# *Quelques exemples de composants d'un système*

Vous trouverez dans cette annexe quelques exemples de composants de systèmes remplissant les fonctions « convertir », « distribuer », « transmettre et adapter » et « acquérir ».

## 1 *Convertir* – Les actionneurs

Les **actionneurs** remplissent la fonction « **convertir** ». Ils transforment l'énergie disponible par le système en l'énergie utile à la réalisation de sa fonction.

### 1.1 Les moteurs

Les moteurs permettent de convertir de l'énergie pour obtenir un mouvement de rotation, normalement illimité en amplitude (Les servomoteurs constituent uns exception : ils s'agit de moteurs pilotés de telle sorte que leur comportement est semblable à celui d'un vérin rotatif.). D'une façon générale, un moteur est constitué d'un stator et d'un rotor. Le **stator** est la partie fixe du moteur (habituellement lié au boîtier du moteur). Le **rotor** est la partie tournante qui constitue la sortie du système.

**moteur électrique :** transforme de l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation. On en distingue différents types : les **moteurs à courant continu** (étudiés en première année de CPGE et dont on peut retenir que la vitesse de rotation est proportionnelle à la tension d'alimentation), les **moteurs synchrones** et **asynchrones** (étudiés en deuxième année et alimentés par des courants alternatifs dont la fréquence est liée à la vitesse de rotation), les **moteurs pas à pas** (permettant un positionnement précis mais des vitesses et des puissances limitées et nécessitant un pilotage plus complexe).

FIGURE *1 – Moteurs à courant continu et lien vers un gif expliquant le principe de fonctionnement (à gauche). Un servomoteur (à droite).*

**moteur thermique ou à combustion :** transforme de l'énergie chimique (contenue dans l'essence ou le gasoil) en énergie mécanique de rotation. Ils sont composés de cylindres dans lesquels se déplacent des pistons. Les moteurs à quatre temps fonctionnement sur le principe suivant. Un mélange {combustible + air} est comprimé par la montée du piston (temps 1), explose, entraînant la descente du piston (temps 2), puis la remontée de celui-ci évacuant les gaz (temps 3). Le piston redescend ensuite permettant l'entrée du mélange {combustible + air} (temps 4).

**moteur hydraulique ou pneumatique :** transforme de l'énergie hydraulique (débit d'eau ou d'huile sous pression) ou pneumatique (débit d'air sous pression) en énergie mécanique de rotation.

FIGURE *2 – Moteur thermique et lien vers un gif expliquant le principe de fonctionnement (à gauche). Moteur hydraulique (à droite).*

## 1.2 Les vérins

Les vérins permettent de produire un mouvement d'amplitude limitée. Il s'agit souvent d'un mouvement de translation. Ils sont constitués d'une tige mobile se déplaçant par rapport au corps du vérin.

**vérin électrique :** transforme de l'énergie électrique en énergie mécanique de translation. Ils sont souvent composés d'un moteur électrique et d'un système vis-écrou (*cf.* partie 3 sur les transmetteurs).

**vérin hydraulique ou pneumatique :** transforme de l'énergie hydraulique (débit d'eau ou d'huile sous pression) ou pneumatique (débit d'air sous pression) en énergie mécanique de translation. Il est constitué d'un piston, relié à une tige, se déplaçant dans le corps du vérin. Le piston sépare le corps en deux parties : les chambres. Il existe deux familles de vérins : **simple effet** ou **double effet**.

- Les **vérins simple effet** comportent une alimentation en air/huile sur une seule chambre. Seul un mouvement est commandé. Le vérin est rappelé à sa position initiale par un ressort, par la pression d'une chambre fermée (non alimentée) ou autre.
- Les **vérins double effet** comportent deux chambres qui peuvent être alimentées. On peut alors commander son déplacement dans les deux sens.

Il existe également des vérins rotatifs, dont le mouvement de sortie est une rotation d'amplitude limitée.

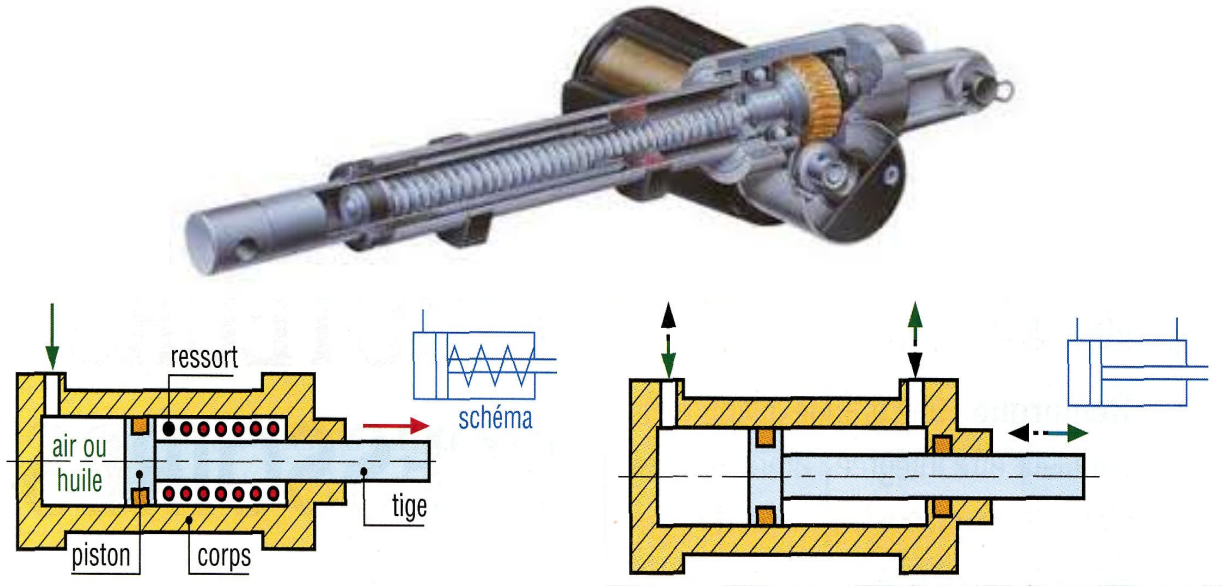
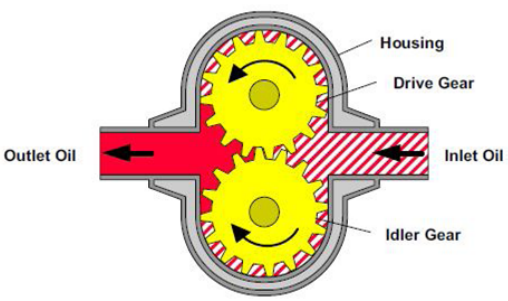



FIGURE 3 – *Vérin électrique (en haut), vérin hydraulique ou pneumatique simple effet (à gauche) et double effet (à droite).*

## 1.3 Les pompes

Les pompes, hydrauliques ou pneumatiques, permettent de transformer une énergie mécanique de rotation en énergie hydraulique ou pneumatique (débit d'huile, eau ou air à une certaine pression). Elles peuvent être à débit fixe ou variable. Il existe différentes technologies comme les pompes à pistons, centrifuges, péristaltiques ou à engrenages. Les technologies sont souvent proches de celles des moteurs hydrauliques ou pneumatiques, en inversant le sens de fonctionnement.



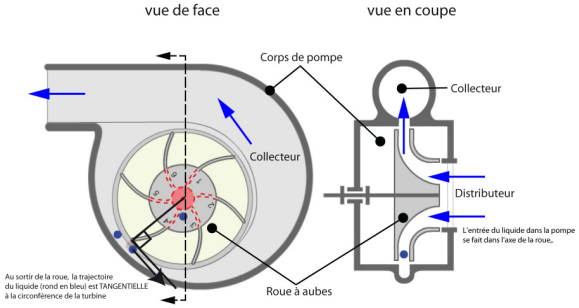



FIGURE 4 – *Pompe à engrenage (en haut à gauche) et lien vers un gif expliquant de son fonctionnement (en bas à gauche). Pompe centrifuge (en haut à droite). Liens vers des gifs expliquant le fonctionnement d'une pompe péristaltique (en bas au milieu) et à pistons axiaux (en bas à droite).*

# 2 *Distribuer* – Les pré-actionneurs

Les actionneurs, qui permettent de convertir l'énergie, sont alimentés par des pré-actionneurs, qui envoient à l'actionneur la puissance nécessaire déterminée par la chaîne d'information. Leur rôle est donc de distribuer et de moduler l'énergie mise à disposition par le bloc d'alimentation ou par le dispositif de stockage. Distinguons les pré-actionneurs par le type d'énergie qu'ils manipulent.

## 2.1 Pré-actionneurs électriques

**contacteur :** ferme ou ouvre un circuit d'alimentation à partir d'une commande électrique. Il s'agit d'un interrupteur commandé électriquement. La version la plus simple est le relais. Un contacteur ne permet pas de délivrer une tension différente de celle du circuit d'alimentation en puissance. On dit qu'il s'agit d'un pré-actionneur **tout-ou-rien**.

**hacheur :** permet de modifier la tension d'une alimentation électrique en courant continu. Les hacheurs sont utilisés par exemple pour piloter un moteur à courant continu à partir d'une source de tension continue.

**variateur :** permet de modifier l'amplitude et la fréquence de la tension d'une alimentation en courant alternatif. Il est composé principalement de redresseurs (courant alternatif ⇝ courant continu) et d'onduleurs (courant continu ⇝ courant alternatif).

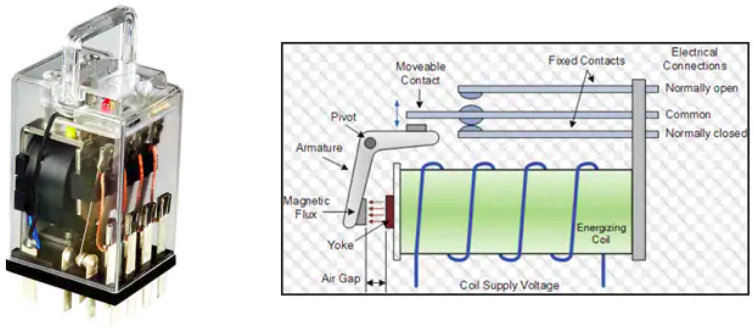



FIGURE 5 – *Photo et schéma de fonctionnement d'un relais.*

## 2.2 Pré-actionneurs hydrauliques et pneumatiques

**distributeurs :** permettent de relier l'une (ou plusieurs) des entrées d'un convertisseur hydraulique ou pneumatique à l'alimentation en huile, eau ou air sous pression à partir d'une commande (électrique, mécanique, hydraulique ou pneumatique). Leur appellation fait apparaître le nombre d'orifices du distributeur (entrées ou sorties) et le nombre de positions possibles.

**réducteurs de débit :** limitent ou réduisent le débit d'alimentation en huile, eau ou air.

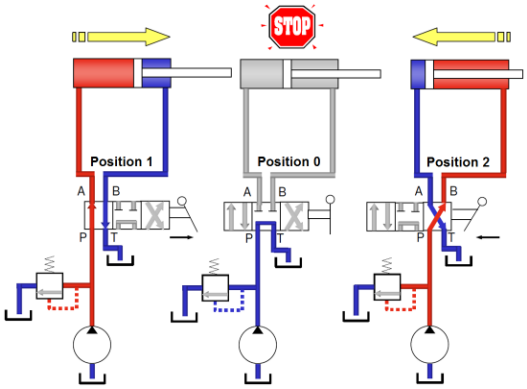



FIGURE 6 – *Schéma de fonctionnement d'un distributeur 4/3 (à gauche). La pompe (cercle avec une flèche) est également reliée à un limiteur de pression. À droite, lien vers un gif expliquant le principe de fonctionnement d'un distributeur 5/2.*

# 3 *Transmettre et Adapter*

Il existe de nombreux composants et sous-systèmes dont le rôle est de transmettre et d'adapter la puissance, une fois convertie, afin de l'acheminer jusqu'à l'effecteur qui agit sur la matière d'œuvre. Nous en décrivons ici que quelques uns, dont le fonctionnement est très simple. D'autres transmetteurs seront étudiés en cours d'année.

## 3.1 Transmettre une rotation sans changement de vitesse - Accouplement mécanique

**joint de Cardan :** permet de transmettre une rotation entre deux arbres éventuellement non alignés mais présentant un point de concours. Les arbres ne tournent pas exactement à la même vitesse angulaire (bien que la moyenne reste identique). Il s'agit de l'un des composants les plus simples pour transmettre une rotation sans changement de vitesse.

**joint tripode :** plus complexe que le joint de Cardan, il réalise un accouplement homocinétique (même vitesse de rotation pour les deux arbres).

**joint d'Oldham :** permet de transmettre une rotation entre deux arbres parallèles éventuellement non alignés.

FIGURE 7 – *Joint de Cardan (à gauche). Joint d'Oldham (au centre). Lien vers un gif montrant le fonctionnement d'un joint tripode (à droite).*

## 3.2 Transmettre une rotation avec changement de vitesse

**poulies-courroie :** une **poulie** est montée sur chaque **arbre**. Entre les deux, une **courroie** (souvent en matière plastique), crantée ou non, transmet le mouvement. Le taille des poulies déterminera le rapport entre les vitesses de rotation d'entrée et de sortie, appelé **rapport de transmission**. Afin de pouvoir transmettre le mouvement correctement, une courroie nécessite d'être tendue, ce qui est souvent réalisé par un **tendeur**.

**pignons-chaîne :** un pignon (roue dentée pour y loger la chaîne [1]) est monté sur chaque arbre. Entre les deux, une **chaîne** (souvent métallique) transmet le mouvement.

**engrenages :** deux **pignons** (roues dentées) engrènent pour transmettre la rotation de l'un à l'autre. Ceux-ci peuvent être montés sur des arbres parallèles (engrenage à axes parallèles), ou non (engrenage conique). L'engrènement peut aussi avoir lieu à l'intérieur de l'une des roues ; celle-ci est alors appelé **couronne**.

**roue et vis sans fin :** il s'agit d'un cas particulier d'engrenages dans lequel les axes de rotation sont non concourants. La rotation de la vis (habituellement de plus petit diamètre) peut être transmis à la roue mais l'inverse est souvent impossible. Ce système permet une très grande réduction de la vitesse de rotation.

FIGURE 8 – *De gauche à droite : poulies-courroie, pignons-chaîne, engrenage à axes parallèles pignon-couronne, roue et vis sans fin.*

1. Les dents sont différents de ceux des engrenages.

## 3.3 Adapter une rotation en une translation (et vice-versa)

**pignon-crémaillère :** un pignon engrène avec une **crémaillère** (tige dentée assimilable à une roue de diamètre infini). La rotation de la roue est alors transformée en translation de la crémaillère. Cette transformation est possible dans le sens contraire (translation $\rightsquigarrow$ rotation).

**vis-écrou :** un écrou est monté sur une vis. La rotation de l'écrou induit la translation de la vis. Ce mécanisme est souvent irréversible : la translation de l'écrou ne peut pas entraîner la rotation de la vis.

FIGURE 9 – *Pignon-crémaillère (à gauche). Vis-écrou (à droite).*

# 4 *Acquérir* – Les capteurs et les interfaces homme-machine

Les **interfaces homme-machine (ou IHM)** permettent d'introduire des consignes sur des systèmes ou de connaître l'état de ceux-ci. Par exemple, le chauffage d'une maison est souvent équipé d'un boîtier de commande électronique muni d'un écran tactile qui constitue son interface homme-machine. Il en existe également des plus simples, comme un interrupteur.

La fonction « Acquérir » est par ailleurs réalisée par des capteurs, qui permettent de mesurer une grandeur physique d'intérêt et la transformer en une information facilement manipulable par un système d'information (ordinateur, carte de commande...), un signal électrique par exemple. Pour réaliser la mesure, la plupart des capteurs ont besoin d'une source d'énergie, normalement de faible puissance (alimentation 5 V ou 12 V et quelques milliampères consommés par exemple).

## 4.1 Détecter une position particulière – Capteurs de fin de course

Certains capteurs ont pour objectif de fournir une information binaire (tout-ou-rien) correspondant à la présence ou non d'un objet à un endroit donné. Par exemple, les capteurs situés sur le seuil d'une porte de garage indiquent si un objet est situé sur le passage.

**capteur de fin de course mécanique :** l'objet à détecter entre en contact avec un levier ou un galet qui enclenche mécaniquement un interrupteur. Ces capteurs sont simples et robustes mais ne peuvent détecter que des objets en contact.

**capteur capacitif :** l'objet à détecter, quel que soit son matériau, modifie la capacité du condensateur qui compose l'extrémité du capteur. Ce capteur ne nécessite pas de contact. Il sont utilisés aussi bien pour la détection de véhicules dans les parkings que sur certains smartphones.

**capteur inductif :** l'objet à détecter, en matériau magnétique, perturbe par sa présence les propriétés inductives de la bobine du capteur.

**capteurs photoélectriques :** le signal émis par un émetteur est détecté par un récepteur sauf si un obstacle interrompt le faisceau. Il existe différentes variantes (un émetteur-récepteur et un miroir, un émetteur récepteur et un objet à détecter réfléchissant...)

FIGURE *10 – Capteur de fin de course mécanique (à gauche), capacitif (au centre) et photoélectrique (à droite).*

## 4.2 Mesurer une position ou un déplacement

**capteur résistif ou potentiométrique :** il est composé d'une résistance alimentée par la source d'énergie solidaire d'une pièce fixe du système. Un curseur, relié à la partie mobile, se déplace sur la résistance fixe. La mesure du potentiel électrique au niveau du curseur fournit une image de la position de celui-ci. Ce type de capteur peut être adapté à la mesure d'une position en translation ou en rotation. Il est fréquemment utilisé en tant que bouton.

FIGURE *11 – Capteur potentiométrique et principe de fonctionnement.*

**codeur incrémental :** il est composé d'un disque mobile tournant par rapport à un châssis fixe sur lequel sont installés un **émetteur optique** et une **diode photosensible** (capable de repérer la présence d'un faisceau lumineux). Le disque est percé à intervalles réguliers de telle sorte que, lorsque celui-ci tourne, la diode capte des variations de luminosité correspondant à chacune des fentes du disque. Le décompte de ces variations permet de connaître l'amplitude angulaire du déplacement. Remarquons qu'avec un tel capteur, il est **impossible de connaître la position initiale** du disque : il permet uniquement de mesurer un déplacement mais non une position. On ajoute parfois une troisième piste avec une seule fente permettant de donner connaître la position absolue si le capteur ne fait qu'un tour. De plus, pour connaître le sens de rotation du disque, il faut équiper le capteur d'un deuxième faisceau laser, décalé d'une demi-fente par rapport au premier.

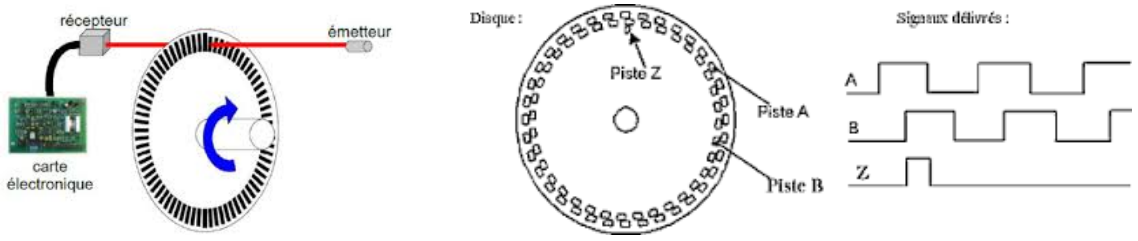



FIGURE *12 – Codeur incrémental à une piste (à gauche) et à deux pistes avec prise de zéro (au centre) À droite, le tracé du signal reçu pour chaque piste lorsque la roue tourne à vitesse constante.*

**codeur absolu :** il est composé d'un disque mobile tournant par rapport à un châssis fixe. Le disque est composé de nombreuses **pistes** (à différents diamètres), chacune d'entre elles équipée d'un émetteur optique. Des fentes de tailles différentes et bien distribuées permettent de connaître la position du disque à tout instant. Ce capteur permet donc de mesurer une position.

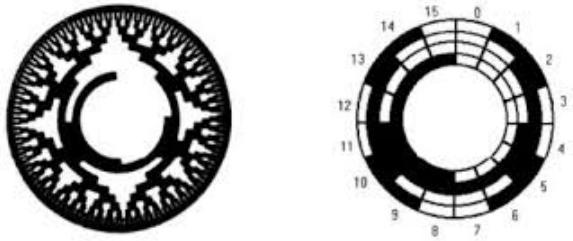



FIGURE *13 – Codeur absolu à 9 pistes, soit* $2^9 = 512$ *positions codées, (à gauche) et 4 pistes avec les correspondances en base 10 (à droite).*

Il existe de nombreuses autres familles de capteur de position et de déplacement. Seules quelques unes des plus courantes ont été présentées.

## 4.3 Mesurer une vitesse de rotation

Il est possible de connaître une vitesse soit par sa mesure, soit par son calcul à partir de la connaissance de la position. Cette deuxième méthode présente des défauts que nous étudierons au cours de l'année, en informatique et en SI.

**génératrice tachymétrique :** fonctionne sur le même principe qu'un moteur à courant continu sauf qu'ici la tension est mesurée et non imposée. Sa valeur est directement liée à la vitesse de rotation.

**gyromètre :** exploite le phénomène gyroscopique qui sera étudié principalement en deuxième année. Le déplacement d'une masse par rapport à un référentiel en rotation induit un effort qui peut être mesuré pour déterminer la vitesse de rotation.

## 4.4 Mesurer une accélération

Les **accéléromètres** exploitent généralement la deuxième loi de Newton : ils mesurent l'effort nécessaire pour compenser l'accélération à mesurer. Ainsi, on peut par exemple mesurer la déformation d'une petite poutre avec une masse à son extrémité. Ou encore, comme c'est le cas des smartphones, on peut mesurer le changement de

capacité d'un condensateur dont les armatures se déplacent par la déformation de l'une des pièces. On peut également utiliser un élément **piezoélectrique**, dont la tension aux extrémités est liée à la déformation.

Les **centrales inertielles** sont des associations d'accéléromètres et de gyromètres permettant de déterminer les accélérations, vitesses et positions (linéaires et angulaires). Elles équipent aussi bien des bateaux (en complément des GPS) que les smartphones.

## 4.5 Autres...

Il existe de nombreux autres types de capteurs :

**mesure d'effort :** on mesure les déformations induites par l'effort à mesurer (comme pour les accéléromètres). Il est particulièrement courant d'utiliser des **jauges de déformation**. Elles sont collées sur un corps d'épreuve dont le lien entre la déformation locale et l'effort à mesurer peut être déterminé. Une jauge est constituée d'un fil électrique très fin qui s'allonge lors de la déformation du matériau sur lequel il est collé. Sa résistance est alors une image de la déformation et donc de l'effort. Pour pouvoir mesurer des efforts particuliers, les jauges sont habituellement montées par groupes de 2 ou 4 sur le même corps d'épreuve.

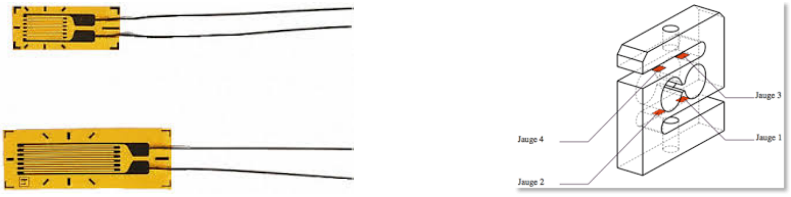



FIGURE *14 – Jauge de déformation (à gauche) et capteur d'effort composé de quatre jauges de déformation sur un corps d'épreuve.*

**mesure de température :** on peut mesurer la résistance d'un fil dépendant de la température (*thermistance ou thermorésistance*), des phénomènes thermoélectriques plus complexes (*thermocouple*) ou encore radiatifs infrarouges (on mesure le flux thermique reçu par radiation)

**mesure de pression :** on mesure l'effort provoqué par la pression sur une surface donnée

**mesure d'un débit :** on peut utiliser un système similaire à un moteur hydraulique/pneumatique dont on mesurera la rotation de la sortie. On peut également mesurer le refroidissement d'un fil chauffé dans l'écoulement (il refroidira d'autant plus vite que le débit sera important).

Cet inventaire de capteurs est loin d'être exhaustif et a pour but de montrer les très nombreuses technologies possibles pour mesurer une grandeur physique et que ces mesures sont souvent complexes à mettre en place en pratique. Un capteur fournit donc une image de la réalité, que l'on souhaite aussi proche que possible de celle-ci.