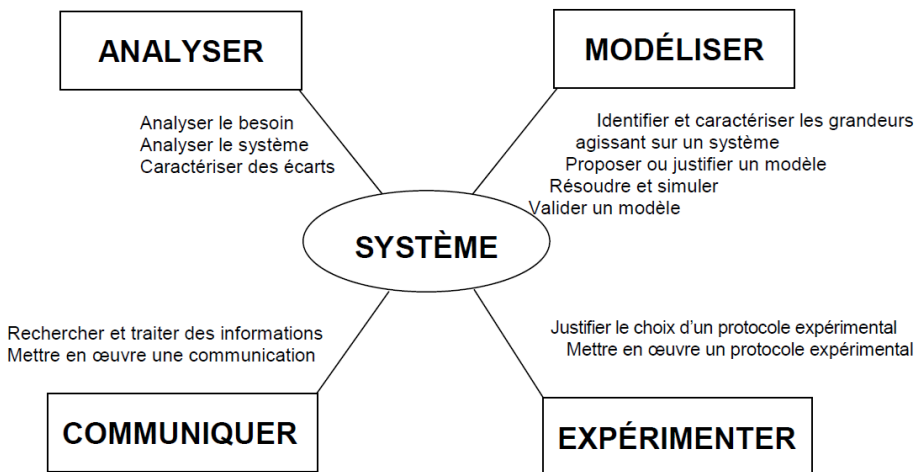


1 - COMPETENCES ATTENDUES

Trouver une solution pour satisfaire un besoin donné implique :

- ⇒ Un point de départ : l'expression du besoin
- ⇒ Un point d'arrivée : la solution technique répondant au besoin

Cela dit, en classe de Première et Terminale, nous ne chercherons pas nécessairement à créer des produits nouveaux (faute de temps et de compétences justement). Notre démarche consistera plutôt à partir d'un système existant, d'identifier formellement le besoin auquel il répond puis de voir en quoi il y répond bien (ou pas).



La mise en relation de ces points de départ et d'arrivée implique des **compétences** ; ce sont les vôtres.

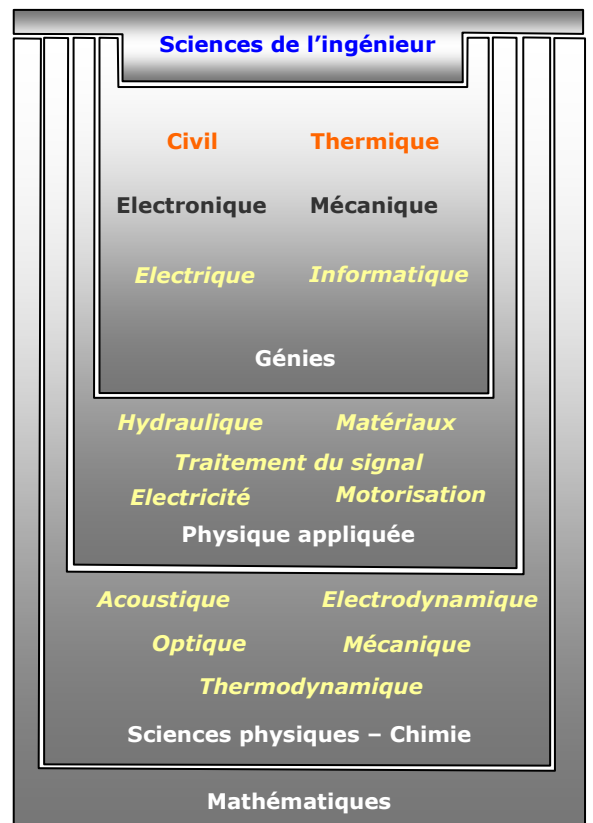
2 - LES CONNAISSANCES NECESSAIRES

Elles sont vastes, sans limites si ce n'est celles qu'on veut bien se donner.

Analyser un produit, le modéliser pour voir comment il se comporte au travers de calculs, de simulations informatiques ou d'expérimentations nécessite quelques connaissances techniques.

L'ensemble de ces connaissances relève de différentes spécialités appelées **génies**. Ils s'appuient essentiellement sur des notions de **physique appliquée** qui elles mêmes sont issues de la **physique théorique**.

*On voit au passage dans ce schéma la place importante et inévitable qu'occupent les **mathématiques**...*



1 – QU'EST CE QU'UN COMPORTEMENT PHYSIQUE ?

Tout système matériel (une voiture, un téléphone, une maison, un pont, une paire de chaussures, une centrale nucléaire, etc.) a été conçu, c'est-à-dire pensé, avant d'être fabriqué. Or, quand on conçoit quelque chose, on souhaite qu'il réponde le mieux possible au besoin. Par exemple, une chaussure ne doit pas faire mal au pied et se doit donc d'être souple mais pas trop. On se demande alors de quoi dépend la souplesse de la chaussure (des matériaux choisis, des épaisseurs de semelle, de tissus, etc.).

Il s'agit là d'un comportement physique, au même titre que la production d'électricité d'une centrale dépend de la vitesse de rotation des turbines.



Dans tous les cas, on a besoin de savoir comment le système se comporte d'un point de vue physique.

2 – ET COMMENT ON FAIT POUR ETUDIER UN COMPORTEMENT PHYSIQUE ?

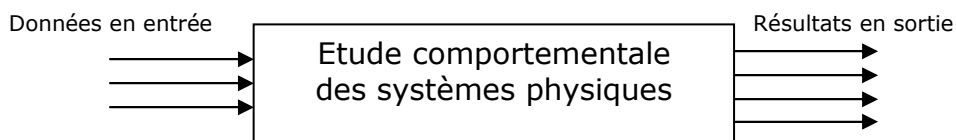
Il y a deux façons de faire :

- 1) **On fait des expériences réelles** ; dans l'exemple de la chaussure, on applique une force connue sur elle et on mesure sa déformation. On fait plusieurs essais avec différents matériaux avec l'idée de trouver celui qui convient le mieux.



- 2) **On fait des calculs théoriques** ; dans l'exemple de la chaussure, on applique les lois de la mécanique des solides déformables et grâce aux formules, on arrive à calculer la déformation pour une force donnée et un matériau donné.

Mais il arrive parfois et même souvent que les calculs soient trop complexes (car le système est très compliqué). Dans ce cas, le comportement physique du système est **simulé** à l'aide de logiciels spécifiques. C'est de la simulation numérique.



3 – QUEL RAPPORT Y-A-T-IL ENTRE LA SIMULATION, L'EXPERIMENTATION ET LE CALCUL ?

Disons déjà qu'il existe des théories physiques (la mécanique, l'optique, l'électromagnétisme, et beaucoup d'autres). Ces théories permettent de résoudre des problèmes « sur le papier », c'est-à-dire en faisant des **calculs**.



Allez-vous apprendre à faire des calculs ? Oui !

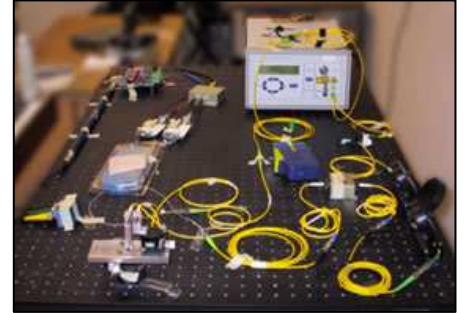
$$\begin{aligned}
 q &= -K(h+H) \frac{\partial h}{\partial x} = Ix + A \Rightarrow -K(h + \frac{h}{\varepsilon}) \frac{\partial h}{\partial x} = Ix + A \\
 \Rightarrow -K(\frac{1+\varepsilon}{\varepsilon}) \frac{1}{2} \frac{\partial (h^2)}{\partial x} &= Ix + A \Rightarrow \frac{\partial (h^2)}{\partial x} = -2\varepsilon \frac{Ix + A}{K(\varepsilon + 1)} \\
 \text{d'ou } \Rightarrow \begin{cases} h(x) = \sqrt{-\varepsilon \frac{Ix^2 + 2Ax - 2B}{K(\varepsilon + 1)}} \\ H(x) = \sqrt{-\frac{Ix^2 + 2Ax - 2B}{K\varepsilon(\varepsilon + 1)}} \end{cases}
 \end{aligned}$$



Concernant la **simulation numérique**, et bien on confie à des logiciels la charge d'effectuer les calculs à partir des théories physiques qui ont été programmées. L'avantage est que les ordinateurs sont très rapides et permettent donc de **traiter des problèmes multi-physiques très complexes**, tellement complexes même, qu'il est impossible de les traiter par le calcul manuel.

Allez-vous faire des simulations ? Oui !

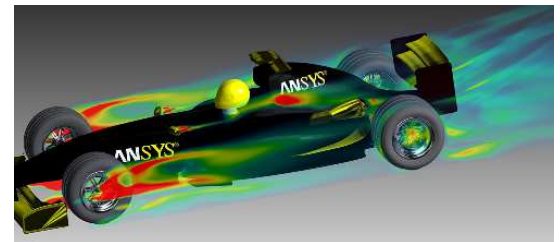
Et enfin, **l'expérimentation** : là, c'est la partie pratique : on bricole, on soude, on scie, on utilise des masses pour créer des chargements, on mesure ce qu'on veut connaître avec des instruments de mesure (règle, thermomètre, voltmètre, etc.). On peut aussi mettre des capteurs sur le système pour acquérir des informations et ensuite les traiter. *Cet aspect là est d'ailleurs lié à la simulation logicielle puisque les informations venant des capteurs peuvent être traitées en temps réel par les ordinateurs.*



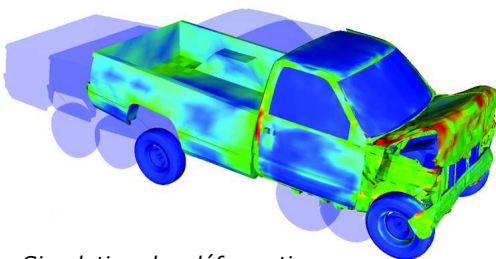
Allez-vous faire des expérimentations ? Ce n'est pas toujours simple car il s'agit de mettre en œuvre du matériel, mais ça sera le cas.

4 – EST-CE QU'ON PEUT SIMULER LE COMPORTEMENT DE N'IMPORTE QUEL SYSTEME ?

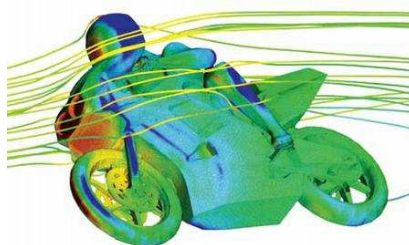
Aujourd'hui, on peut dire globalement oui ! Les ordinateurs sont suffisamment puissants et les logiciels existants relativement performants. Nous utilisons INVENTOR pour faire de la simulation mécanique, mais on peut aussi, avec d'autres logiciels, simuler beaucoup d'autres choses ! Imaginez un mécanisme avec des pièces qui bougent, ça c'est de la mécanique du solide. Le frottement des pièces en mouvements dégage de la chaleur, ça c'est de la thermique. Ajoutons un jet d'air pour évacuer cette chaleur. Ca c'est de la mécanique des fluides.



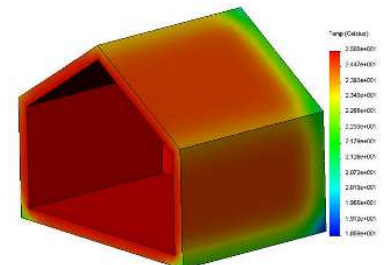
Peut-on simuler ça ? Et bien oui ! Le modèle à mettre en place est dit **multi-physique** car il fait intervenir différents domaines des sciences physiques (mécanique du solide, des fluides, thermique).



Simulation des déformations d'un véhicule



Simulation des écoulements fluides pour une moto



Simulation des déperditions thermiques d'une maison

La **simulation numérique** des systèmes est très présente aujourd'hui et quasi-systématique. Elle vient en remplacement ou en complément de **l'expérimentation** et du **calcul manuel**.

1 - L'EXPRESSION DU BESOIN

Les Sciences de l'ingénieur ont vocation à répondre aux besoins des hommes. Pour que la réponse apportée à un besoin donné soit satisfaisante, la première étape d'une démarche visant à mettre au point un produit doit alors être d'exprimer le besoin.

On comprend ici qu'un besoin mal exprimé peut donner lieu à un produit mal adapté et, a contrario, un **besoin bien exprimé** donnera normalement un **produit bien adapté** aux exigences de l'utilisateur.

Bien qu'intéressant, nous ne chercherons pas à concevoir un produit en partant d'un besoin ressenti car, au lycée, l'approche des Sciences de l'Ingénieur est plutôt orientée sur l'analyse des systèmes existants, de leurs performances, et des écarts pouvant exister entre ce qu'on a et ce qu'on voulait.

2 - LE CAHIER DES CHARGES - GENERALITES

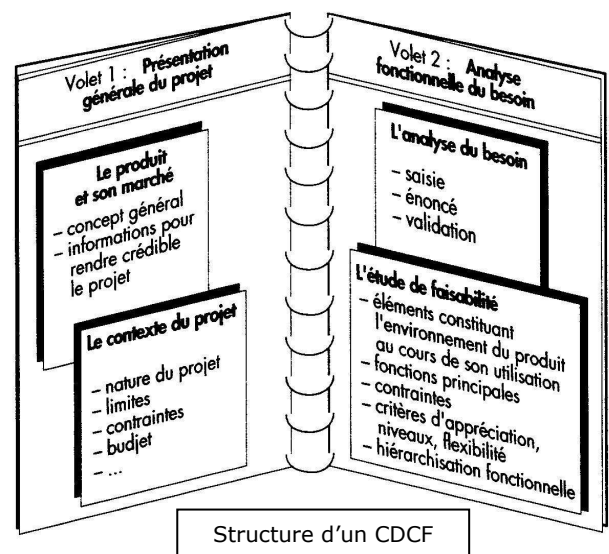
Au problème « comment exprimer le mieux possible un besoin ? » la réponse est simple : rédiger un cahier des charges.

Le cahier des charges est un document décrivant de façon précise le besoin de l'utilisateur final.

La rédaction d'un cahier des charges nécessite un vocabulaire simple et univoque pour que le concepteur n'ait pas la possibilité de mal interpréter ce qui est dit.

Le cahier des charges est un document organisé en plusieurs rubriques. L'analyse du besoin y est présente bien entendu, mais d'autres données peuvent être fournies (présentation générale du contexte, budget, durées

Le cahier des charges est un document structuré.



Sur la base du cahier des charges, le concepteur, avec ses compétences, propose une solution technique appropriée. Le cahier des charges doit donc avant tout faire apparaître **le besoin de manière fonctionnelle**, indépendamment de toute solution technique, sauf à préciser l'environnement technique dans lequel la solution demandée doit s'insérer. On parle souvent de « **cahier des charges fonctionnelles** ».

La recherche des fonctions d'un produit fait l'objet d'une méthode appelée « Analyse fonctionnelle ».


3 - SPECIFICATIONS FONCTIONNELLES

Le but de la spécification fonctionnelle est de définir avec précision *le besoin que l'on veut satisfaire*.

Exemples

- ⇒ Pour une souris d'ordinateur : masse maximale : 100 gr (ne préjuge ni des formes, ni des matériaux)
- ⇒ Pour un scooter : vitesse maximale: 45 km/h (ne préjuge pas du type de motorisation)
- ⇒ Pour une échelle : hauteur d'élévation : entre 2 et 2,5 m (ne préjuge pas de marches, de colonnes télescopiques).

Le concepteur-réalisateur peut donc faire tout ce qu'il veut d'un point de vue technique, pourvu que le système remplisse le rôle que l'on attend de lui.

 Une spécification fonctionnelle exprime ce que l'on attend du système, rien de plus.

4 - SPECIFICATIONS DE DEFINITION

Une spécification de définition impose comment on doit réaliser tout ou partie du système ; ceci implique la définition de **choix technologiques**.


Exemples

- ⇒ Pour la souris d'ordinateur : consommation de la lentille optique inférieure à 100 mW (implique une lentille optique)
- ⇒ Pour le scooter : cylindrée maximale : 49,9 cm³ (implique un moteur thermique)
- ⇒ Pour l'échelle : distance entre les marches : 0,45 m (implique des marches).

 Une spécification de définition limite (volontairement) les solutions techniques en imposant des choix.


5 - CADRE NORMATIF

Le document technique aujourd'hui reconnu par la norme Française pour réaliser la spécification fonctionnelle du besoin d'un système s'appelle le **Cahier Des Charges Fonctionnel (CDCF)**.

 Le CDCF d'un système est réalisé en conformité avec la norme NF X 50-151.

6 - CADRE JURIDIQUE

Le CDCF est un **contrat** passé entre le demandeur et le concepteur-réalisateur qui, de facto, engage les deux parties.

 Le cahier des charges est un document contractuel ; en cas de litige, il fait foi devant une juridiction.

1 - BUTS DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE

L'analyse fonctionnelle apporte des méthodes et des outils qui se veulent simples pour :

- * Exprimer le besoin
- * Identifier et caractériser l'ensemble des fonctions d'un produit
- * Rédiger le Cahier Des Charges Fonctionnelles (CDCF)

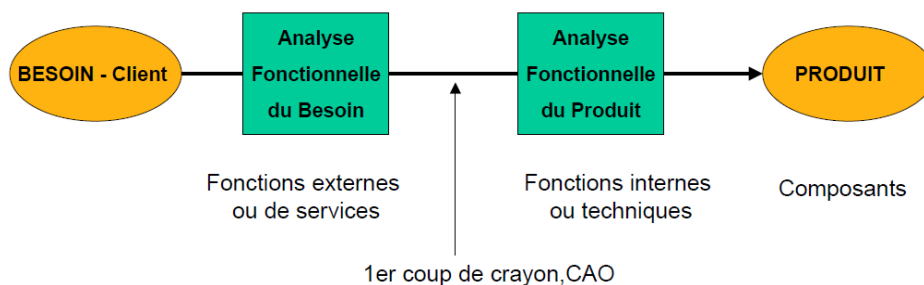
2 - CHAMPS D'APPLICATION

- * Produits et systèmes complets (mécanique, électrique, électronique, etc.)
- * Sous-systèmes (moteur, équipements, etc.)
- * Logiciels et systèmes d'information
- * Processus administratifs, fonctionnement des organisations
- * ...

3 - ANALYSE DU BESOIN – DU PRODUIT

* **Analyse fonctionnelle du besoin (AF externe)** permet l'expression du besoin du client, de son exigence fondamentale, uniquement en termes de **fonctions**. On distinguera la **fonction principale** (pourquoi le système a-t-il / doit-il être créé ?) et les **fonctions contraintes** (quelles sont les contraintes auxquelles il doit satisfaire ?). L'AF externe est aussi un **outil de dialogue** avec le client pour compléter des informations manquantes.

* **Analyse fonctionnelle du produit (AF interne)** caractérise le fonctionnement interne d'une solution technique.





1 - DEFINITION DU MOT « FONCTION »

Afnor : « Action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimée exclusivement en terme de finalité ».

2 - FORMULATION

Une fonction est toujours exprimée à l'aide d'un **verbe à l'infinitif** suivi de **compléments**. Le verbe ne doit pas préjuger d'une solution technique (« nettoyer » est mieux que « aspirer » par exemple).

3 - TYPES DE FONCTIONS

* Les fonctions de service (FS)

Ce sont les fonctions attendues par l'utilisateur, celles qui lui rendent directement un réel service. **L'utilisateur est satisfait si toutes les FS sont assurées**. Les FS sont de trois types :

⇒ Les fonctions d'usage (ou « principales ») sont la raison d'être du produit.

Exemple : « Générer une flamme » est la fonction d'usage d'un briquet.

⇒ Les fonctions d'estime décrivent ce qui peut plaire ou être agréable pour l'utilisateur.

Exemple : « Présenter une forme ultraplate » peut être une fonction d'estime pour un briquet.

⇒ Les fonctions secondaires (ou « complémentaires de service ») ne sont pas la raison d'être du produit mais elles doivent être satisfaites au même titre que la FP.

Exemple : pour le briquet, on pourrait avoir : « Ne pas salir les poches ou le sac », « Ne pas dégager de mauvaises odeurs », « Etre esthétique », etc.

* Les fonctions contraintes (FC)

Afnor : « La contrainte c'est la limitation à la liberté de choix du concepteur-réalisateur d'un produit ». **Les FC ne traduisent donc PAS un besoin de l'utilisateur**.

Les FC expriment :

- ⇒ Les aptitudes que le système doit posséder pour ne pas nuire aux objets, personnes, autres systèmes avec lesquels il interagit,
- ⇒ Les aptitudes que le système doit posséder pour être bien adapté à ces objets, personnes, autres systèmes.

Les aptitudes que le système doit posséder pour être en mesure de fonctionner pendant et/ou après les agressions éventuelles provenant de ces objets, personnes, autres systèmes.


Les FC ont donc pour origine : l'environnement, la technologie, les coûts, les règlements et normes.

Exemple : *pour le briquet, on pourrait avoir : « Interdire l'usage par des enfants », « Permettre une bonne prise en main », etc.*

* Les fonctions techniques (FT)

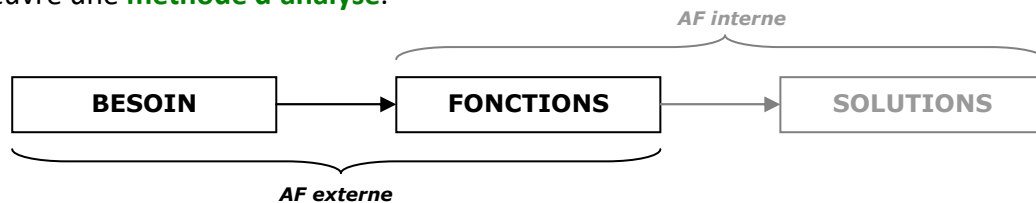
Ce sont les fonctions **internes au produit** ; elles résultent d'un type de conception déterminé. Ce faisant, les FT sont bien souvent ignorées de l'utilisateur car, bien qu'indispensables, elles ne l'intéressent pas.

Exemple : *pour le briquet, on pourrait avoir : « Stocker le carburant », « Limiter la hauteur de flamme », etc.*

 *Pour un produit qui n'existe pas encore, l'identification des FT n'est pas possible ; elles vont découler de l'intention de conception du concepteur.*

1 - DU BESOIN AUX FONCTIONS

Pour être bien compris, **le besoin doit être exprimé en termes de fonctions** et pour identifier les fonctions, il faut mettre en œuvre une **méthode d'analyse**.



On ne se préoccupe pas du tout des produits qui pourraient y répondre (s'ils existent) et encore moins de comment ils sont (seraient) faits. **A terme, on obtient le CDCF.**

2 - DEMARCHE ET OUTILS

L'objectif final est la **rédaction du CDCF**. Pour être rationnel et rigoureux dans la démarche d'analyse fonctionnelle du besoin, on utilise des outils, généralement graphiques. Chacun d'eux a sa propre utilité et ils se mettent en œuvre dans un ordre donné.

* Expression et validation du besoin fondamental

Se lancer dans une recherche de solution technique n'a de sens que si le besoin fondamental présente une pérennité suffisante, il faut donc d'abord exprimer le plus précisément possible l'exigence fondamentale, c'est-à-dire répondre à la question « Pourquoi le besoin existe ? » et « mesurer » sa pérennité.

⇒ Le formalisme à mettre en œuvre s'appuie sur une représentation graphique appelée **bête à cornes**.



Si la pérennité est jugée suffisante, alors rechercher des solutions techniques (c'est-à-dire investir d'un point de vue de l'entreprise) présente un intérêt. Si la pérennité ne semble pas au rendez-vous, mieux vaut abandonner le projet. On mesure ici la prise de risque inhérente à une telle démarche.

* Recenser les fonctions

Partant d'un besoin formellement exprimé et validé, comment chercher les fonctions ? Plusieurs techniques sont possibles et peuvent être combinées :

- ⇒ Recherche informelle (« brainstorming », étude d'insatisfaction, constat personnel, etc.),
- ⇒ Recherche à partir de l'environnement du système ⇒ **diagramme pieuvre**,
- ⇒ Recherche par l'étude du cycle de vie du système,
- ⇒ Étude des normes et réglementation,
- ⇒ Étude de ce qui se fait ailleurs (benchmarking),
- ⇒ ...

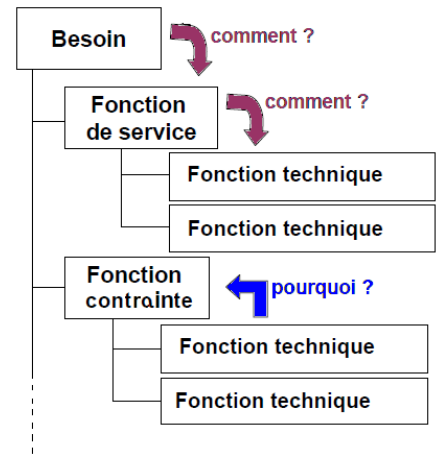
* Ordonner les fonctions

Les fonctions étant maintenant connues, il faut les positionner les unes par rapport aux autres.

⇒ Certaines fonctions sont des FS, d'autres des FC ou des FT.

L'organisation arborescente des fonctions vise à garantir l'utilité de chacune d'elles, permet d'éviter les doublons et incite à réfléchir à leur enchaînement logique.

L'arborescence s'obtient en respectant la logique des deux questions « **pourquoi ?** » et « **comment ?** » :



Les fonctions de premier niveau doivent être indépendantes et sommables en termes de coûts.

Toutes les FS et les FC sont nécessairement **rattachées au besoin** et toutes les FT sont nécessairement **rattachées à une FS ou FC**.

* Caractériser les fonctions

Pour chaque fonction, il faut trouver des critères objectifs quantifiables ; une flexibilité est ensuite définie (négociation avec le demandeur).

FONCTION	CRITERES	NIVEAUX	FLEXIBILITE		
			Classes	Limites d'acceptation	Taux d'échange
Laisser une trace sur un support	Largeur de la trace	0, 5mm	F1	± 0,1mm	
	Durée de vie	1 km	F2	- 500 m	2*

Exemple avec un stylo

* taux d'échange: « si la durée de vie est divisée par 2, le prix doit être divisé par 4 »

⇒ **Critère** : caractère retenu pour apprécier la manière dont une fonction est remplie ou une contrainte respectée.

ATTENTION : un critère d'appréciation implique une unité de mesure et une méthode de mesure.

ATTENTION aux souhaits qu'on ne sait pas mesurer

⇒ **Niveau** : grandeur repérée dans une échelle adoptée pour un critère d'appréciation d'une fonction.

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

⇒ **Classes de flexibilité (F0 à F3)** : indication littérale placée auprès du niveau d'un critère d'appréciation permettant de préciser son degré de négociabilité ou d'impérativité.

F0 : flexibilité nulle, niveau impératif | **F1** : flexibilité faible, niveau peu négociable

F2 : bonne flexibilité, niveau négociable si contre partie | **F3** : flexibilité forte, niveau négociable

⇒ **Limite d'acceptation** : niveau de critère d'appréciation au delà duquel le besoin est jugé non satisfait.

⇒ **Taux d'échange** : rapport déclaré acceptable par le demandeur entre la variation du **prix** et la variation correspondante du niveau d'un **critère d'appréciation**.

* Hiérarchiser les fonctions

⇒ **Pourquoi hiérarchiser ?** On constate en général qu'un utilisateur n'accorde pas la même importance aux fonctions d'un produit. Avec le souci d'associer des coûts par fonction en rapport avec leur degré d'importance, on est amené à hiérarchiser les fonctions entre elles, avec le regard de l'utilisateur.

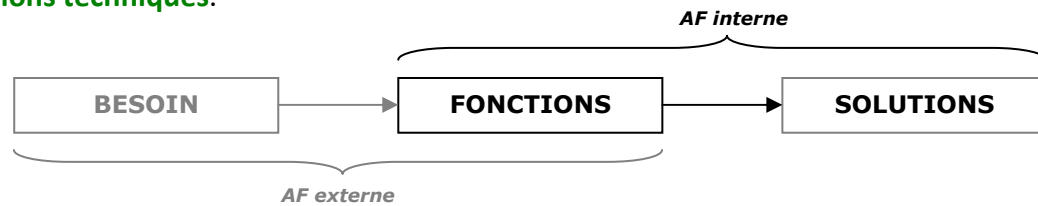
⇒ **Comment hiérarchiser ?** Plusieurs techniques existent. L'une d'elle consiste à simplement attribuer un coefficient d'importance K à chaque fonction.

K	Importance
1	Souhaitable
2	Nécessaire
3	Importance
4	Très importante
5	Vitale



1 – GENERALITES

Une fois les attentes du client vis à vis du système connues, il faut concevoir le produit qui va comprendre un ou plusieurs composants. Afin qu'il fonctionne et donne satisfaction à l'utilisateur, il faudra que ces composants répondent à leur mission. Cette mission est tout simplement les fonctions qu'ils doivent rendre, ce sont les **fonctions techniques**.



2 – DEFINITION GENERALE DU PRODUIT

Pour débiter l'AF interne il faut au minimum un premier jet de la définition générale du produit. En effet nous ne pouvons déterminer les fonctions techniques des différents composants si nous ne les connaissons pas et si nous ne savons pas comment ils sont positionnés dans le système.

Selon le produit, cette définition peut se faire à l'aide de différentes représentations :

* Produits matériels

schéma cinématique, schéma structurel, grafcet, plan, esquisse, etc.

* Produits logiciels

UML, algorithme, réseau de Pétri, etc.

3 – OUTILS DE L'AF INTERNE

L'analyse fonctionnelle interne décrit le point de vue concepteur en charge de fournir le produit devant répondre aux besoins exprimés. Cette description se fait à l'aide d'outils graphiques ; elle est par ailleurs très utile pour la compréhension des systèmes du point de vue mainteneur.

* Schéma-bloc

Il décrit un système d'un point de vue fonctionnel, en détaillant l'aspect hiérarchique de l'ensemble des fonctions. Il permet aussi d'identifier les flux d'énergie dans les mécanismes et est, à ce titre, souvent utilisé lors d'études énergétiques.

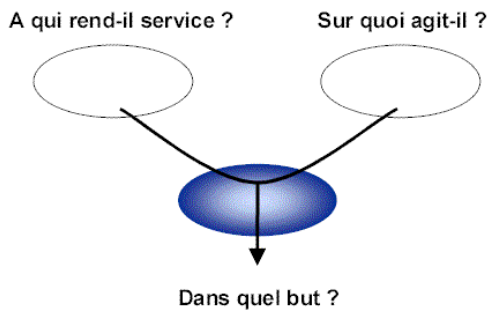
* Méthode FAST

Elle permet, à partir d'une fonction de service à satisfaire, une décomposition en fonctions techniques pour aboutir aux solutions technologiques.

* Méthode SADT

Méthode graphique qui part du général pour aller au particulier. Elle permet de décrire des systèmes complexes où coexistent différents flux de matière d'œuvre : systèmes automatisés, asservis ou intégrant l'informatique.

1 - DESCRIPTION



La bête à cornes est un outil de formulation du projet. Son objectif est de cadrer le contexte dans lequel le projet voit le jour. Cet outil s'interroge sur le pourquoi du projet. Il doit permettre de préciser le périmètre du projet.

*La bête à cornes est un outil de discussion entre les acteurs concernés par le projet, c'est un **outil de débat et de formulation**.*

Ce descripteur pose trois questions essentielles, qui sont :

- ⇒ À qui (quoi) rend-il service ?
- ⇒ Sur qui (quoi) agit-il ?
- ⇒ Dans quel but ?

2 - CONSEILS

* Jusqu'où va-t-on dans le niveau de précision ?

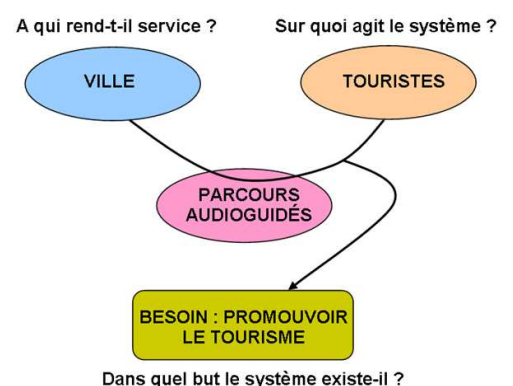
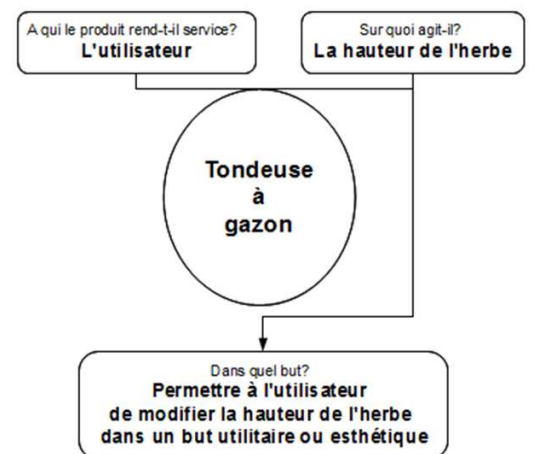
Il est souvent conseillé de limiter le niveau de précision aux éléments directs, à savoir :

- ⇒ les cibles directes (et non les cibles induites par effet de ricochet).
- ⇒ les éléments sur lesquels on souhaite agir directement, et non les effets induits.

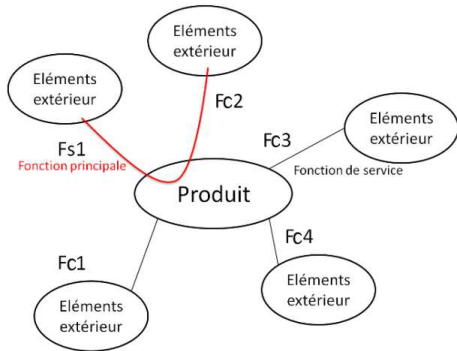
* Faut-il vraiment construire cet outil ?

En projet, oui, c'est mieux. Les cornes servent de base à la réalisation de l'analyse fonctionnelle, et constituent le contexte de la « pieuvre », autre outil utilisé en gestion de projet.

EXEMPLES



1 - DESCRIPTION



Le diagramme pieuvre est mis en œuvre pour trouver les éléments qui environnent le produit et les liens entre eux et lui. Ces liens sont les fonctions du produit (les FS et les FC).

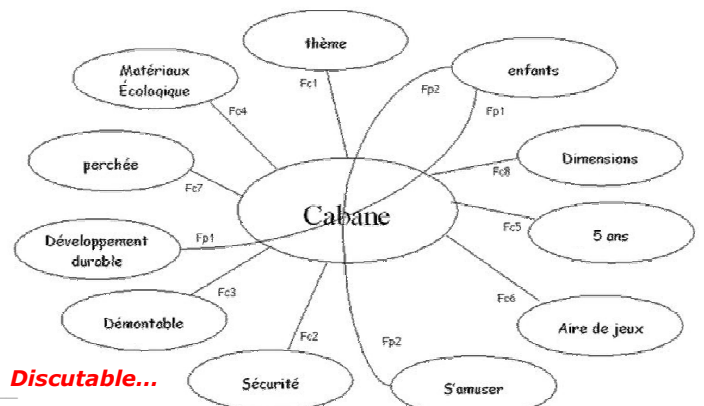
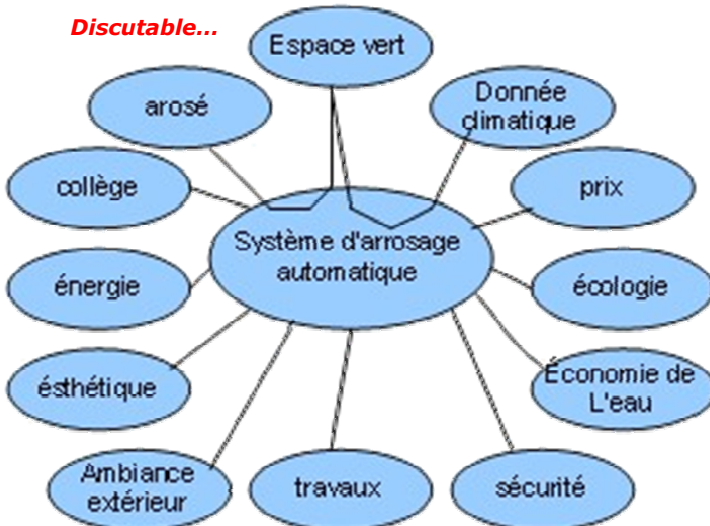
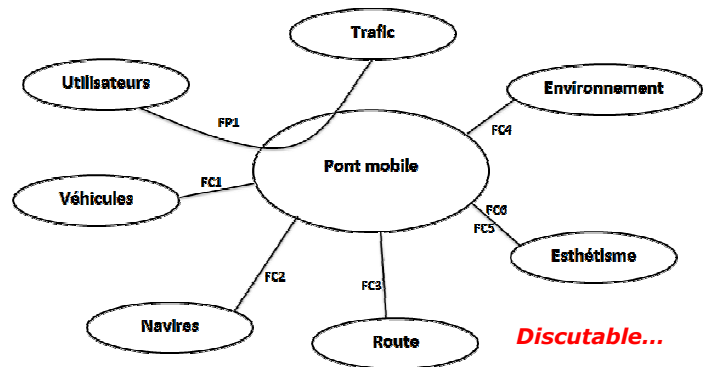
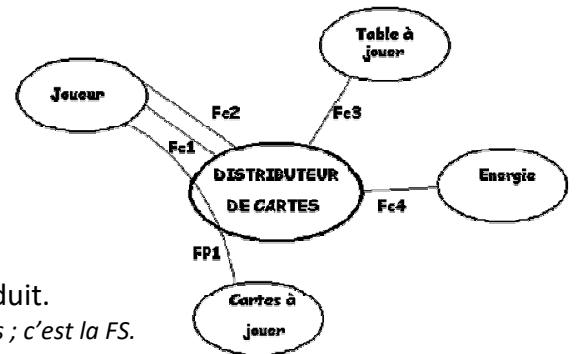
Le diagramme pieuvre permet de trouver les fonctions (FS et FC) du produit.

2 - METHODE

- 1 **Tracer** une bulle isolée avec le nom du produit.
- 2 **Rechercher** tout ce qui environne le produit et faire une bulle pour chaque élément identifié.
 - ☞ Réfléchir à plusieurs et bien prendre son temps.
 - ☞ Les éléments environnants peuvent être matériels ou immatériels.
 - ☞ Du point de vue de l'utilisateur, on peut notamment penser à la phase d'utilisation mais aussi à celle de non utilisation (qui peut par exemple impliquer le rangement)
- 3 **Rechercher** les liens entre les éléments environnants et le produit.
 - ☞ Au moins un lien (et souvent un seul) relie deux éléments environnants ; c'est la FS.
 - ☞ Pour les FC, les liens peuvent être orientés pour indiquer qui contraint qui.
- 4 **Formuler** les fonctions.
 - ☞ Verbe à l'infinitif + compléments.

EXEMPLES

(tous sont discutables, certains plus que d'autres)

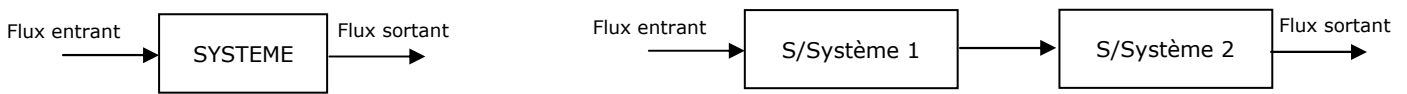


1 - GENERALITES

Le schéma bloc est un moyen simple de mettre en évidence les liens entre différentes grandeurs physiques au sein d'un système.

2 - STRUCTURE GENERALE

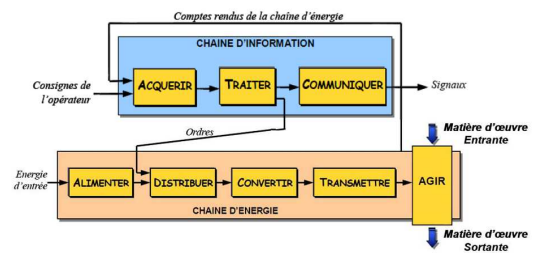
Un schéma bloc, ou schéma fonctionnel, est constitué de blocs assemblés en série et/ou en parallèle.



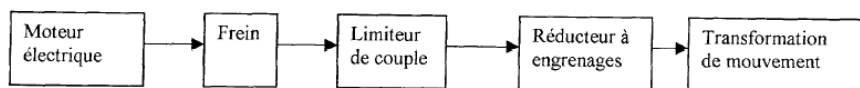
- ⇒ A un bloc on associe en général un seul composant assurant une seule fonction technique.
- ⇒ Le nom du système (ou sous-système) assurant la fonction technique est écrit dans le bloc. Selon le cas d'utilisation, les blocs se voient agrémentés de diverses informations utiles (voir plus loin).
- ⇒ Un bloc peut en encapsuler d'autres. Le schéma bloc contient donc au minimum un bloc. Le cas échéant, cet unique bloc représente le système dans sa globalité.
- ⇒ Un fléchage parcourt les blocs. Il met en évidence un flux de matière d'œuvre ; à ce titre, il peut s'agir d'énergie, de matière ou d'information.

3 - UTILISATIONS

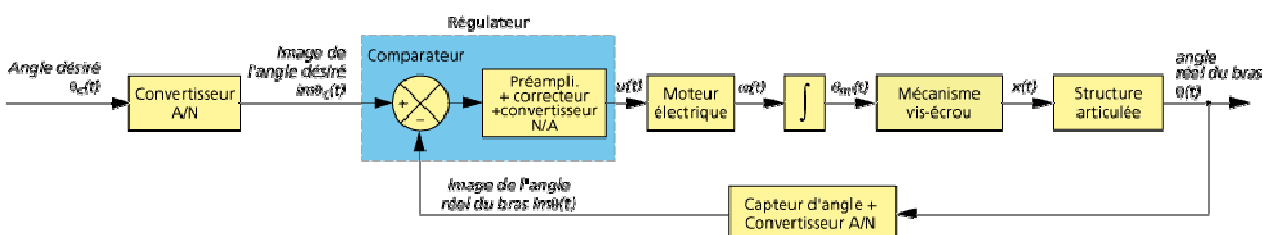
* **Modélisation des systèmes complexes** : mise en évidence de la chaîne d'information et des chaînes d'énergie ainsi que les liens existants entre elles.



* **Etude énergétique** : mise en évidence du flux d'énergie (ou de grandeurs cinétiques et cinématiques) permettant d'identifier les transferts et les conversions d'énergie (ou de mouvements).



* **Automatique** : utilisé pour la régulation et asservissement.



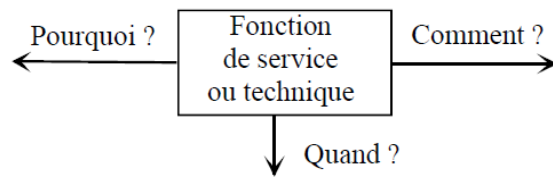
1 - GENERALITES

Le FAST (**F**unction **A**nalysis **S**ystem **T**echnic) est un outil graphique qui permet de situer le produit au milieu de ses fonctions. Il détaille en plusieurs niveaux la réalisation d'une ou plusieurs fonctions de service.

2 - PRESENTATION DE L'OUTIL FAST

Il est composé de "blocs fonction" et sa conception permet de répondre aux questions suivantes :

- **Pourquoi** cette fonction est-elle remplie ?
- **Comment** cette fonction doit-elle être remplie ?
- **Quand** cette fonction doit-elle être remplie ?



* Une lecture de la gauche vers la droite répond à la question « COMMENT ».

* Une lecture de la droite vers la gauche répond à la question « POURQUOI ».

Remarque : la rubrique QUAND n'est généralement pas renseignée

!!! Cet outil permet d'aller de la **fonction principale** jusqu'aux **solutions** en passant par **les fonctions techniques**.

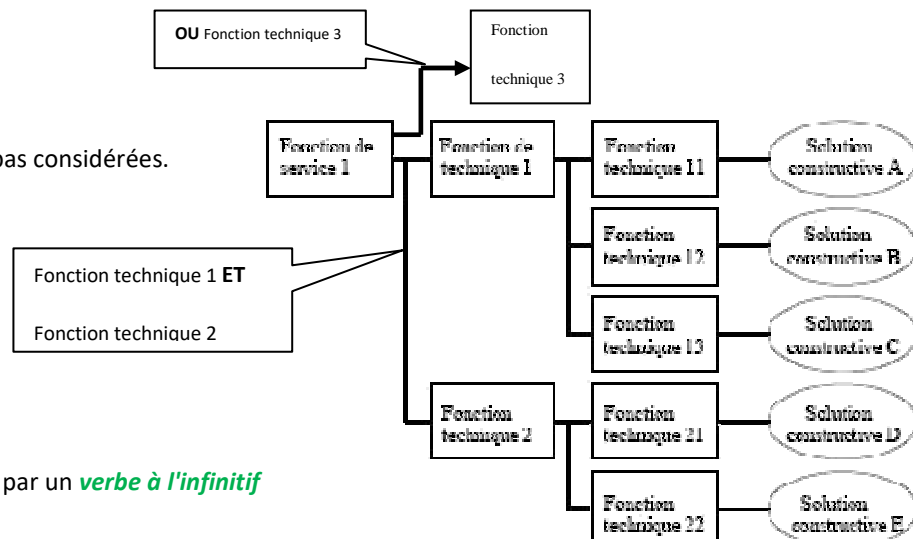


Avantages :

- Toutes les fonctions (de service et techniques) du système apparaissent,
- « Simple » à construire et à lire.

Inconvénients :

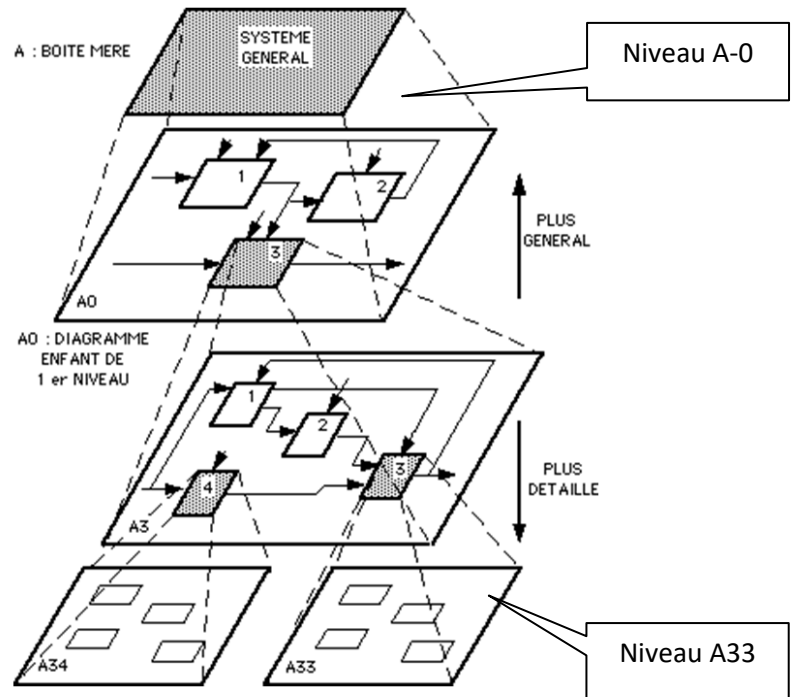
- Les matières d'œuvre ne sont pas considérées.



!!! Chaque fonction est exprimée par un **verbe à l'infinitif** et ses compléments.

1 - DIAGRAMME SADT

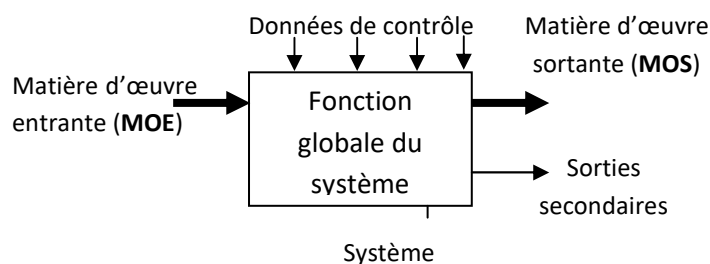
C'est un outil de description graphique d'un système complexe par analyse fonctionnelle dite « descendante », c'est-à-dire que l'analyse chemine du général (c'est le niveau le plus haut, dit « **niveau A-0** ») vers le particulier (niveau **A0**, **A3**, **A34**, etc).



2 - MODELISATION A-0

La **modélisation « A-0 »** (lire "A moins zéro") est une représentation **Globale** du système ; ceci correspond à de l'analyse externe (les autres niveaux nous amènent à l'intérieur du système ; c'est de l'analyse fonctionnelle interne (voir séquence suivante).

Le diagramme le plus haut représente **la fonction globale** assurée par le système et se décrit ainsi :



Pour définir la fonction globale du système, on peut se poser la question suivante : " **A quoi sert le système ?** "

* Matière d'œuvre

La matière d'œuvre est une entité traitée (ou traitable) par le système. Elle existe sous 3 formes possibles :

- matérielle
- énergétique
- informationnelle

Remarque :

La matière d'œuvre qui rentre dans le système s'appelle la MOE ; celle qui sort s'appelle MOS.

Pour définir les matières d'œuvre, on peut se poser la question suivante : "**Sur quoi le système agit-il ?**"

* Valeur ajoutée VA

Elle correspond à la modification des caractéristiques de la matière d'œuvre après son passage dans le système (s'écrit toujours sous forme d'un groupe nominal).

En entrant dans le système, la matière d'œuvre entrante ou initiale (MOE ou MOI) va être transformée en matière d'œuvre sortante ou finale (MOS ou MOF). La transformation ainsi réalisée s'appelle la valeur ajoutée (VA). On peut donc écrire **VA = MOS - MOE**

* Données de contrôle

Les données de contrôle ne sont pas modifiées par l'activité mais influent sur son déroulement. Elles peuvent être de quatre types possible :

W = présence d'énergie ou de matière d'œuvre

R = données de réglage (n'influent pas sur le cycle du système)

C = données de configuration (influent sur le cycle du système)

E = données d'exploitation (données qui permettent de piloter le fonctionnement du système).

1 – PREAMBULE

Contrairement aux systèmes purement mécaniques comme un taille crayon basique, un décapsuleur ou un vélo par exemple, les systèmes techniques dits *complexes* possèdent des « **chaînes d'énergie** » (qui réalisent des actions) mais aussi des « **chaînes d'information** » qui rendent ainsi le **système communiquant** et, dans une certaine mesure, **intelligent**.

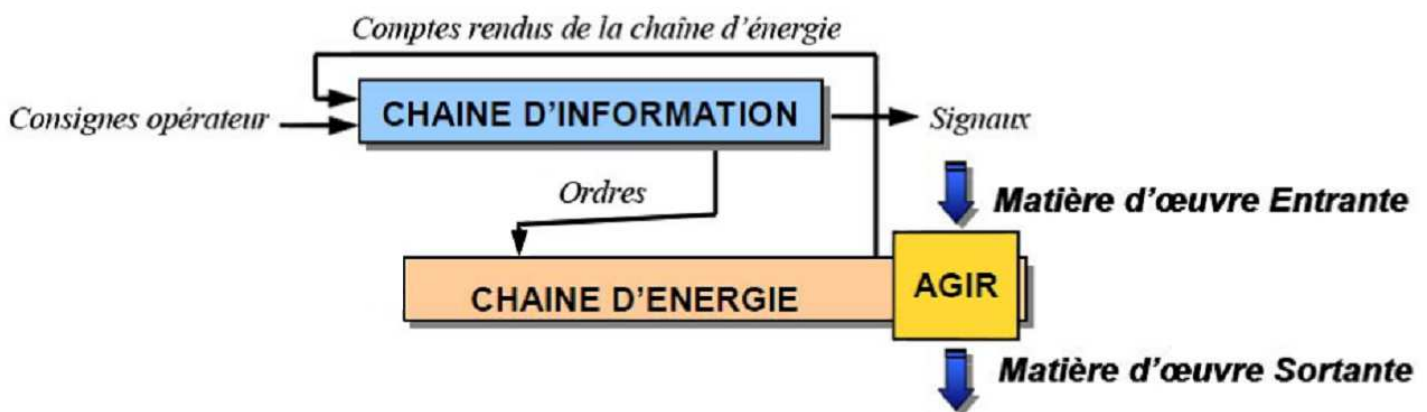
Les chaînes d'énergie sont essentiellement de nature mécanique (qui inclut les technologies hydraulique et pneumatique) et les chaînes d'information sont essentiellement de nature électronique.

Pour les systèmes automatisés, on parle aussi de « partie commande » (PC) et de « partie opérative » (PO).

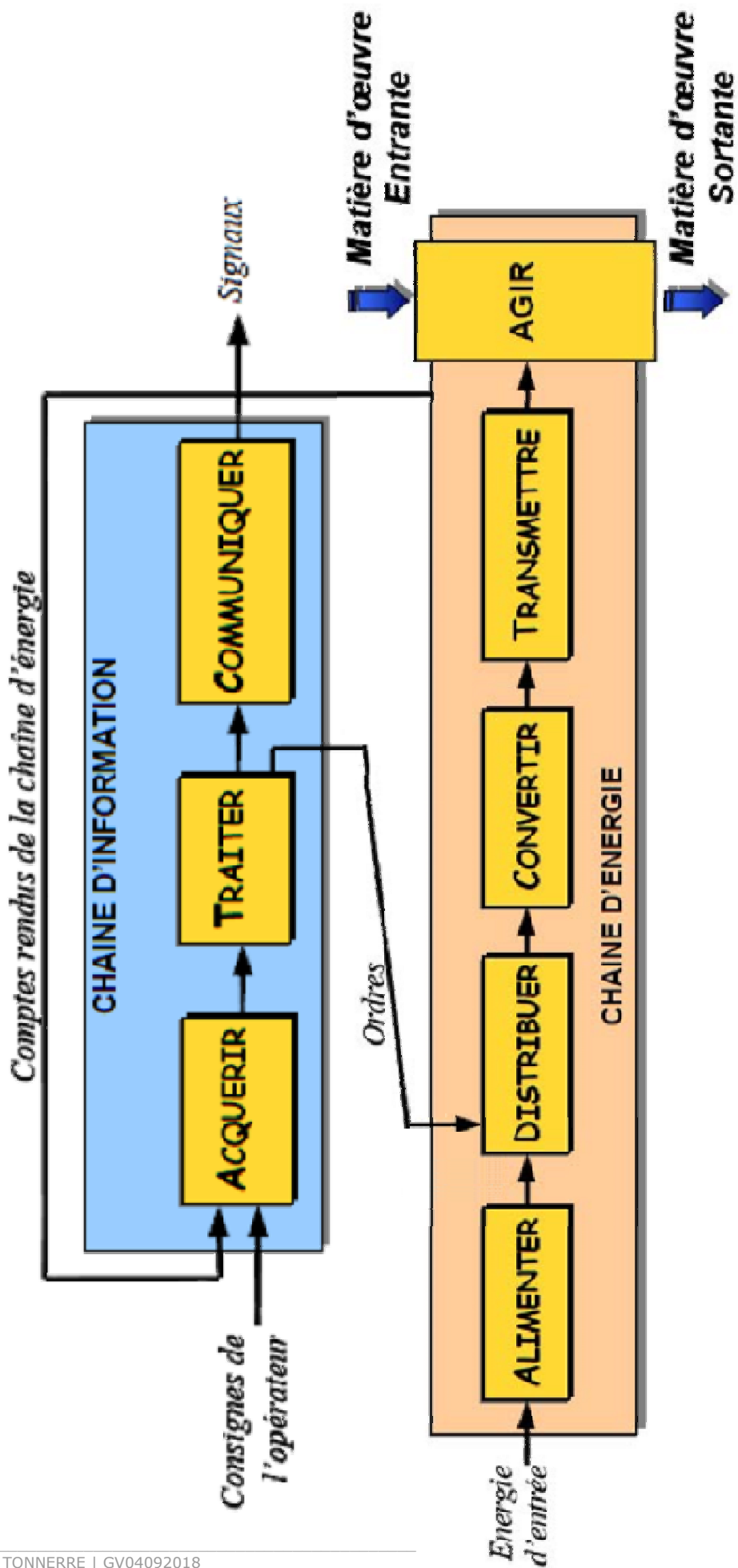
2 – STRUCTURE GENERALE

L'étude des systèmes complexes conduit à établir une **architecture fonctionnelle standardisée**, valable dans tous les cas. Cette architecture, ou *modélisation fonctionnelle*, se présente sous la forme d'un schéma faisant apparaître clairement :

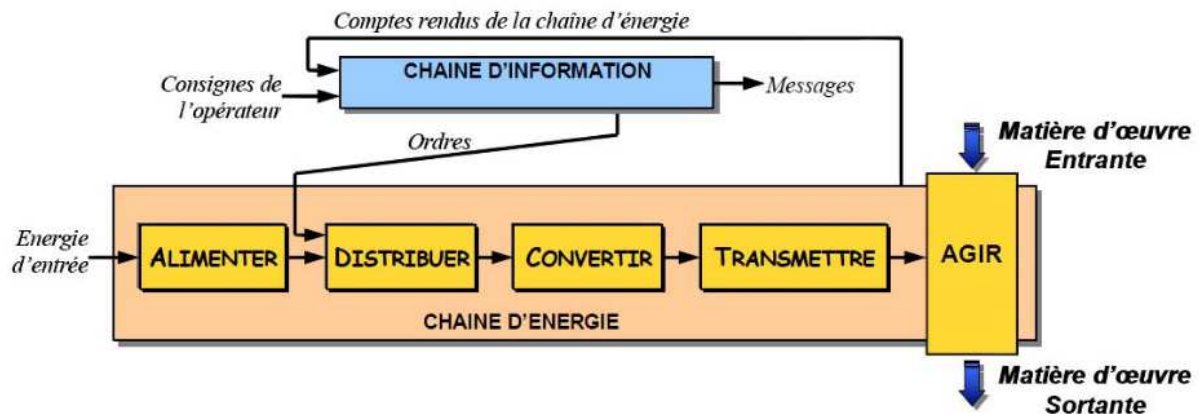
- la chaîne d'énergie,
- la chaîne d'information,
- les flux de matières, d'énergies et d'informations entre les deux chaînes.



Attention : dans le cas général, un modèle ne représente pas un système tout entier. Bien souvent, il en fait plusieurs. Par exemple, dans le cas d'une automobile, il faut un modèle pour expliquer le fonctionnement de la direction assistée, un autre pour expliquer l'ESP, un autre l'ABS, etc. En effet, chacun des sous-systèmes cités (DA, ESP, ABS) possède sa propre chaîne d'énergie et bien entendu sa propre chaîne d'information qui, d'ailleurs, peuvent être amenées à communiquer entre elles.



1 – COMPOSITION DE LA CHAÎNE D'ÉNERGIE



On distingue 5 fonctions : **Alimenter – Distribuer – Convertir – Transmettre – Agir**

2 – ALIMENTER EN ÉNERGIE

L'énergie se présente à nous sous différentes formes : éolienne, solaire, mécanique, musculaire, électrique, pneumatique, hydraulique, thermique, nucléaire, potentielle, etc.

Cela dit, la très large majorité des systèmes techniques que nous rencontrons dans l'industrie ou à la maison utilise la plupart du temps de l'énergie électrique, pneumatique ou hydraulique. C'est sous ces formes là (notamment électrique) que l'énergie est la plus facilement exploitable.

Ainsi, pour l'énergie électrique, la fonction ALIMENTER peut être assurée par une pile, une batterie, un panneau solaire, ou encore le réseau EDF (avec une production amont issue du nucléaire, du charbon ou même de l'hydraulique).

Pour l'énergie pneumatique, la fonction ALIMENTER est assurée par un compresseur pneumatique.

3 – DISTRIBUER L'ÉNERGIE

Définitions préalables :

- Actionneur : organe dont la fonction est de convertir l'énergie. Un moteur ou un vérin sont des actionneurs.
- Pré-actionneur : organe placé en amont de l'actionneur dont la fonction est de distribuer l'énergie disponible à l'actionneur. Un contacteur (pour un moteur électrique) ou un distributeur (pour un vérin) sont des pré-actionneurs.

L'énergie disponible (dans une pile ou dans la cuve d'un compresseur par exemple) ne va pas alimenter directement les actionneurs. En effet, dans une machine possédant un moteur, ce dernier ne doit pas nécessairement tourner en permanence. Il faut le piloter. Il en est de même pour une ampoule chez vous : elle n'est pas allumée en permanence.

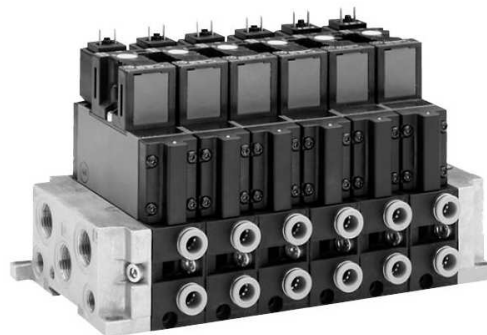
Il est donc nécessaire de maîtriser la distribution de l'énergie à destination des actionneurs, et c'est justement le rôle des pré-actionneurs qui laisseront passer – ou non – l'énergie en fonction des ordres qui arrivent de la chaîne d'information.

⇒ **Pour l'énergie électrique**, la fonction DISTRIBUER est assurée par un **contacteur** (si le courant est important) ou un relai (si le courant est faible) ; contacteur et relai sont des sortes « d'interrupteur ».

⇒ **Pour l'énergie pneumatique** (ou hydraulique), la fonction DISTRIBUER est assurée par un **distributeur** pneumatique (ou hydraulique).



Contacteur



Distributeur

4 – CONVERTIR L'ENERGIE

L'action attendue sur la matière d'œuvre peut par exemple nécessiter du mouvement comme la mise en rotation du tambour d'une machine à laver. On comprend bien, dans cet exemple, que l'énergie électrique initialement disponible (réseau EDF) puis distribuée (par un contacteur) doit être CONVERTIE en mouvement, c'est à dire en énergie mécanique (cinétique de rotation pour être précis). C'est justement le rôle de l'actionneur, et, dans le cas présent, ça sera un moteur électrique.

Ainsi, si on veut de l'énergie mécanique (du mouvement) à partir d'énergie électrique, la fonction CONVERTIR est assurée par un **moteur électrique**.

Si on veut de l'énergie thermique (dans une bouilloire ou encore un radiateur à la maison par exemple) à partir d'énergie électrique, la fonction CONVERTIR est assurée par une **résistance**.

Si on veut de l'énergie lumineuse à partir d'énergie électrique, la fonction CONVERTIR est assurée par une **ampoule**.

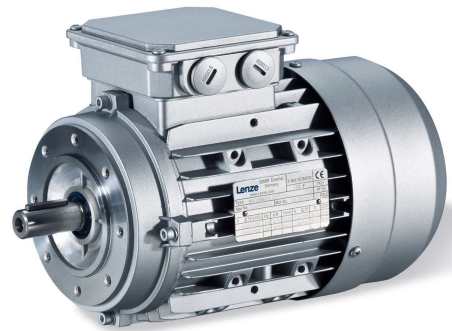
Si on veut de l'énergie mécanique (du mouvement) à partir d'énergie pneumatique (ou hydraulique), la fonction CONVERTIR est assurée par un **vérin** (pneumatique ou hydraulique).



Vérin pneumatique



Moteur électrique
(à courant continu)

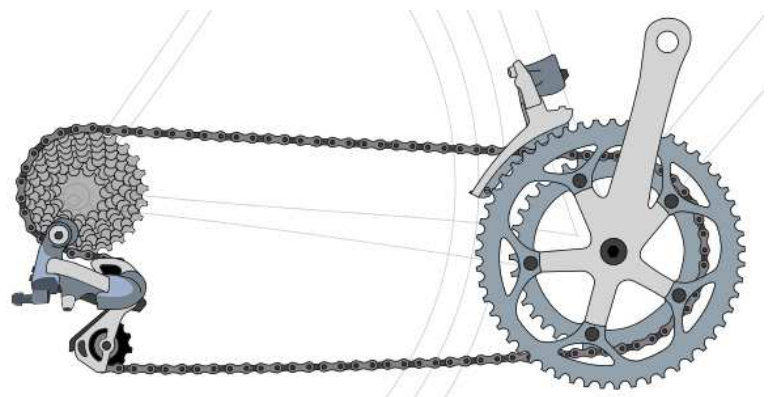


Moteur électrique
(à courant triphasé)

Et encore d'autres actionneurs : le besoin peut être aussi de convertir de l'énergie mécanique (du mouvement) en énergie électrique ; dans ce cas, l'actionneur s'appelle un **alternateur** ou encore une **génératrice**. On peut aussi avoir besoin d'une force magnétique à partir d'électricité ; dans ce cas, l'actionneur est un **électroaimant**.

5 – TRANSMETTRE L'ENERGIE

L'énergie, une fois convertie, se retrouve donc sous forme utile (du mouvement par exemple) mais elle n'est généralement pas là où on en a besoin. Il faut donc la transmettre, comme par exemple sur un vélo : l'énergie disponible au niveau du pédalier doit être acheminée (on dit transmise) à la roue arrière. Dans cet exemple, il s'agit d'une transmission par chaîne.



On peut remarquer que le système « pignon/chaîne » ne fait pas que transmettre, il adapte l'énergie : en fonction du plateau sélectionné et du pignon sélectionné, on modifie (on dit *adapter*) les forces et les vitesses mises en jeu.

On retiendra donc que sous la fonction **TRANSMETTRE** l'énergie se « cache » aussi la fonction **ADAPTER** l'énergie.

Exemple de systèmes permettant de transmettre et d'adapter l'énergie électrique :

potentiomètre (rhéostat), hacheur, redresseur, transformateur.

Exemple de systèmes permettant de transmettre et d'adapter l'énergie mécanique :

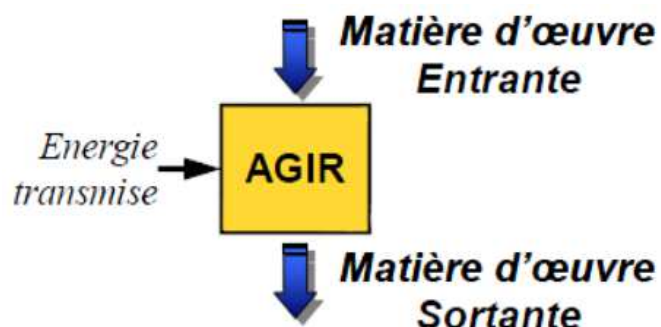
pignon/chaîne, poulie/courroie, engrenages, bielle/manivelle, came/plateau, etc.

6 – AGIR SUR LA MATIÈRE D'ŒUVRE

A ce stade, la chaîne d'énergie dispose maintenant d'une énergie utile et adaptée ; il s'agit, par exemple, d'un mouvement de rotation dont la vitesse (de rotation) correspond à celle voulue.

Cette énergie va pouvoir agir sur la matière d'œuvre.

Mais comment ? Grâce à **l'effecteur**.



Définition : un effecteur est un organe qui agit (qui a un effet) sur la matière d'œuvre.

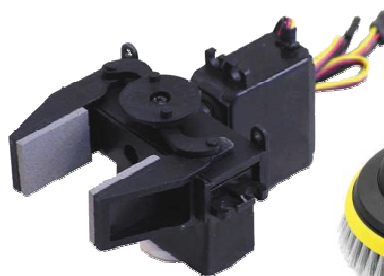
Il existe une multitude de technologies d'effecteurs qui doivent s'adapter à chaque matière d'œuvre ; on distingue par exemple les doigts d'une pince de robot, des ventouses de préhension, des poussoirs, des tapis roulants, des enrouleurs, des plateaux, des roues, des brosses, etc.



Ventouse de préhension



Tapis roulant

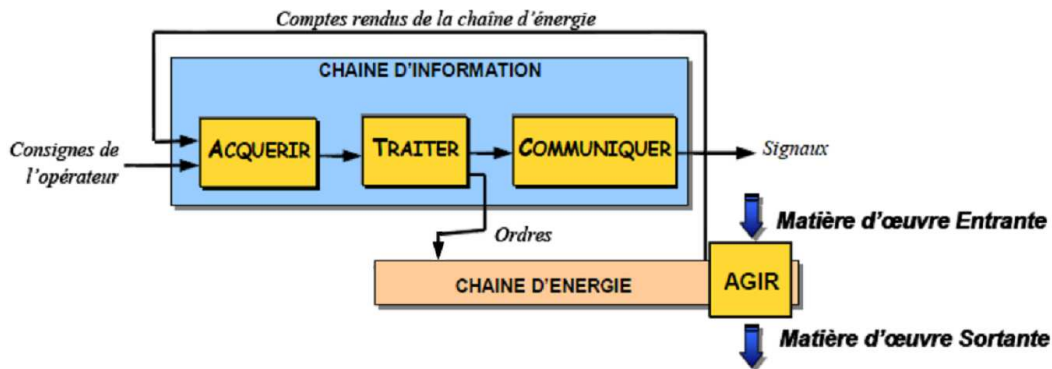


Pince de robot



Brosse rotative

1 – COMPOSITION DE LA CHAÎNE D'INFORMATION



On distingue 3 fonctions : **Acquérir – Traiter – Communiquer**

2 – ACQUERIR L'INFORMATION

Les informations entrantes sont de deux sortes : Les consignes données par l'opérateur à l'aide d'un pupitre (ou d'une IHM*) et les comptes rendus provenant de la chaîne d'énergie.

** IHM : Interface Homme Machine ; expression plutôt réservée aux interfaces logicielles*

⇒ **Les consignes de l'opérateur** sont recueillies par l'intermédiaire de boutons, interrupteurs, claviers, joysticks, souris, etc.



Bouton poussoir



Interrupteur



Bouton « coup de poing » (ARU)



Clavier



Joystick

⇒ **Les comptes rendus d'acquisition (CRA)** provenant de la chaîne d'énergie ou encore de l'environnement du système sont en fait des grandeurs physiques (position, vitesse, pression, température, débit, etc.) qui sont recueillies *en permanence* par l'intermédiaire de CAPTEURS. Il existe une multitude de capteurs, en fonction bien sûr de la grandeur physique à acquérir, mais aussi, pour une grandeur donnée, de différentes technologies disponibles.

Exemples de capteurs :



Capteur de vitesse



Capteur de position



Capteur de pression



Sonde de température

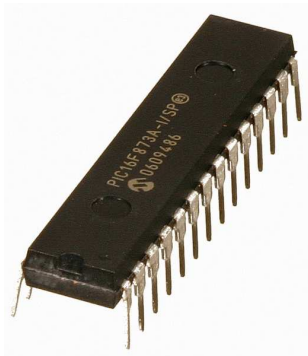
3 – TRAITER L'INFORMATION

Cette fonction peut être assurée par un **automate programmable industriel** (API) pour les systèmes automatisés, ou bien par un **ordinateur** ou un **microcontrôleur** ; dans tous les cas, en fonction des différents comptes-rendus ou consignes qui lui sont fournis (par l'utilisateur, via le pupitre, et aussi par les capteurs) un programme interprète les informations acquises et **génère des ordres** qui seront reçus par la chaîne d'énergie ou des messages à l'attention de l'utilisateur (ou d'un autre système).

Exemples de composants de traitement de l'information :



Automate programmable
industriel (API)



Microcontrôleur
programmable



Interface logicielle
(IHM)

4 – COMMUNIQUER L'INFORMATION

Il s'agit de communiquer de l'information **soit à un autre système** ou bien **à l'utilisateur**. Dans ce dernier cas, l'information peut être sonore (klaxon, buzzer, sonnerie, etc.) ou visuelle (afficheur, voyant, led, gyrophare, etc.)

L'intérêt de cette communication est de renseigner l'utilisateur (ou l'autre système), sur, par exemple, l'état de marche (d'arrêt ou de veille) du système, la présence d'un défaut, la valeur d'une grandeur physique (une température ou une vitesse par exemple), etc.

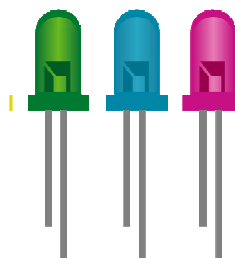
Exemples de composants de communication :



Afficheur



Klaxon










LED



Interface logicielle (IHM)

1 – POURQUOI ACQUERIR DES GRANDEURS PHYSIQUES ?

Au quotidien, l'homme a besoin de connaître la valeur de certaines grandeurs physiques pour agir en conséquence. Pour ce faire, il utilise des appareils de mesure. Exemple :

Grandeur physique mesurée	Appareil de mesure - capteur	Conséquence possible	Grandeur physique mesurée	Appareil de mesure - capteur	Conséquence possible
 Température extérieure	 Thermomètre	Allumer le chauffage	 Luminosité	 Capteur de luminosité	Allumer la lumière
 longueur	 Règle (mètre, etc.)	Record battu	 Vitesse	 Compteur	Adapter la vitesse de la voiture à la situation

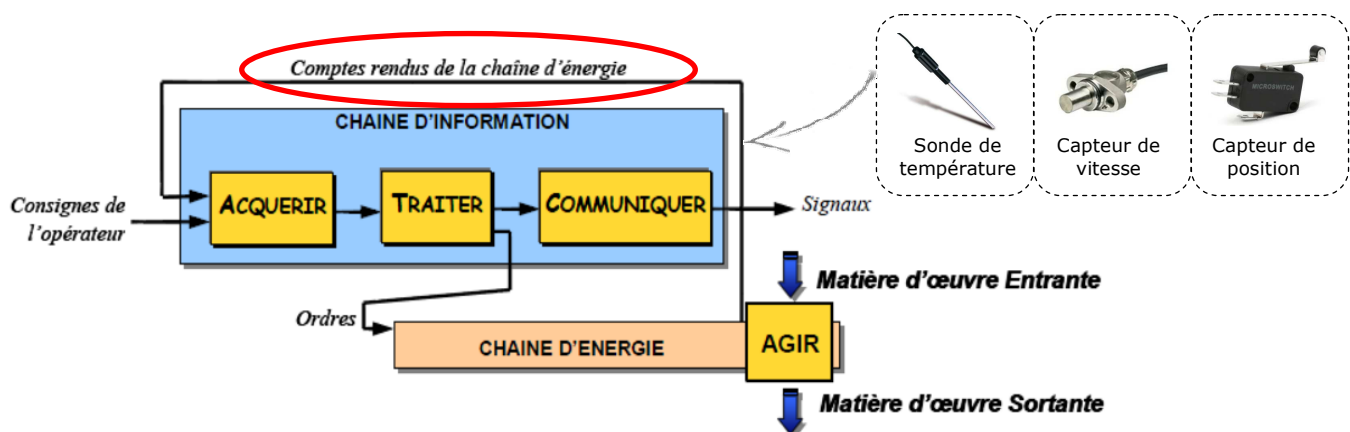
2 – OU VA L'INFORMATON ACQUISE ?

Dans les exemples précédents, l'homme peut piloter lui-même les choses, c'est à dire « GERER » et « AGIR » :

- ⇒ Relever la température, constater qu'elle est basse et allumer le chauffage,
- ⇒ Relever la vitesse de sa voiture, la comparer à la limitation et freiner (par exemple).
- ⇒ ...

Mais les systèmes peuvent eux aussi en toute autonomie assurer les processus « prise de décision ⇒ action » ; il suffit simplement de leur fournir les informations nécessaires !

Ceci correspond aux Comptes rendus d'acquisition (CRA) qui proviennent des capteurs :



Le composant fondamental permettant d'acquérir une grandeur physique s'appelle « CAPTEUR » ; dans certaines situations, on parle aussi de « DETECTEUR » (de présence par exemple) ou de « CODEUR » (voir codeur incrémental).


1 - NOTION DE SIGNAL ET D'INFORMATION

* **Information** (selon le Larousse) : *Élément de connaissance susceptible d'être représenté à l'aide de conventions pour être conservé, traité ou communiqué.*

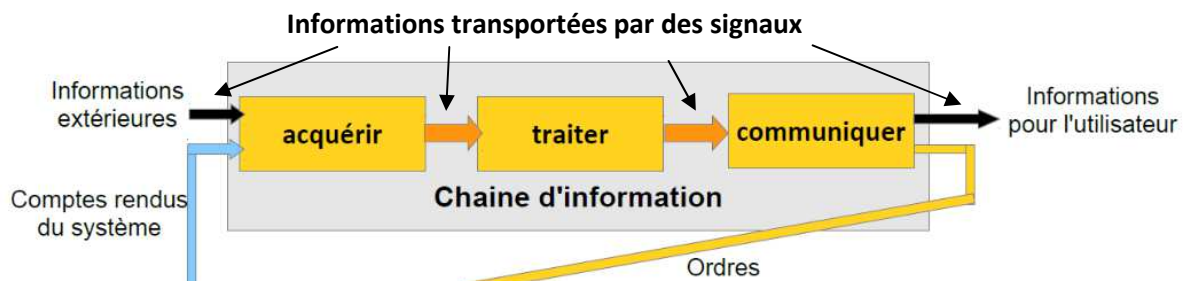
Exemples : pièce présente, température du four de 210°C, position N°23 atteinte ...

* **Signal** (selon le Larousse) : *Variation d'une grandeur physique de nature quelconque, transportant de l'information, et grâce à laquelle, dans une installation, un élément en influence un autre.*

Exemples : tension image de la position >12V, pression dans le tuyau = 2 bar ...

 **Le signal est donc une grandeur physique, dotée d'une unité et donc mesurable tandis que l'information est un message (traitable ou communicable).**

Parmi les différents constituants de la SI, ce sont ceux qui se trouvent dans la chaîne d'information qui utilisent les signaux.



2 - GRANDEURS PHYSIQUES SUPPORTANT L'INFORMATION : MOYENS DE TRANSPORT DE L'INFORMATION

Les signaux peuvent être transmis par des moyens :

- électriques ;
- pneumatiques ;
- hydrauliques ;
- lumineux ;
- sonores ;
- ...

3 - TYPES DE SIGNAUX

Il existe trois catégories de signaux.

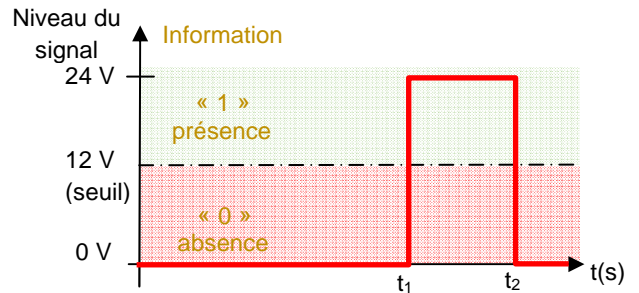
* LE SIGNAL TOR (TOUT OU RIEN), OU LOGIQUE

Il s'agit d'un signal qui transporte une information qui ne peut prendre **que deux valeurs différentes** (0 ou 1, haut ou bas, vrai ou faux, ...). On dit dans ce cas que le signal est de type binaire, logique, booléen ou Tout Ou Rien (TOR). Il varie de façon discontinue dans le temps.

Si l'information est transportée par un signal électrique (en bande de base), l'information :

- « 1 » *logique* pourra par exemple correspondre à une tension d'amplitude supérieure à 12 V ;
- « 0 » *logique* correspondre à une tension inférieure à 12 V.

Exemple d'allure d'un signal TOR : CRA issu d'un capteur de présence.

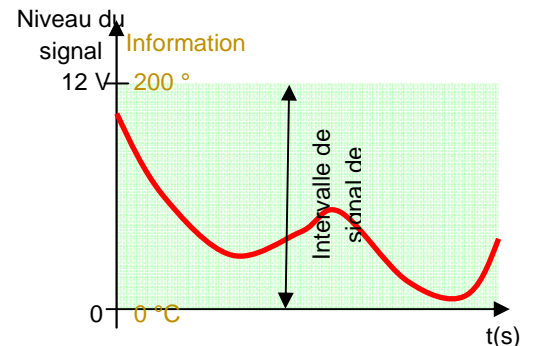


L'intérêt d'attribuer les chiffres 0 ou 1 pour les deux états permet de leur appliquer une algèbre particulière pour résoudre des problèmes de logique complexes : c'est l'algèbre de BOOLE (variable booléenne).

* LE SIGNAL ANALOGIQUE

Il s'agit d'un signal qui transporte une information qui peut prendre une **infinité de valeurs** comprises dans un intervalle donné (0 ; -1 ; 1,255 ...). On dit dans ce cas que le signal est de type analogique. Il varie de façon continue dans le temps.

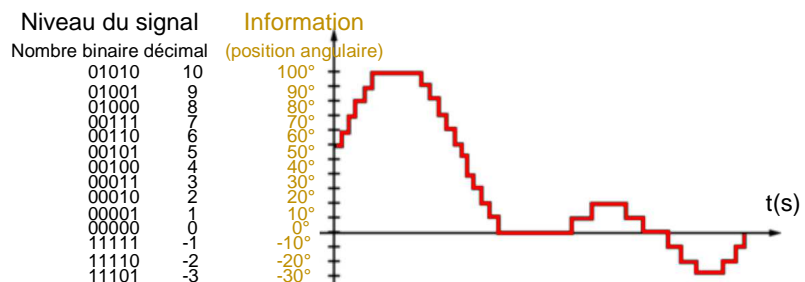
Exemple d'allure d'un signal analogique : CRA d'un capteur analogique délivrant une tension image d'une température.



* LE SIGNAL NUMERIQUE

Il s'agit d'un signal qui transporte une information qui peut prendre uniquement des **valeurs numériques entière** (discrètes) dans un intervalle donné (0 ; -1 ; 25 ...). On dit dans ce cas que le signal est de type numérique. Il varie de façon discontinue dans le temps.

Exemple d'allure d'un signal numérique : signal issu d'un codeur absolu qui délivre un signal numérique image de la position angulaire prise par le capteur (sur plusieurs bits).



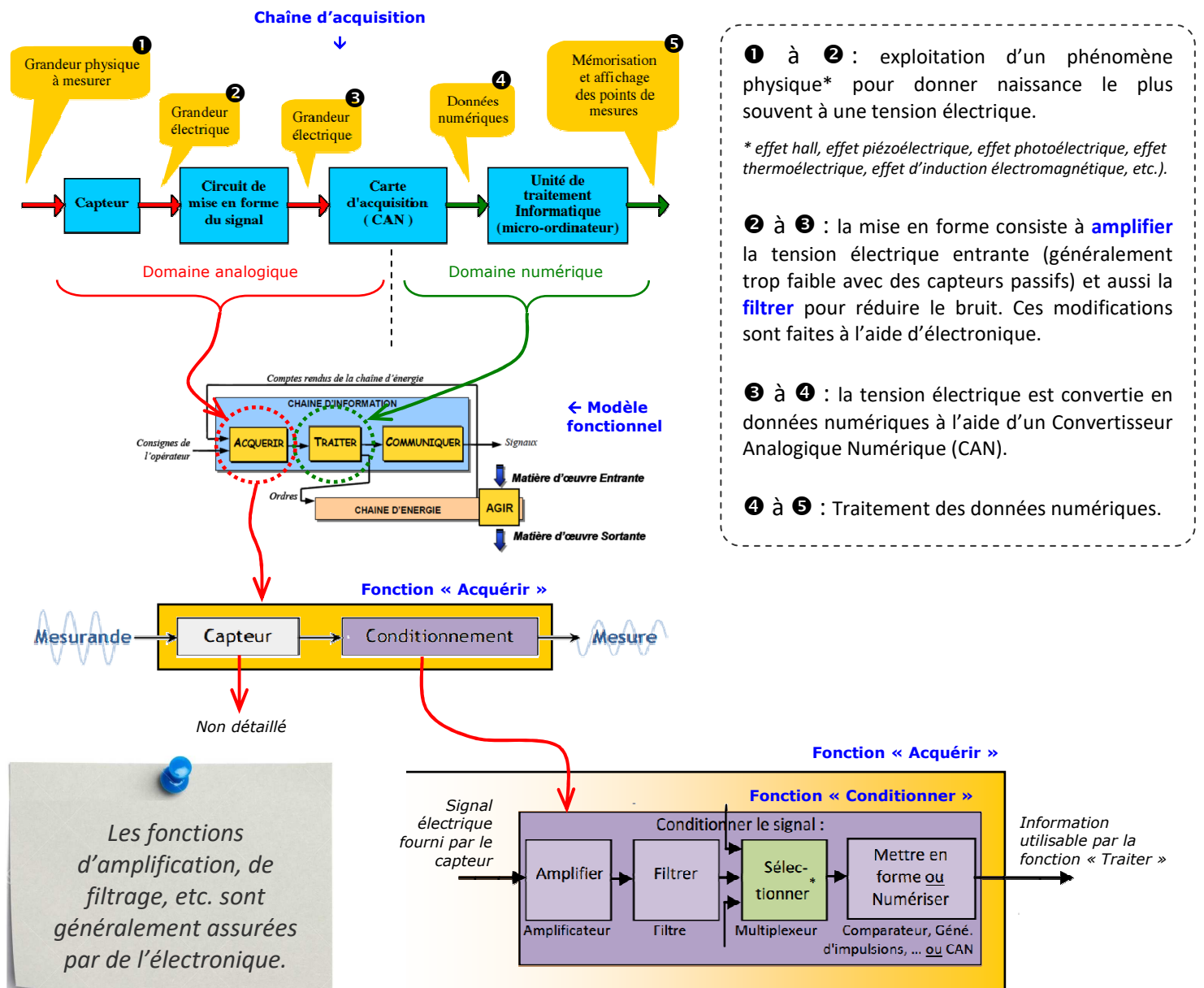
NOTA : dans certains cas, il sera nécessaire de convertir un signal analogique en signal numérique : *c'est la conversion analogique/numérique* appelée **CAN** ou alors convertir un *signal numérique en signal analogique*. C'est le **CNA**.

La fonction « ACQUERIR » se présente elle-même comme une chaîne appelée « chaîne d'acquisition ».

La chaîne d'acquisition est donc à l'intérieur de la chaîne d'information du modèle fonctionnel.

Fonction de la chaîne d'acquisition : générer une image de la mesure de la grandeur physique (mesurande) afin de la visualiser sur un écran et/ou de l'exploiter dans un programme de traitement.

Dans la pratique, le passage de la grandeur physique à mesurer ❶ à l'affichage des points de mesures ❺ n'est pas immédiat :



❶ à ❷ : exploitation d'un phénomène physique* pour donner naissance le plus souvent à une tension électrique.

* effet hall, effet piézoélectrique, effet photoélectrique, effet thermoélectrique, effet d'induction électromagnétique, etc.).

❷ à ❸ : la mise en forme consiste à **amplifier** la tension électrique entrante (généralement trop faible avec des capteurs passifs) et aussi la **filtrer** pour réduire le bruit. Ces modifications sont faites à l'aide d'électronique.

❸ à ❹ : la tension électrique est convertie en données numériques à l'aide d'un Convertisseur Analogique Numérique (CAN).

❹ à ❺ : Traitement des données numériques.

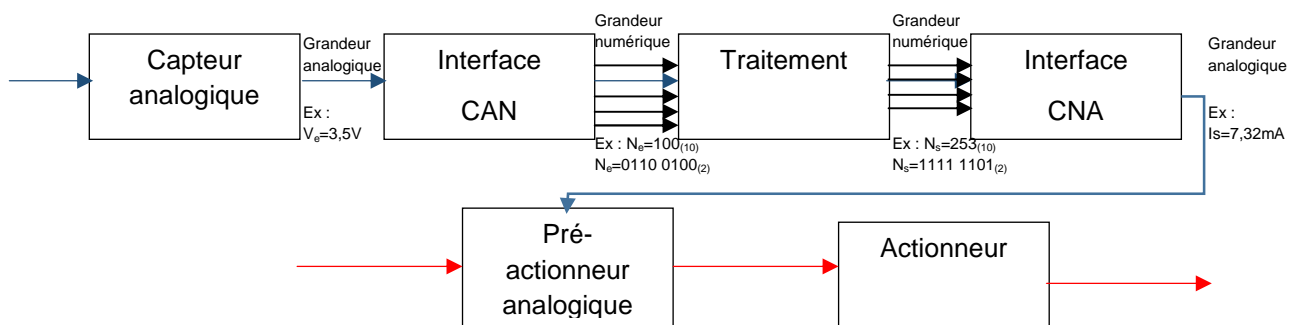
Les fonctions d'amplification, de filtrage, etc. sont généralement assurées par de l'électronique.

1 – PREAMBULE

Souvent les systèmes utilisent des composants de traitement du signal numérique (API, PC, microcontrôleurs, ...) alors que les capteurs et/ou pré-actionneurs fonctionnent avec des signaux analogiques.

Il est donc nécessaire d'utiliser des interfaces de conversion :

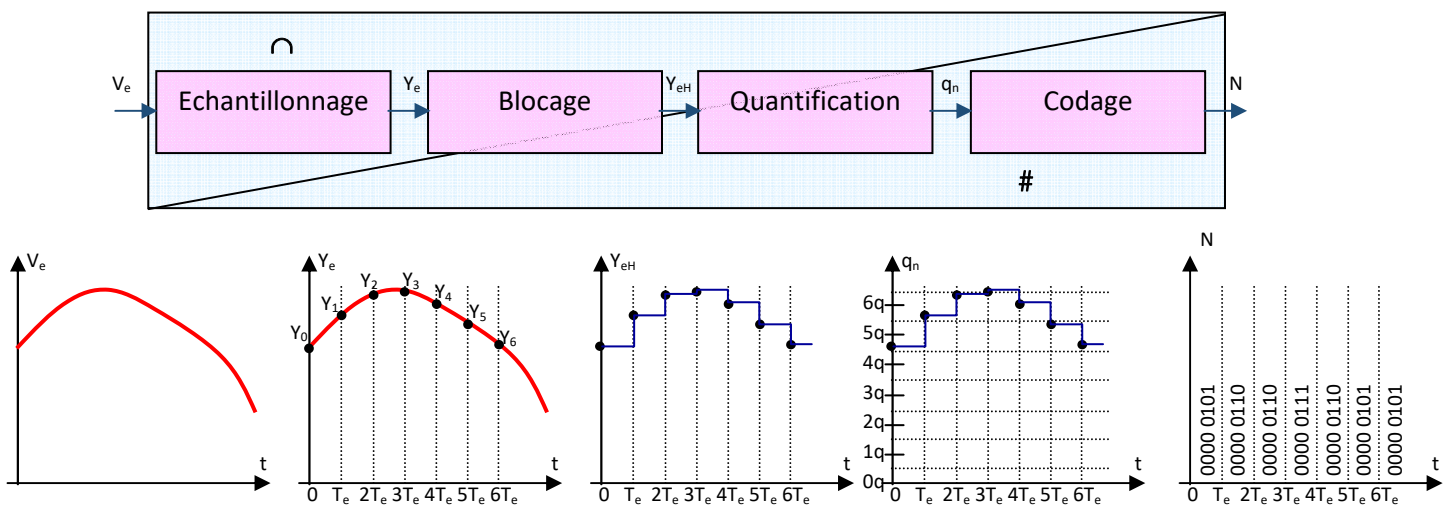
analogique \Leftrightarrow numérique (CAN) ou numérique \Leftrightarrow analogique (CNA)



2 – CONVERSION ANALOGIQUE \rightarrow NUMERIQUE (CAN¹)

La conversion « analogique \rightarrow numérique » consiste à prélever un échantillon du signal analogique et à le convertir en une donnée numérique.

Pour cela, il faut, dans l'ordre : **1)** prélever un échantillon du signal analogique, **2)** le bloquer, **3)** le convertir en une valeur numérique entière, puis **4)** coder la valeur numérique.




¹ Attention, l'acronyme "CAN" est également utilisé pour les réseaux de terrain. Cela n'a aucun rapport avec le propos de cette fiche.

Termes à connaître :

- * **l'échantillonnage** : consiste à prélever la valeur instantanée Y_e du signal analogique V_e à intervalles de temps réguliers, multiples de la période d'échantillonnage T_e avec $T_e = 1/F_e$;
- * **le blocage** : consiste à maintenir l'échantillon Y_e constant pendant le temps de la conversion ;
- * **la quantification** : consiste à attribuer une valeur entière q_n (prise dans un ensemble fini de valeurs) à l'échantillon du signal bloqué Y_{eH} ;
- * **le codage** : consiste à établir une correspondance entre la valeur q_n d'un échantillon en une valeur binaire N selon un code donné (« binaire naturel », « Gray » ou « DCB », « complément à 2 », ...) sur un nombre de bits donné.

Caractéristiques importantes :

- * **La fréquence d'échantillonnage, notée f_e :**
 - détermine le nombre d'échantillons pris pendant 1 seconde. Cette fréquence d'échantillonnage, f_e , est limitée par la vitesse du convertisseur (limite technologique) ;
 - Afin d'obtenir une conversion fidèle au signal d'entrée, il faut toujours veiller à respecter la formule suivante tirée du théorème de Shannon : $F_e \geq 2 \times F_{\text{max du signal}}$
 - Attention toutefois à ne pas échantillonner trop vite, car cela pourrait impliquer un stockage d'informations inutilement important (chercher le juste nécessaire).
 - * **Le « pas de conversion », ou « pas de quantification », ou « quantum », noté q :**
 - détermine la plus petite variation du signal d'entrée que peut distinguer le convertisseur.
 - Avec un convertisseur de n bits, on peut distinguer 2^n états.
 - Valeur du quantum :
$$q = \frac{V_{ref}}{2^n}$$
 
- avec V_{ref} : tension maximum du signal convertible ou tension de référence ou plage pleine échelle
 n : nombre de bits de sortie
- Exemple** : Avec une plage pleine échelle de $V_{ref} = 10V$ et convertisseur de $n = 8 \text{ bits}$, on a $q = 10 / 2^8 = 39 \text{ mV}$.

* **La fonction de transfert :**

- correspond à la relation qui existe entre le nombre de sortie N (exprimé en décimal) et le signal d'entrée V_e .

- Elle est donnée par la relation suivante :

$$N = E \cdot \frac{V_e}{q}$$



avec N : nombre entier converti (en décimal) ;

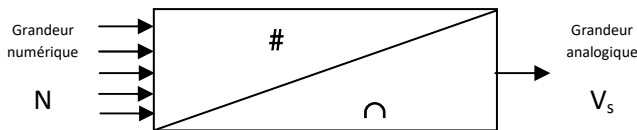
V_e : tension d'entrée (en V ou mV) ;

q : quantum du convertisseur (en V ou mV).

Remarque : Tout ce qui est dit ici pour des tensions est applicable avec des intensités.

3 – CONVERSION NUMERIQUE → ANALOGIQUE (CNA)

La conversion « numérique → analogique » consiste transformer un échantillon du signal numérique en une valeur analogique. Il s'agit donc de la fonction inverse du CAN.



Les 2 premières caractéristiques citées ci-dessus s'appliquent au convertisseur numérique → analogique.

Sa fonction de transfert est la suivante :

$$V_s = N \cdot q$$



Avec V_s : tension de sortie du convertisseur (en V ou mV) ;

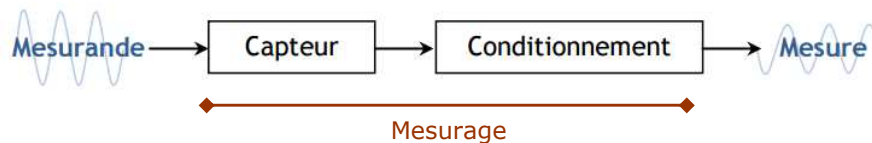
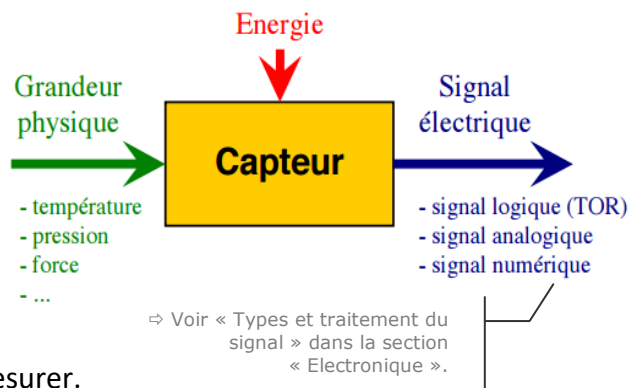
N : nombre (décimal) en entrée du convertisseur ;

q : quantum (en V ou mV).

Remarque : Tout ce qui est dit ici pour des tensions est applicable avec des intensités.

1 – DEFINITIONS

- * **Capteur** : organe de prélèvement d'information qui élabore à partir d'une grandeur physique à connaître, une autre grandeur physique de nature différente, très souvent électrique.
- * **Capteur actif** : nécessite une alimentation électrique.
- * **Capteur passif** : ne nécessite pas d'alimentation.
- * **Détecteur** : autre nom donné aux capteurs.
- * **Mesurande** : autre nom donné à la grandeur physique à mesurer.
- * **Mesurage** : toutes les opérations permettant l'obtention de la valeur d'une grandeur physique (mesurande)
- * **Mesure** : valeur numérique représentant le mesurande (6 MPa, 20°C, 2 m.s⁻¹, etc.).
- * **Conditionnement** : c'est l'ensemble des traitements subit par le signal (amplification, filtrage, etc.) qui donnera une mesure exploitable.



2 – CARACTERISTIQUES – ELEMENTS DE METROLOGIE



L'ensemble des caractéristiques évoqué ici est en général donné par le constructeur du capteur dans un document usuellement appelé « **datasheet** »

Les datasheet sont disponibles en ligne sur les sites de fournisseurs (Conrad, Gotronic, ...).

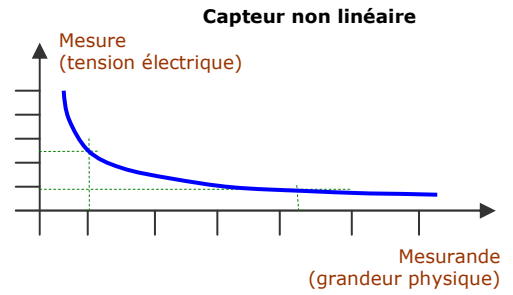
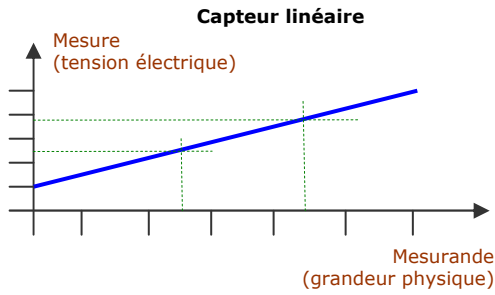


→ Caractéristiques statiques :

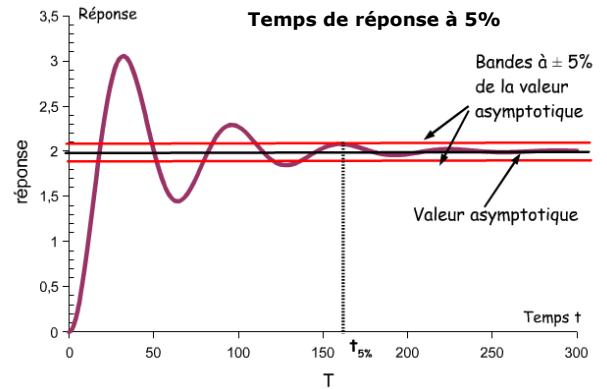
- * **Etendue de mesure** : Valeurs extrêmes pouvant être mesurées par le capteur.
- * **Résolution** : Plus petite variation de grandeur mesurable par le capteur.
- * **Sensibilité** : Variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.

Exemple : Le capteur de température LM35 a une sensibilité de 10mV / °C.

* **Linéarité** : un capteur est linéaire si sa sensibilité est constante.



* **Rapidité** : Temps de réaction du capteur. En général, on s'intéresse au « temps de réponse à 5% » ; il s'agit de la durée nécessaire pour que le signal de la réponse ne s'écarte pas plus de +/- 5% de la valeur cible. La rapidité est liée à la bande passante.

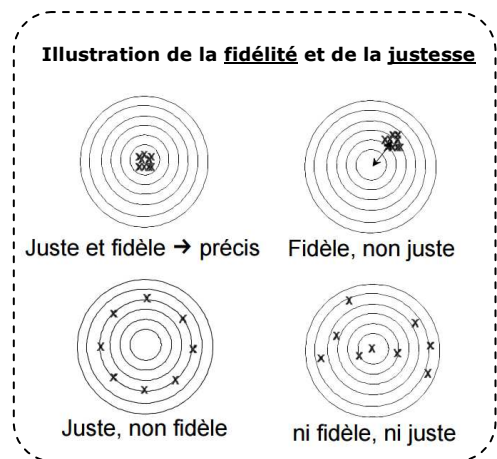
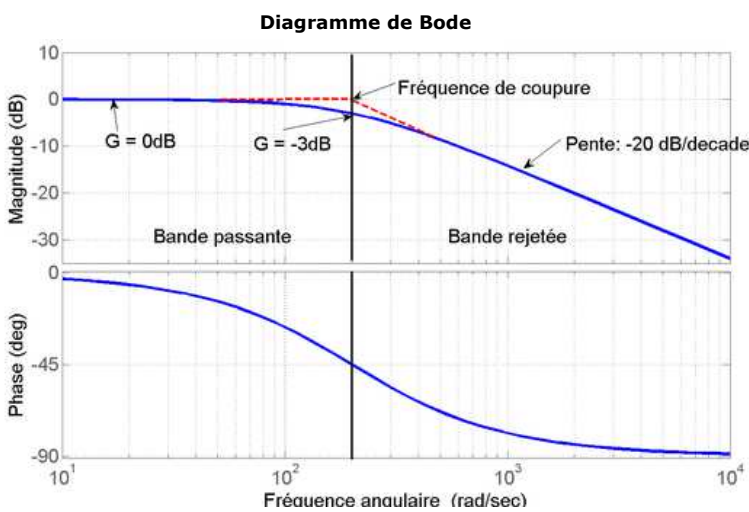


* **Justesse** : Aptitude du capteur à donner une mesure proche de la valeur vraie.

→ **Caractéristiques dynamiques :**

* **Fidélité** : aptitude du capteur à donner, pour une même valeur de la grandeur mesurée, des mesures concordantes (groupées).

* **Bande passante à -3 dB** : C'est la plage de fréquence de la grandeur d'entrée pour laquelle le fonctionnement du capteur est correct ; elle est donc liée à son temps de réponse.



* **Précision** : un capteur est précis s'il est **fidèle et juste**.

🌀 **L'ensemble des caractéristiques a un impact direct sur le choix d'un capteur.**

1 – PREAMBULE

Choisir un capteur n'est pas toujours une mince affaire car les critères à considérer peuvent être nombreux. Dans un premier temps, le choix se fait sur des **critères techniques**. Arrive ensuite le **critère économique** qui veut qu'à caractéristiques techniques égales, on achètera probablement le moins cher.

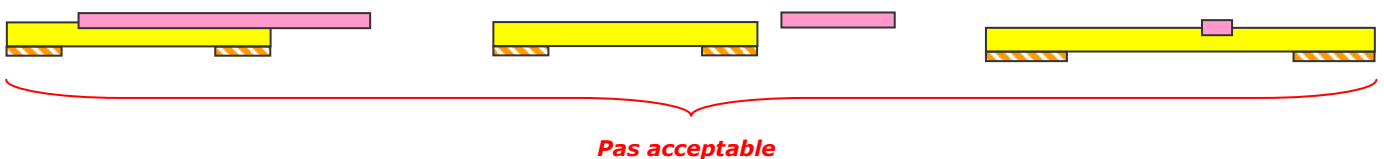
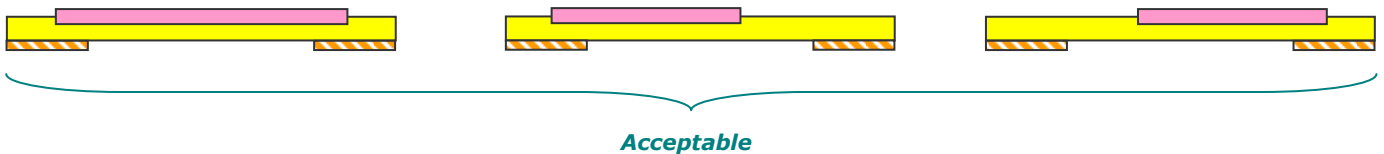
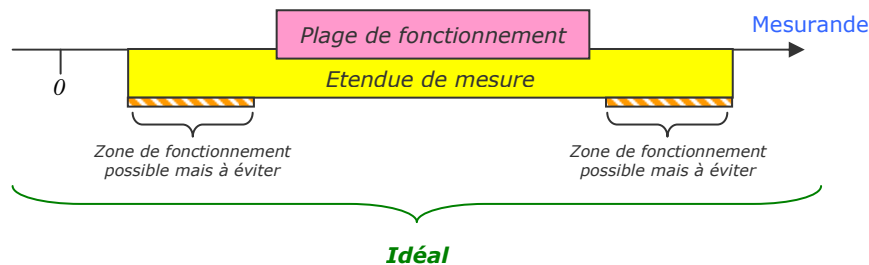
2 – CRITERES TECHNIQUES

* **Critère ①** : le capteur doit donner accès à la grandeur physique à acquérir (le mesurande).

⇒ *On ne va pas prendre un capteur de pression pour mesurer une température...*

* **Critère ②** : les caractéristiques statiques et dynamiques du capteur doivent être adaptées à la situation.

⇒ *Au minimum, il faut veiller à ce que **l'étendue de mesure** soit adaptée, c'est-à-dire couvre complètement la plage de fonctionnement prévue sans pour autant être trop grande :*



⇒ **La précision** peut éventuellement être la seconde caractéristique à surveiller.

⇒ **Le temps de réponse** peut éventuellement être à considérer si le mesurande évolue très vite.

* Critère ③ : le type de sortie doit être adapté.

⇒ On rappelle que la sortie peut être de type « Tout Ou Rien » (TOR), analogique ou numérique.

Il faut avoir à l'esprit que certains capteurs intègrent un circuit de mise en forme, mais pas tous ; voici quelques exemples :

