

Ingénierie Système

Compétences attendues :

- ✓ Décrire le besoin et les exigences.
- ✓ Traduire un besoin fonctionnel en exigences.
- ✓ Définir les domaines d'application et les critères technico-économiques et environnementaux.
- ✓ Qualifier et quantifier les exigences.
- ✓ Évaluer l'impact environnemental et sociétal.
- ✓ Isoler un système et justifier l'isolement.
- ✓ Définir les éléments influents du milieu extérieur.
- ✓ Identifier la nature des flux échangés traversant la frontière d'étude.
- ✓ Associer les fonctions aux constituants.
- ✓ Identifier et décrire les chaînes fonctionnelles du système.
- ✓ Identifier et décrire les liens entre les chaînes fonctionnelles.
- ✓ Caractériser un constituant de la chaîne d'information.

1. Analyse du besoin

1.1. Qu'est-ce qu'un ingénieur ?

Une Fonction dans l'entreprise et une Ethique.

Le métier de base de l'ingénieur consiste à **poser et résoudre** de manière toujours plus performante des problèmes souvent complexes liés à la **conception, à la réalisation et à la mise en œuvre**, au sein d'une organisation compétitive (entreprise privée ou publique), de **produits, de systèmes ou de services**, éventuellement à leur financement et à leur commercialisation.

1.2. Notion de système

Définition du besoin :

Un **besoin** est une **nécessité ou un désir éprouvé par un utilisateur**

Un produit est réalisé pour satisfaire un besoin. Ainsi, le besoin du client est satisfait par l'utilisation du produit.

Un produit est créé par l'homme, il n'est pas naturel.

Un produit peut être :

- un objet (iPhone, chaussure, crayon...)
- un service (tour opérateur, éducation...)
- un processus (traitement informatique, raffinage du pétrole...)

*Les produits qui nous intéresseront sont assez complexes pour être qualifiés de **systèmes**.*

C'est la réponse que donnera le produit à ce besoin qui permettra à l'entreprise de le vendre, ou non. Il est donc primordial, pour imaginer un produit qui se vende, que l'entreprise ait connaissance d'un maximum d'informations afin de définir les principales caractéristiques qui constitueront le produit. Il lui est ainsi nécessaire de connaître :

- les besoins précis du client potentiel (donnés par l'étude de marché) ;
- l'environnement dans lequel devra évoluer le produit ;
- sur quoi agira le produit ;
- ce que le produit devra faire.

Définition d'un système :

Un système est un ensemble d'éléments entre-liés dont le but est de réaliser une ou plusieurs fonctions, dans le but de **satisfaire** un ou plusieurs **besoins** cohérents d'un utilisateur.

Techniquement un **système** est défini par ses **constituants**, sa **structure** et ses **performances**.

Attention : Un système n'est pas un ensemble. Un ensemble est défini uniquement par les éléments qui le composent. Un **système** est défini par les éléments qui le composent **ET** par l'ensemble des **interactions** entre ces éléments.

Il présente des **propriétés nouvelles résultant des interactions et des flux échangés** entre les éléments constitutifs et le milieu.

Les systèmes peuvent être classés selon leur domaine d'application (aéronautique, automobile, électroménager, électronique grand public, domotique, service, médical, ...), selon le contexte technico-économique (système de petite série ou système de grande série, ou selon leur nature (purement électrique, purement mécanique, ...))

1.3. Les sous-systèmes

Un système peut être décomposé en un ensemble de sous-systèmes en relations les uns avec les autres. Chaque sous-système est alors un ensemble de composants liés entre eux. Celui-ci peut également être décomposé en un ensemble de sous-systèmes, et ainsi de suite jusqu'à ce que chaque sous-système soit composé d'un unique élément.

Exemple :

Une motocyclette peut être décomposée en plusieurs sous-systèmes : le châssis, le moteur, le système de freinage, la direction, la transmission, les suspensions, la boîte de vitesses...



Une moto-cross



Une boîte de vitesses



Un roulement à billes

La boîte de vitesses est quant à elle composée de pignons, d'arbres, de fourchettes, de joints, de roulements... Roulements qui sont composés d'une bague intérieure, d'une bague extérieure, de billes et d'une cage à billes.

1.4. Les systèmes complexes

Définition d'un système complexe :

Un système est dit **complexe** lorsque les inter-relations liant les composants sont **multiples, interdépendantes et bouclées**.

Le **comportement global** n'est donc **pas directement prévisible** à partir des **comportements élémentaires** de chacun des constituants.

Les systèmes embarquent de plus en plus de technologies différentes, ils deviennent de plus en plus complexes. Leur mise au point nécessite donc la collaboration étroite de nombreux acteurs industriels et/ou issus de différents domaines du génie (mécanique, informatique, électrique ...).

1.5. Autour du système

1.5.1. Le milieu extérieur

Un système interagit avec son environnement. Il peut donc agir sur celui-ci, ou bien être modifié par lui. Pour étudier un système, il faut donc **en connaître les limites**, mais aussi être capable de déterminer les liens qu'il possède avec le milieu extérieur.

On définit ainsi une **frontière fictive** qui permet de distinguer le système de son milieu extérieur. On dit qu'on **isole le système**.

Définition du milieu extérieur :

Le **milieu extérieur** est l'ensemble des éléments extérieurs au système en interaction avec celui-ci.

On peut notamment y distinguer :

- le milieu humain : but à atteindre, sécurité, etc. ;
- le milieu physique : bruits, chocs, pollution, etc. ;
- le milieu économique : prix, service après-vente, etc. ;
- le milieu technique : source d'énergie, etc.

Exemple : Un voilier



Un voilier est en relation avec l'homme, la mer et le vent qui sont des éléments extérieurs au système voilier. D'autres éléments extérieurs peuvent agir sur le système, comme la pluie, le soleil.

1.5.2. La matière d'œuvre

Définition de la matière d'œuvre :

On appelle **matière d'œuvre** ce sur quoi agit le système pour le faire passer d'un état initial (**matière d'œuvre entrante - MOE**) à un état final (**matière d'œuvre sortante - MOS**).

La matière d'œuvre est un flux = Matière, Energie ou Information.

Les flux (Matière, Energie ou Information), matières d'œuvre de chacun constituants, sont fondamentaux pour appréhender le comportement global.

La matière d'œuvre peut être :

- une matière à l'état solide, liquide ou gazeux et sous une forme plus ou moins élaborée ;
- une énergie sous forme électrique, thermique, hydraulique, mécanique, etc. (que le système va produire, stocker, transporter, convertir, ...)
- une information sous forme écrite, audiovisuelle, etc. (que le système va produire, stocker, transmettre, communiquer, coder, décoder, ...)
- un être humain, pris individuellement ou collectivement (qu'il faut former, informer, soigner, transporter, servir, divertir, ...).

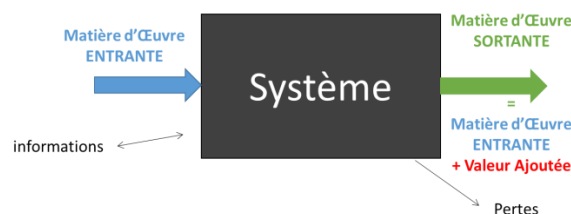
Remarque importante : **La matière d'œuvre est extérieure au système !** Lors de cette étape d'analyse, on ne connaît *a priori* (dans le monde industriel) pas encore les détails du système. Celui-ci est considéré comme une boîte noire.

1.5.3. La valeur ajoutée à la matière d'œuvre

Définition de la valeur ajoutée :

La modification des caractéristiques de la matière d'œuvre après passage dans le système est appelée **valeur ajoutée**.

Une fois la frontière du système étudié parfaitement définie, ce qui entre dans le système est appelée matière d'œuvre entrante (MOE), ce qui en sort, est appelée matière d'œuvre sortante (MOS) et la différence entre les deux est la valeur ajoutée (VA) par le système.



La valeur ajoutée peut-être :

- un changement d'état,
- un changement de caractéristiques (mécaniques, électriques, thermiques, etc.),
- un changement de forme (par déformation, moulage, etc.),
- un changement de position (espace),
- un changement de statut (temps).

1.5.4. Fonctions du système

Définition de la fonction d'un système :

Une **fonction** est une action réalisée par un système (ou de l'un de ses constituants), qui exprime le but à atteindre.

Une **fonction** est formulée par un **verbe à l'infinitif suivi d'un complément.**

1.6. Analyse de la valeur

Pour augmenter ses bénéfices, une entreprise peut augmenter ses prix de vente, diminuer ses coûts, ou mieux encore, fournir un produit qui répond au besoin au meilleur coût. Cela signifie définir précisément le besoin, puis répertorier les **fonctions de services utiles** (et juste celles-ci) pour le satisfaire et ensuite seulement réaliser le produit remplissant ces fonctions. Il faut en clair, optimiser le rapport [Satisfaction du Besoin / Besoin éprouvé].

On définit ainsi la **Qualité** d'un produit comme le ratio [Satisfaction offerte / Satisfaction souhaitée], et sa **Valeur** comme le rapport [Qualité / Coût].

2. L'ingénierie Système : une méthode normalisée

2.1. Pourquoi l'Ingénierie Système – Ce que l'on souhaite éviter ...

En 1996, le Standish Group a publié des données révélatrices de la manière dont les projets industriels étaient gérés :

- Seuls 16 % des projets sont terminés dans le respect du cahier des charges.
- 31 % des projets n'aboutissent pas.
- 45 % des projets ont un dépassement budgétaire de plus de 50 % dont 11 % avec des dépassements supérieurs à 200 % (soit plus du triple du budget initialement alloué).
- 57 % des projets ont un retard de plus de 50% dont 10 % avec un retard supérieur à 200 %.

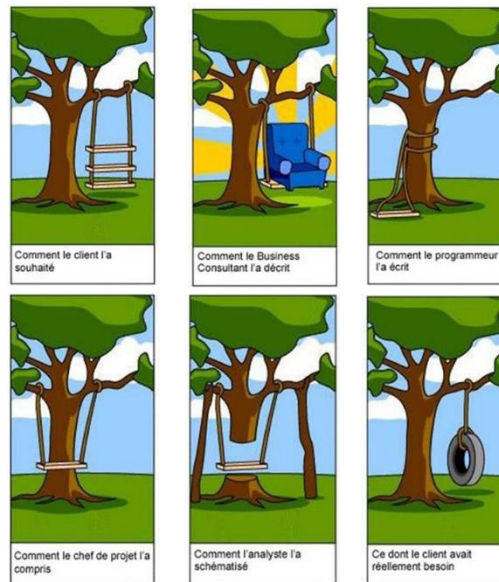
Ces chiffres posent un véritable problème de définition du projet, ce qui justifie la mise en œuvre d'une démarche de réflexion et d'études plus rigoureuses : c'est l'objectif de l'Ingénierie Système.

L'Ingénierie Système apporte une réponse aux échecs du passé.

Si près d'un tiers des projets n'aboutissent pas, les causes des échecs sont diverses. Les points couverts directement ou indirectement par l'Ingénierie Système sont indiqués par [IS].

- 12,8 % : manque de prise en compte des utilisateurs [IS] ;
- 12,5 % : exigences et spécifications incomplètes [IS] ;
- 11,8 % : changement des exigences et spécifications au cours de la conception [IS] ;
- 7,5 % : manque de soutien de la direction ;

- 7 % : incompétence sur les technologies [IS] ;
- 6,4 % : manque de ressources ;
- 5,9 % : attentes non réalistes ;
- 5,3 % : objectifs non clairement explicités [IS] ;
- 4,3 % : délais non réalistes ;
- 3,7 % : mauvaise maîtrise des nouvelles technologies ;
- 23 % : autres causes (marché mouvant, concurrence internationale, etc...).



2.2. L'Ingénierie Système

Définition de l'Ingénierie Système :

L'Ingénierie Système est une démarche méthodologique générale qui englobe l'ensemble des activités adéquates pour concevoir, faire évoluer et vérifier un système apportant une solution économique et performante aux besoins d'un client tout en satisfaisant l'ensemble des parties prenantes.

Plus précisément, l'Association Française d'Ingénierie Système définit l'Ingénierie Système comme :

- un **processus coopératif et interdisciplinaire** de résolution de problème,
- s'appuyant sur les connaissances, méthodes et techniques issues de la science et de l'expérience,
- mis en œuvre pour **définir, faire évoluer** et vérifier la définition d'**un système** (système en IS = ensemble organisé de matériels, logiciels, compétences humaines et processus en interaction)
- apportant une solution à un **besoin opérationnel identifié** conformément à des **critères d'efficacité mesurables**,
- qui **satisfasse aux attentes et contraintes** de l'ensemble de ses parties prenantes et soit acceptable pour l'environnement,

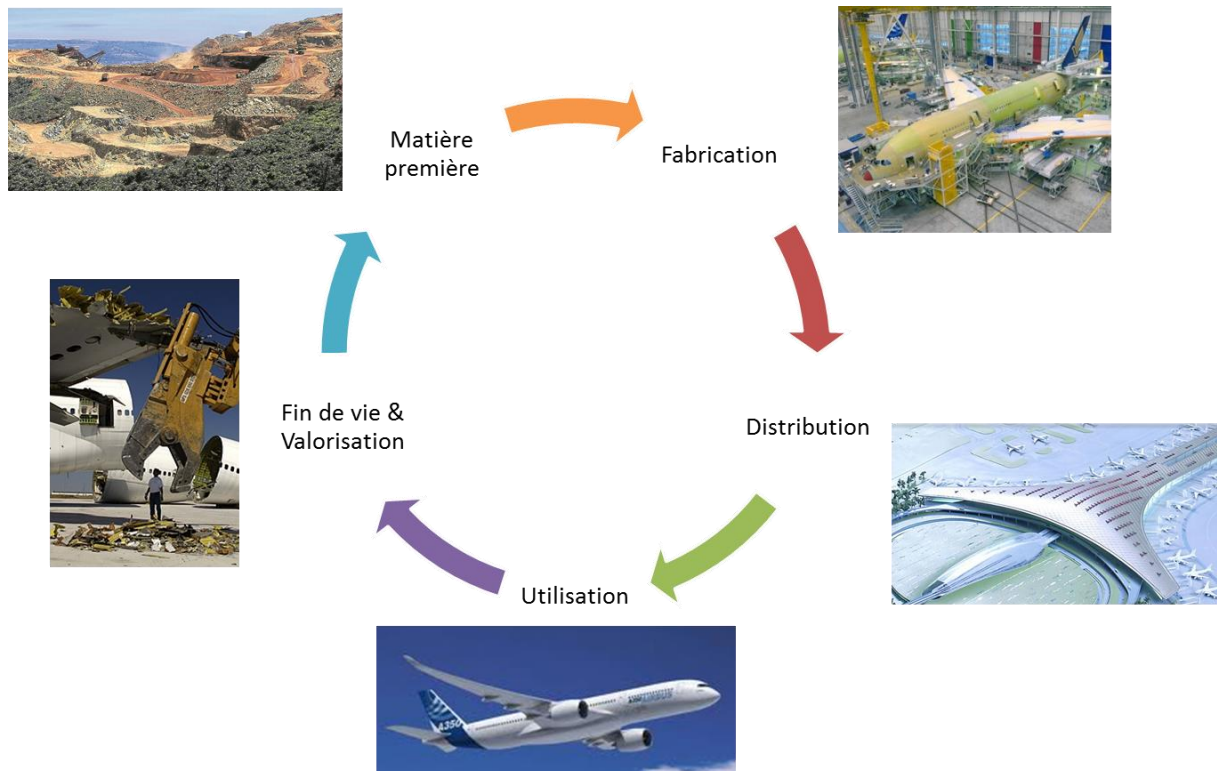
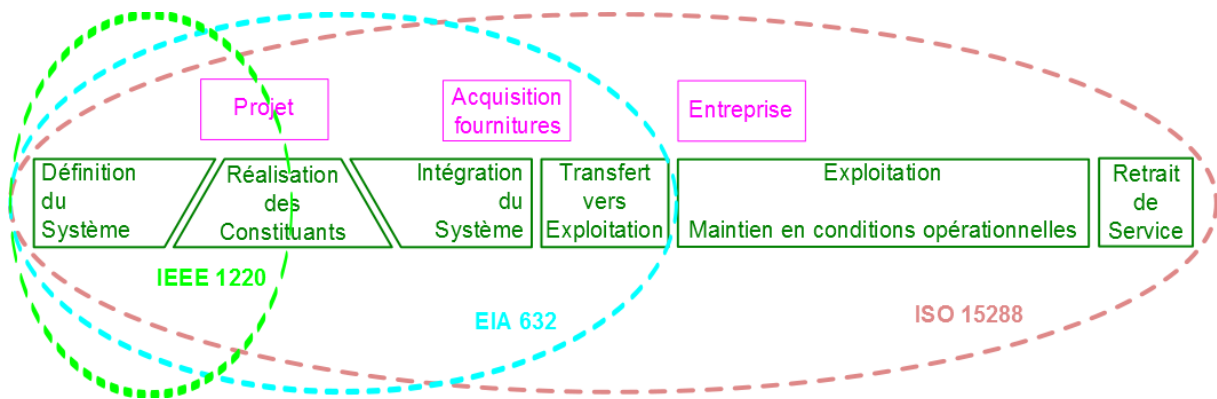
- en cherchant à équilibrer et **optimiser** sous tous les aspects l'économie globale de la solution sur **l'ensemble du cycle de vie du système**.

En résumé l'**IS** est une **méthode de résolutions de problèmes complexes**.

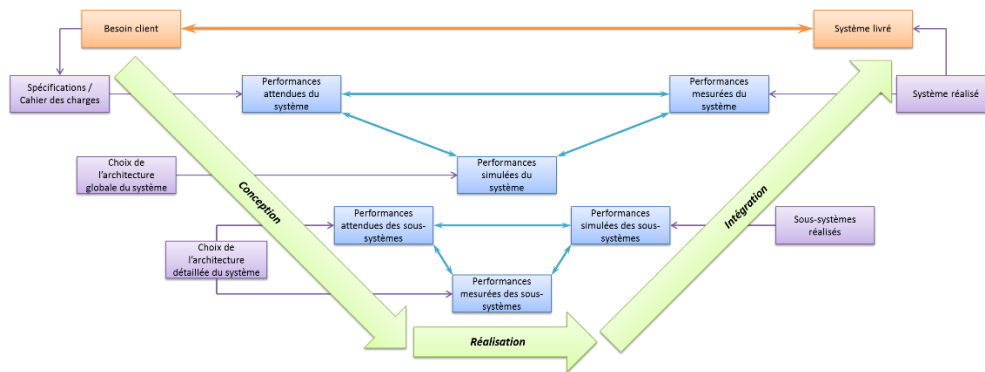
C'est une approche et des moyens **interdisciplinaires** permettant la **réalisation** et le **déploiement de systèmes réussis**.

Cette approche systématisée passe par la définition de standards détaillant les marches à suivre (ISO 15288 est la norme la plus générale).

Ci-dessous : Cycle de vie global d'un système / produit – tout est pris en compte de la conception au recyclage. *Lorsqu'une entreprise affiche une certification ISO 15288, cela signifie que ce qu'elle vend a été étudié en respectant le protocole défini par la norme.*



Détaillé au niveau de la réalisation, le cycle de vie est souvent un **cycle en V**.



Ce dernier permet de limiter le temps (en réalisant les sous-ensembles en parallèle) et les coûts (en validant à chaque étape plutôt qu'à la fin du processus de réalisation).

Les **itérations** en cas d'échec de la validation sont évidemment d'autant plus coûteuses que l'on s'éloigne de la base du V. Les étapes de la branche descendante (gauche) sont donc fondamentales.

Il existe d'autres descriptions : cycles agiles, cycles spirales ...

2.3. Le Cahier Des Charges

Le point de départ de la conception proprement dite est le **Cahier des Charges Fonctionnel (CdCF)**. Il est établi selon le cas avec le client (réponse à un besoin formulé par un client donné) ou sans (mise sur le marché d'un nouveau produit, besoin établi par des analyses de marché, des analyses de tendances ...).

Ce document récapitule les **exigences** et **fonctions** que devra remplir et assurer le système pour **satisfaire le besoin**. Il y a **toujours une fonction principale**.

Une **fonction** est formulée sous la forme d'un **verbe à l'infinitif + compléments**.

Les solutions techniques n'apparaissent pas dans le CdCF (contrat passé avec le client).

L'exemple de CdCF donné ci-dessous est celui d'un satellite d'observation géophysique DEMETER

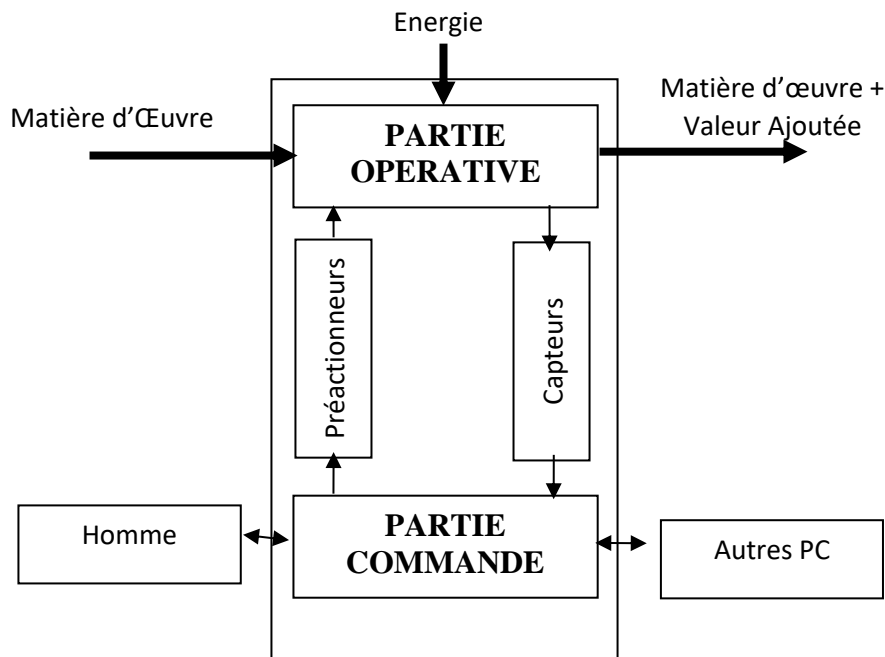


L'orbite choisie pour DEMETER impose que ses panneaux solaires ne captent la lumière du soleil que pendant une durée limitée à chaque révolution. Le courant n'est généré par les cellules des panneaux que pendant ces périodes éclairées qui permettent alors de recharger le système de batteries.

Exigences	Critères	Niveaux	Flexibilité
Gérer l'énergie de DEMETER	Durée d'éclairage des panneaux solaires	65 min	Maxi
	Capacité du système de batteries	15 A.H	-
	Nombre de circuits électriques à alimenter	44	Aucune
	Intensité dans le circuit	0,6 A	± 0,02 A
Adapter la vitesse	Vitesse relative maximale	30 m/s	Maxi

3. Architecture des systèmes

3.1. Décomposition partie commande / partie opérative d'un système automatisé

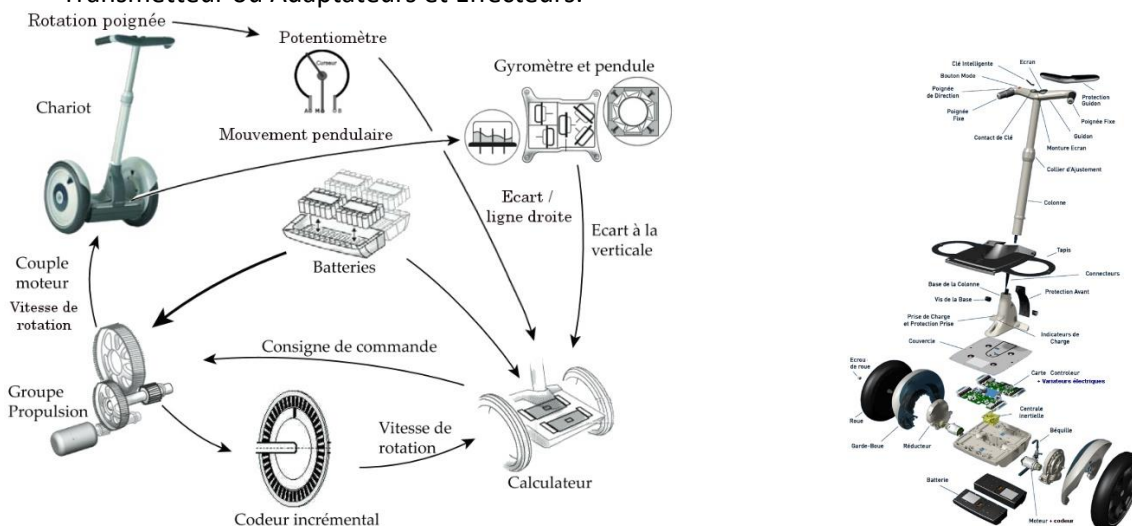


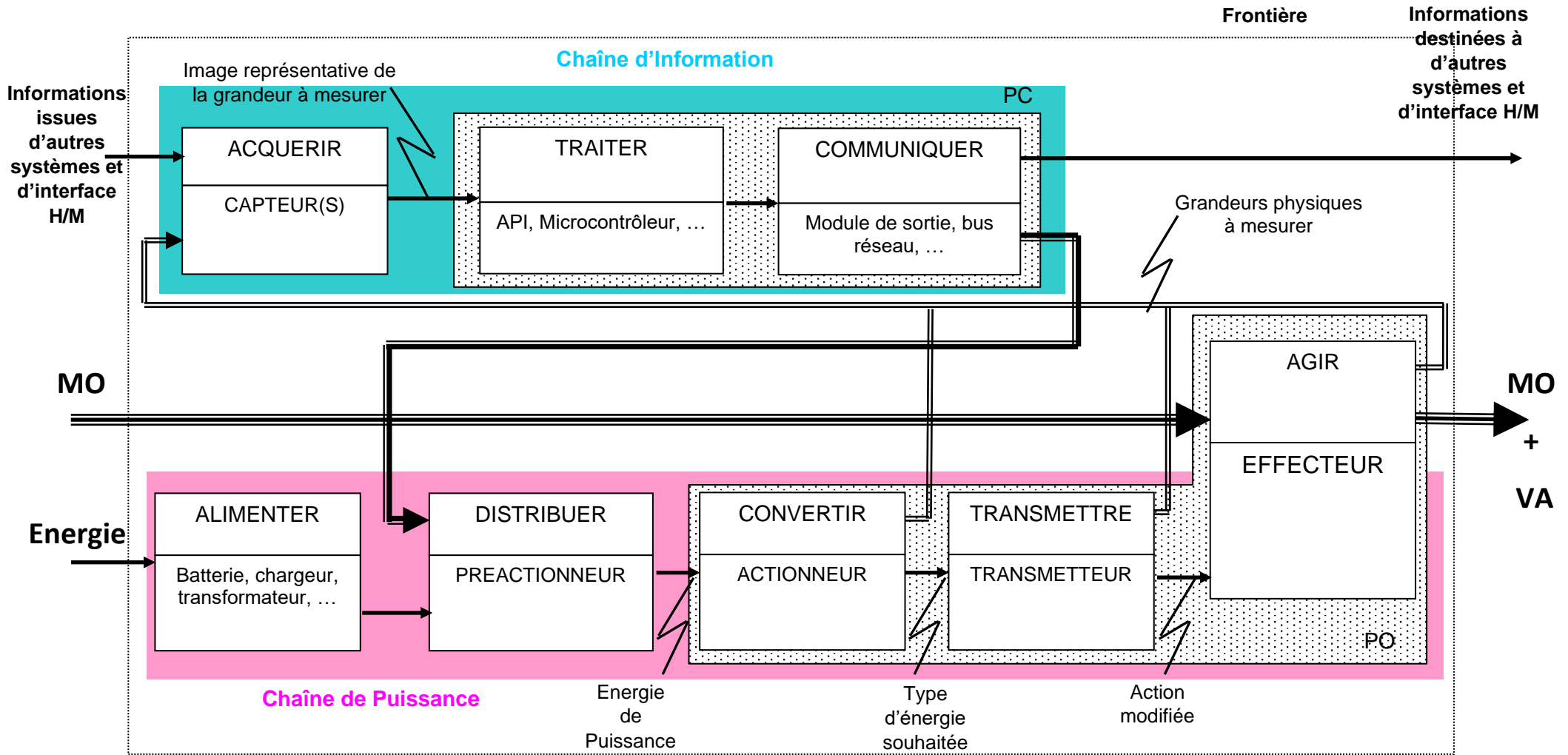
3.2. Chaîne fonctionnelle

Les fonctions techniques génériques que doit remplir un système pour satisfaire les fonctions de service peuvent être mises sous la forme du schéma de Chaîne Fonctionnelle (un système comporte en général plusieurs chaînes fonctionnelles).

Dans cette structure, chaque bloc présente deux significations :

- Une *signification GENERALISTE* en termes de fonctions d'automatisme (Acquérir, Traiter, Communiquer, Alimenter, Distribuer, Convertir, Transmettre, Agir)
- Une *signification particulière* en termes de constituants (Capteur, Préactionneur, Actionneur, Transmetteur ou Adaptateurs et Effecteurs).





Interfaces (H/M et M/H)

Interface Homme / Machine (H/M)

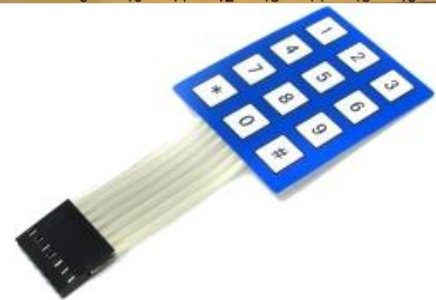
Elle permet à l'utilisateur d'envoyer des consignes au système.

Exemples : Bouton poussoirs, bouton coup de poing, potentiomètre, clavier, écran tactile...

Interface Machine / Homme (M/H)

Elle permet à l'utilisateur d'être informé sur l'état du système.

Exemples : Voyant, alarme sonore, écran, ...



Unités de traitement et de mémoire

Cette unité traite les informations et gère le fonctionnement du système. Aujourd'hui, la majorité des unités de traitement est électronique. Elle est souvent associée à une mémoire qui permet d'enregistrer des programmes, des configurations, des états, ou de créer des zones tampons (pour éviter l'engorgement ou les goulots d'étranglement).

Automate Programmable Industriel (API)

Unité principale dans l'industrie, la domotique et la logistique (production d'automobiles, tri du courrier et de colis, ...).

- Conçu pour être robuste (poussières, vibrations, variations de température, ...).
- Fiable (chien de garde contre les bugs, ...).
- Temps réel (réagit forcément dans un délai fixé) et réactif vis-à-vis des entrées et des sorties (ordres vers les préactionneurs).
- Plus cher que les microcontrôleurs.
- Programmation des API se fait souvent de manière graphique via les langages LD et SFC.
- Le programme et certaines variables sont stockés en mémoire.



Microcontrôleurs

Utilisé généralement dans les systèmes grand public (machine à café, robots, ...).

- Equivalent d'un ordinateur contenu dans un seul boîtier de circuit intégré (unité centrale + mémoire morte ou vive + interface de communication + ...). Ne pas confondre avec le microprocesseur qui correspond à l'unité centrale.
- Peu onéreux mais moins fiable qu'un API.
- Programmation langage machine mais il existe des compilateurs qui permettent de créer les programmes à partir de langage informatique (python, C++, ...).
- Le programme est stocké en mémoire (morte si non modifiable et vive si modifiable).



Circuits logiques (programmables ou non)

Utilisés généralement dans les applications nécessitant de l'électronique numérique (télécommunication, aéronautique, ...).

- Composé de cellules logiques élémentaires connectées entre elles afin de définir une équation qui donnera les sorties en fonction des entrées. Il n'y a donc pas de programme exécuté.
- Programmable si les connexions entre cellules sont reconfigurables.
- La conception des connexions s'effectue généralement grâce à un langage de description graphique (VHDL, Verilog, ...).
- On peut les compléter par d'autres éléments (DSP, Microprocesseur, ...).



Les capteurs

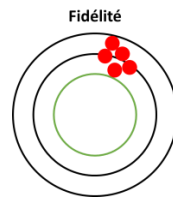
La fonction d'un **capteur** est : **MESURER/DONNER UNE IMAGE.**

On appelle mesurande (m) la grandeur à mesurer. La grandeur de sortie du capteur est en général un signal électrique (s).

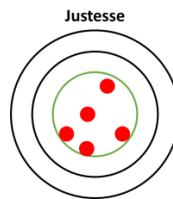
On essaie d'obtenir $s = k.m$: plus k est grand plus le capteur est dit **sensible**.

Qualités d'un capteur :

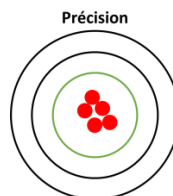
La **fidélité** caractérise les erreurs aléatoires faibles. Les résultats sont peu dispersés autour de la valeur moyenne. Les mesures sont dites reproductibles.



La **justesse** caractérise les erreurs systématiques faibles. La valeur moyenne correspond effectivement à la valeur du mesurande.



La **précision** caractérise enfin un appareil dont chaque mesure est proche de la valeur réelle du mesurande. Il est donc à la fois fidèle et juste.



La **finesse** permet d'évaluer la perturbation introduite par le dispositif de mesure (modification du mesurande liée à l'introduction du dispositif de mesure). Quelle que soit la qualité de la chaîne, la valeur fournie ne correspondra plus au système initial (sans le capteur).

Erreurs

Les **erreurs systématiques** sont constantes (ou à variations lentes) : pour (m) donné, elles introduisent systématiquement le même décalage. **Elles peuvent donc être éliminées en post-traitement.**

Les **erreurs accidentelles**, aléatoires ou fortuites ne peuvent être connues même si leur origine l'est (erreur de lecture sur un appareil à aiguille, hystérésis, fonctionnement discret ...). Le **bruit** peut caractériser les erreurs aléatoires.

Nature du signal délivré

Un signal est dit **analogique** si l'amplitude de la grandeur physique le représentant peut prendre une infinité de valeurs dans un intervalle donné.

- continu : le signal varie « lentement », c'est son niveau qui importe : température, position, débit ...
- périodique ou répétitif : c'est la « forme » qui importe : pression cardiaque, chromatographie, impact ...
- fréquentiel : le spectre fréquentiel transporte l'information désirée : analyse vocale, sonar, spectrographie ...

Un signal est **numérique** si son amplitude ne peut prendre qu'un nombre fini de valeurs (en général une puissance de 2).

Le signal est dit **Tout ou Rien (TOR)** lorsqu'il informe sur un l'état bivalent d'un système (détecteur de présence sur les portes de magasin par exemple).

Un signal **échantillonné** est image numérique d'un signal analogique.

On parle d'**impulsion** pour caractériser un changement d'état. Un codeur incrémental par exemple donne un nombre fini et connu d'impulsions par tour.

Typologie des capteurs :

Un **capteur actif** fonctionne en générateur. Il est basé sur un effet physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie propre à la grandeur physique à prélever (thermique, mécanique, rayonnement ...).

Grandeur Physique à mesurer	Effet utilisé	Grandeur de sortie
Température	Thermoélectricité	Tension
	Pyroélectricité	Charge
Flux de rayonnement optique	Photo-émission	Courant
	Photovoltaïque / Photoélectrique	Tension
Force ou pression	Piezo-électricité	Charge
Accélération ou vitesse	Induction électromagnétique	Tension
Position (aimant) ou courant	Effet hall	

Un **capteur passif** est généralement une impédance dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée. La variation d'impédance résulte d'une variation de dimension ou d'une déformation du corps d'épreuve.

L'impédance d'un capteur passif et ses variations ne sont mesurables qu'en intégrant le capteur dans un circuit électrique alimenté par ailleurs : c'est son conditionneur.

Grandeur Physique à mesurer	Caractéristique sensible	Matériaux
Température	Température	Platine, nickel, Cuivre
Flux de rayonnement optique	Résistivité	Semi-conducteur
		Alliage Nickel, silicium
Déformation	Perméabilité magnétique	Alliage ferromagnétique
Position (aimant)	Résistivité	Magnéto-résistants

Détection d'objets

Détecteur mécanique (avec contact)

Utilisé pour tous les solides indéformables. Fonctionne comme un simple interrupteur, le solide appuie sur la languette qui ferme le contact et permet ainsi la détection (nécessite souvent une résistance et un dispositif anti-rebond).

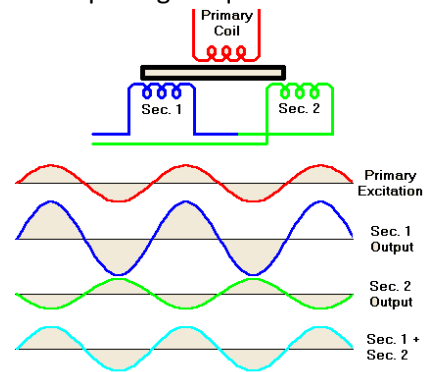


Position analogique

Détecteur Inductif (pour les matériaux conducteurs)

Lorsque l'on approche une pièce métallique du détecteur, le champ magnétique est modifié. Au-delà d'un certain seuil, l'objet a été détecté.

- Portée de 1 à 250 mm
- Variation de l'inductance ou de l'inductance mutuelle.
- LVDT (Linear Variable Differential Transformer) : l'amplitude de la tension différentielle de sortie varie linéairement avec la position du noyau et la phase de cette tension change au passage au centre.
- Pas de frottement, pas d'usure.



Détecteur Capacitif (pour tous les matériaux)

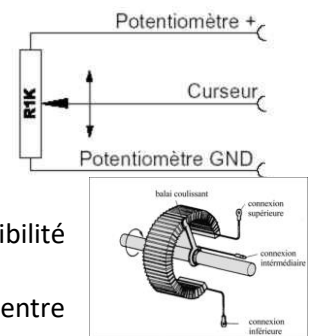
Le détecteur mesure la permittivité : la présence d'un objet modifie la capacité de l'électrode.

- Portée d'environ 15 mm.
- Usage limité car ils sont onéreux.



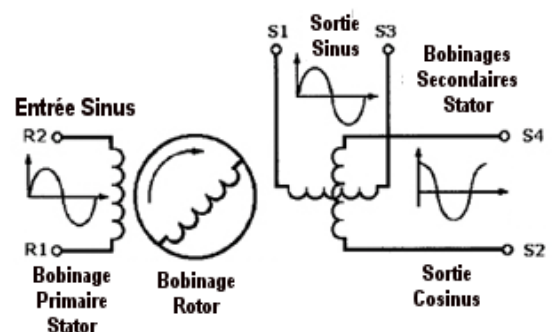
Résistif (potentiométrique)

- Position absolue.
- Bonne précision si démultipliée
- Linéaire ou angulaire (peuvent être multi-tours mais limités en amplitude).
- Valeur analogique généralement convertie en tension (possibilité de conversion Analogique Numérique pour le traitement : CAN).
- Résistance au déplacement non négligeable (bruit de contact potentiel entre le curseur et la piste).

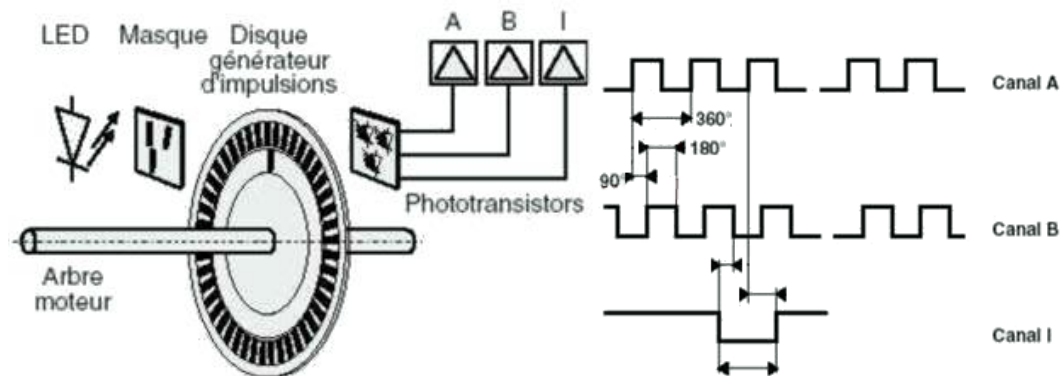


Resolver

- Le signal de sortie est sinusoïdal : on a ainsi une image par le sinus et le cosinus de la position angulaire.
- Pas de frottement, pas d'usure.



Position numérique

Codeur optoélectronique (codeur relatif ou incrémental)

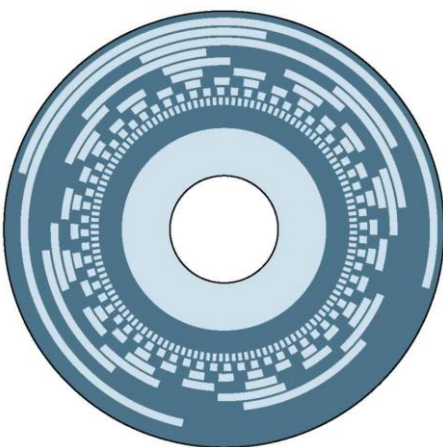
A chaque passage du rayon lumineux dans une fente, on récupère une impulsion électrique (via l'émetteur-récepteur photoélectrique). En comptant le nombre de fentes, on obtient une information sur la position. La résolution de ce capteur est donc la plage de 360° divisé par le nombre de fentes, soit ici $7,5^\circ/\text{impulsions}$.

L'inconvénient est que lors du démarrage, il n'y a aucune information sur la position (toutes les fentes se ressemblent), la mesure ne peut donc se faire que relativement à une origine, d'où son nom.

Le système est obligé d'effectuer une Prise Origine Machine afin de trouver le « zéro » au moyen d'un capteur logique.

Remarque : Il est possible d'ajouter une deuxième piste (ou un deuxième phototransistor) en décalage de 90° afin de pouvoir retrouver le sens de rotation.

Remarque : Avec ce type de capteur, il n'y a pas de frottement ni d'usure.

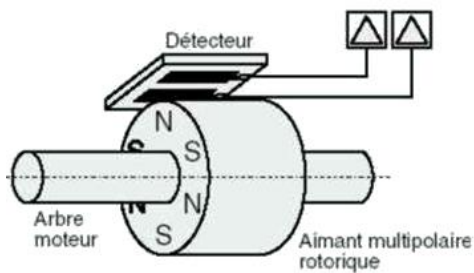
Codeur absolu - Encodage direct (Gray ...)

Ce codeur fonctionne sur le même principe que le codeur relatif sauf qu'il a plusieurs pistes en parallèle. Le disque peut alors être « découpé » en 2^n tranches si n est le nombre de pistes.

Chaque tranche contient alors sa combinaison unique de parties opaque et transparente qui correspond à son code binaire. On connaît donc toujours la position et il est inutile d'effectuer une Prise d'Origine Machine.

La résolution correspond à la plage de 360° divisée par le nombre de tranches (2 à la puissance du nombre de pistes) soit pour le disque ci-dessus une résolution de $1,4^\circ$.

Remarque : Il existe des règles (déplacement linéaire)

Capteur à effet Hall (détection d'un champ magnétique)

La sortie est du même type que celle d'un codeur optoélectronique décrit au-dessus.

Vitesse

Analogique : génératrice (dynamo) tachymétrique

Moteur CC « à l'envers » : entrée vitesse de rotation, sortie tension proportionnelle à la vitesse.

**Numérique : Codeur**

Même principe que les codeurs ci-dessus mais on mesure en plus le Δt entre deux positions.

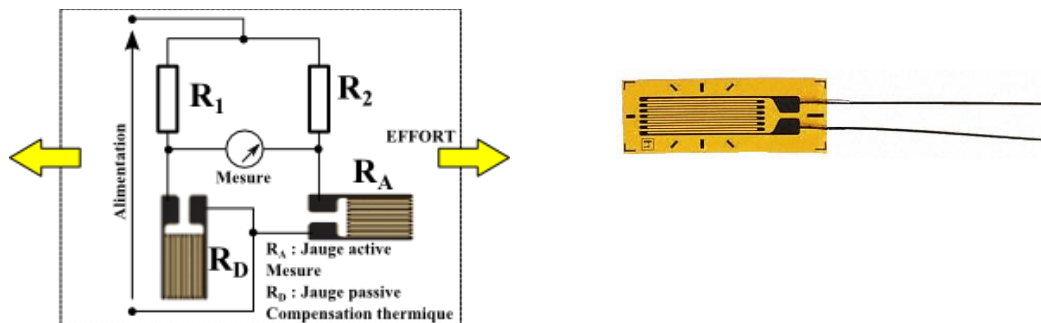
Remarque : Les constructeurs fournissent souvent les génératrices et codeurs adaptés à leurs moteurs : ils se montent sur le moteur et sont entraînés par l'autre extrémité de l'arbre. Cette solution présente l'avantage de la compacité mais induit l'inconvénient d'une mesure indirecte : c'est rarement la vitesse de moteur qui nous intéresse directement.

Remarque : La mesure de déplacement linéaire est souvent effectuée par le biais de capteur rotatifs placés sur les actionneurs.

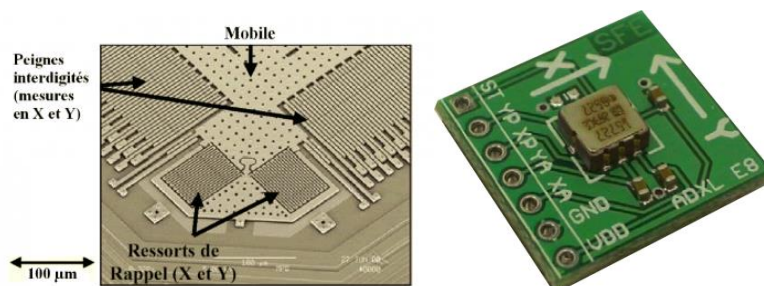
Effort / accélérations / pressions / contraintes / déformations

Sous l'effet d'une cause (effort, pression, accélération), une contrainte naît dans le corps d'éprouve du capteur et provoque sa déformation. On utilise la relation de proportionnalité : **Δ Effort proportionnel à Δ Déformation proportionnel à Δ Contrainte** dans le domaine élastique. La déformation exploitée peut être linéaire (effort) ou angulaire (moment).

Une **jauge de contrainte (ou jauge de déformation)** est un dispositif conducteur que l'on colle sur un corps d'éprouve et qui va se déformer avec lui. La résistance de la jauge varie proportionnellement à sa déformation. Les jauges sont souvent montées en ponts. Une jauge active (R_A) est utilisée pour mesurer la déformation. Elle est montée dans un pont. Une jauge inactive R_D compense les déformations dues à la température.



Les **micro-accéléromètres** exploitent quant à eux l'effet capacitif. Un peigne « fixe » est solidaire de l'objet en déplacement. Un peigne mobile supportant une masse est monté sur ressort par rapport au peigne fixe. Lorsque l'objet accélère, les effets d'inerties sur la masse font s'écarter ou se rapprocher les dents des peignes. Ces dents sont analogues à celles des plaques d'un condensateur. On trouve ces capteurs absolument partout (téléphone mobile, joystick, airbag ...). On rappelle que par intégration on peut déterminer la vitesse et la position (centrale inertielle d'avion par exemple).



Panorama incomplet ...

Bien entendu il manque ici une multitude de capteurs (température, humidité, débit, luminosité, sonore ...). Je n'ai référencé que ceux que vous rencontrerez très souvent.

VOIR COMPLEMENT CAPTEURS SUR LE SITE DU PROFESSEUR !!

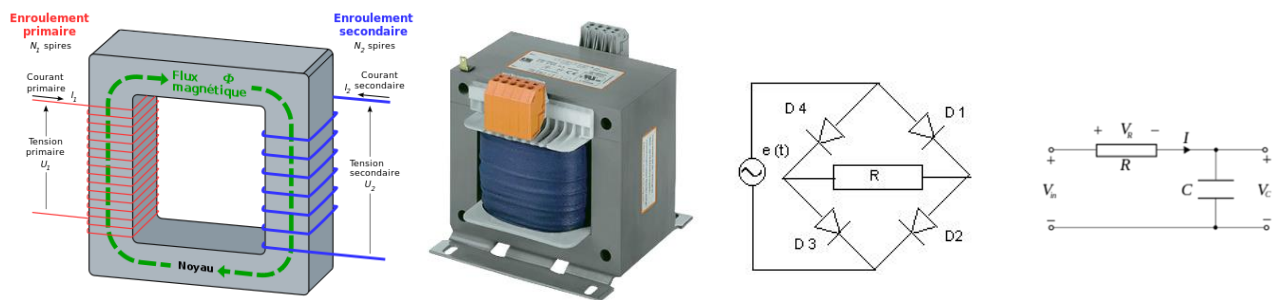
Unités d'alimentation / stockage

Alimentation

L'unité d'alimentation permet d'adapter l'énergie de la source au système (transformateur, redresseur dans le domaine électrique, pompe dans le domaine hydraulique ...).

Dans un ordinateur par exemple, l'alimentation d'ordinateur transforme le 220 V alternatif du réseau en continu 12V pour la carte mère, la ventilation, les moteurs des disques ... Dans le cas d'un portable, c'est le chargeur qui joue ce rôle.

Un autre exemple avec le chargeur de votre smartphone. Il fait le lien entre la prise et la batterie. Il est constitué d'un transformateur (baisse le niveau de la tension) et d'un redresseur (passe de l'alternatif au continu).



Transformateurs

Redresseur à pont de Graetz + Circuit RC

Autres exemples d'alimentation des systèmes :

<p>Pile électrique</p>	<p>Réseau électrique</p>	<p>Eolien</p>	<p>Solaire</p>
<p>Carburant</p>	<p>Pneumatique</p>	<p>Pile à hydrogène</p>	<p>Autres</p>

Stockage



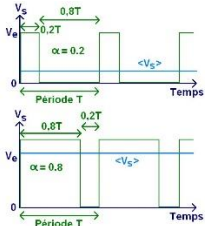

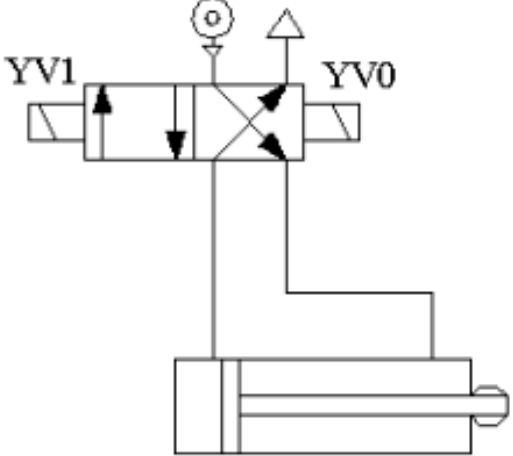
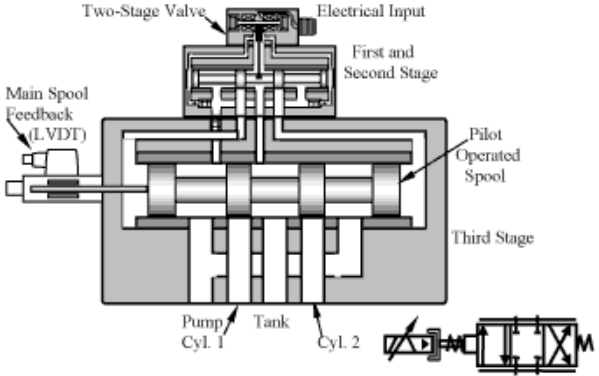
Il s'agit là d'un enjeu majeur, ne serait-ce que parce que les sources d'énergie propre produisent rarement en continu (éolienne).

- Électrique : batterie, piles ...
- Mécanique : ressort (montre), volant d'inertie ...
- Hydraulique : accumulateur, barrage ...
- Pneumatique : réservoir ...
- Chimique : réservoir gaz, carburant ...




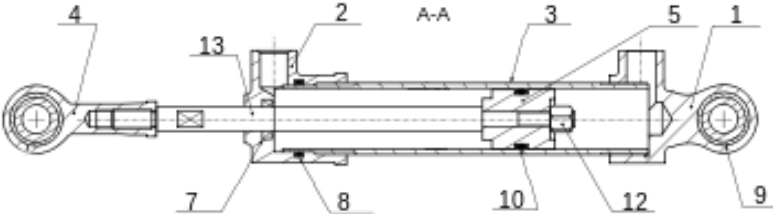
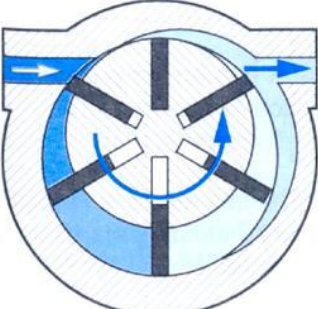

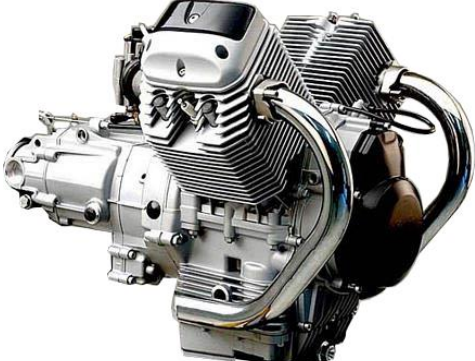
Les préactionneurs

La fonction d'un préactionneur est : **DISTRIBUER/MODULER l'énergie.**

<p>Relais électrique (faible puissance) ou contacteur électrique (puissance élevée)</p>	<p>Préactionneur logique (Tout ou Rien) : Une bobine alimentée par un courant électrique crée un champ magnétique qui déclenche la fermeture de l'interrupteur</p>	
<p>Variateur ou hacheur électrique</p>	<p>Préactionneur Proportionnel (Continu) : Le variateur est aussi appelé hacheur (ou carte de commande). Il est construit à partir de transistors. Le signal n'est pas continu mais « haché » à des fréquences élevées ce qui permet de faire varier la tension moyenne de manière continue.</p>	 <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">  </div>
<p>Distributeur hydraulique ou pneumatique</p>	<p>Préactionneur Logique (Tout ou Rien)</p>  <p>Ici commande électrique</p>	
<p>Servovalve hydraulique</p>	<p>Préactionneur Proportionnel (Continu) Commande électrique</p>	

Les actionneurs

La fonction d'un **actionneur** est : **CONVERTIR** l'énergie.

<p>Moteur électrique</p>	<p>Energie électrique en énergie mécanique $I \times U \rightarrow C \times \Omega$</p>	
<p>Moteur, vérin hydraulique</p>	<p>Energie hydraulique en énergie mécanique $P \times Q \rightarrow F \times V$</p>	
<p>Moteur, vérin pneumatique</p>	<p>Energie pneumatique en énergie mécanique $P \times Q \rightarrow C \times \Omega$</p>	
<p>Résistance</p>	<p>Energie électrique en énergie thermique $I \times U \rightarrow \dots$</p>	
<p>Moteur Thermique</p>	<p>Energie chimique en énergie mécanique $\dots \rightarrow C \times \Omega$</p>	

Transmetteurs

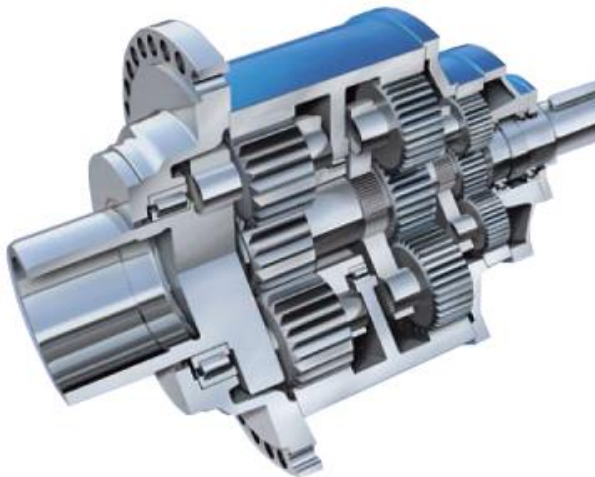
Transmission / répartition / multiplication

Réducteur à engrenages droits
et coniques hélicoïdaux

Réducteur roue vis



Train épicycloïdal



Outre la transmission de mouvement d'un point à un autre d'un système, les transmetteurs assurent une adaptation des paramètres d'effort et de vitesse.

Dans le cas d'un cycle par exemple, la transmission, comme sur une automobile, permet de transmettre la puissance du cycliste (moteur) aux roues, mais aussi d'adapter l'effort (couple) à la pente.

Cardan (simple et double)

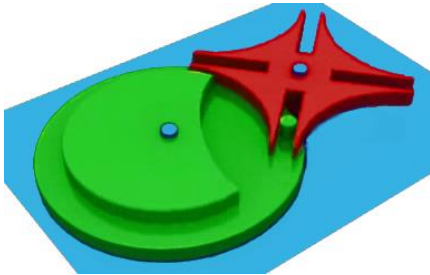


Poulie / courroie – Pignon / chaîne (ici vélo)

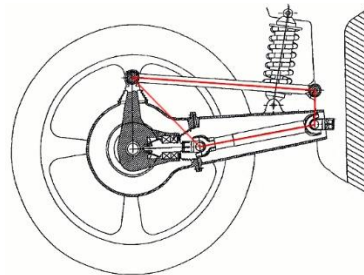


Transformation de mouvement

Croix de Malte
Rotation → Rotation discontinue

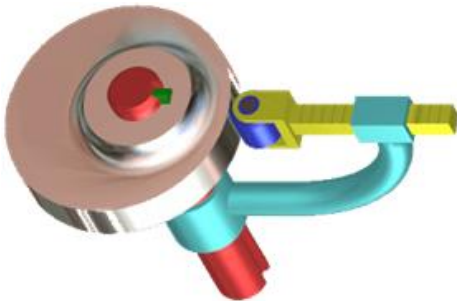


Système 4 barres (ici suspension Moto Guzzi)
Rotation → Rotation (alternative selon config)

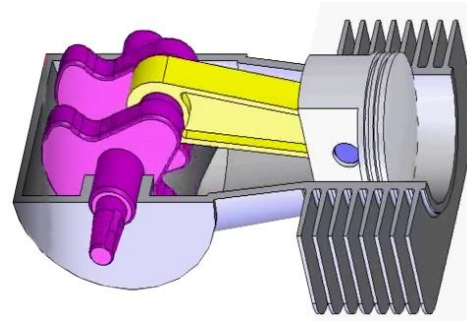


Rotation continue → Translation alternative

Came ou Excentrique

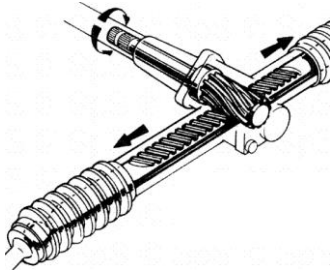


Bielle Manivelle (moteur thermique)



Rotation → Translation

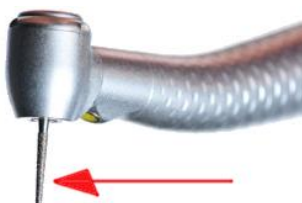
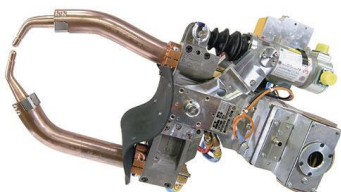
Pignon crémaillère (direction de voiture)



Vis écrou (ici un étau)



Effecteurs



Du godet de pelleuse à la pince à souder de robot, de l'outil de coupe de machine-outil, à la fraise de dentiste: **tout ce qui agit directement sur la matière d'œuvre.**

