

PRESENTATION DES SYSTEMES AUTOMATISES

I – Généralités - Définitions

1. Introduction "Philosophique" / "Historique"

"Depuis toujours l'homme est en quête de bien être". Cette réflexion (qui rejoint la notion de **besoin**) peut paraître bien éloignée d'un cours de Sciences Industrielles, pourtant c'est la base de l'évolution des sciences en général, et de l'automatisation en particulier. L'homme a commencé par penser, concevoir et réaliser. Lorsqu'il a fallu multiplier le nombre d'objets fabriqués, produire en plus grand nombre, l'automatisation des tâches est alors apparue : remplacer l'homme dans des actions pénibles, délicates ou répétitives.

Citons pour exemple quelques grands hommes, avec les premiers développements de l'ère industrielle au XVIII^{ème} siècle, Watt, avec ses systèmes de régulation à vapeur, Jacquard et ses métiers à tisser automatiques... Une liste exhaustive serait bien difficile à établir !

Enfin, le développement des connaissances, et des outils mathématiques, ont conduit à un formidable essor des **systèmes automatisés**, et des **systèmes asservis**, dans la deuxième moitié du 20^{ème} siècle. Certains se hasardent à rapprocher *l'Automatique* et la *philosophie*, observant d'étranges similitudes entre les processus propres à l'homme et l'approche technologique.

Mais au fait qu'est-ce qu'un système ? Bien difficile de répondre à une telle question ! Notre point de vue porte sur les systèmes de production et les systèmes pluri-techniques en général, nous pouvons néanmoins en donner une définition plus large.

Systeme : *toute structure dont la fonction globale est de conférer une valeur ajoutée à un ensemble de matières d'œuvre, dans un contexte donné.*

2. Système automatisé - Définitions

Définition : Un système **automatisé** ou **automatique** est un système réalisant des opérations et pour lequel l'homme n'intervient que dans la programmation du système et dans son réglage.

Les buts d'un système automatisé sont de réaliser des tâches complexes ou dangereuses pour l'homme, effectuer des tâches pénibles ou répétitives ou encore gagner en efficacité et en précision.

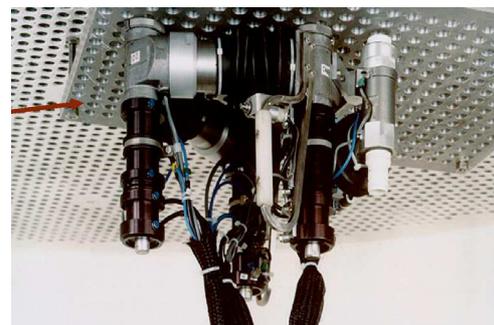
Quelques exemples :

Capsuleuse Ravoux

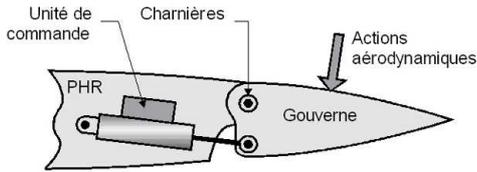
*Tâche répétitive,
Cadence élevée.*



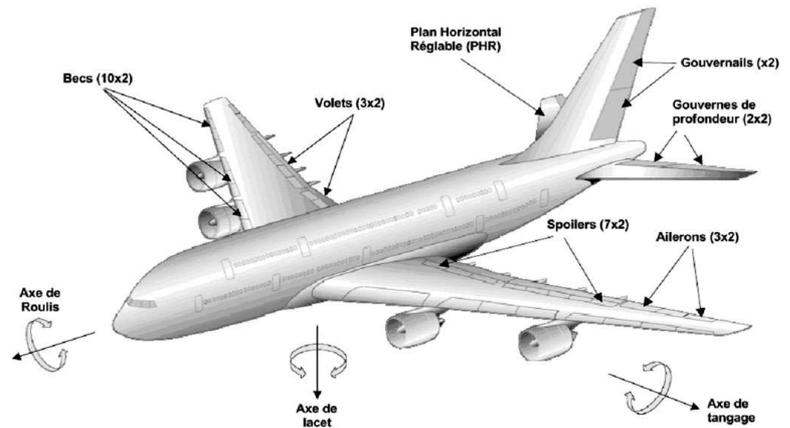
Robot TRIBAR, inspection des conduites de centrale nucléaire : *Tâche dangereuse, nécessitant précision et fiabilité*



Commandes de vol primaires de l'Airbus A380



Précision, Fiabilité.



Définition : Automatique, c'est l'ensemble de théories et de techniques pour la prise de décision et la commande des systèmes. En anglais "Automatic Control" (faux ami : commande).

L'automatique est ainsi la discipline scientifique permettant de caractériser les systèmes automatisés et de choisir/concevoir/réaliser la commande des systèmes. Les systèmes de commande s'inspirent le plus souvent de l'homme.

II – Classification des systèmes

1. Les différentes natures d'information

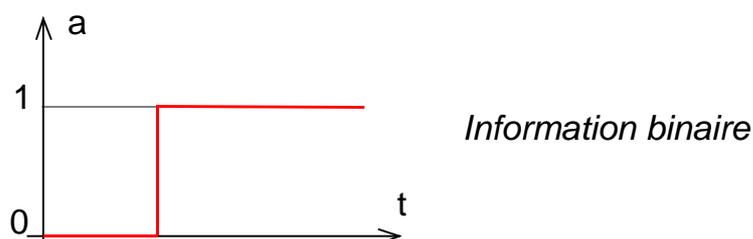
On a vu (Analyse fonctionnelle, §VII – 1.) qu'à chaque chaîne fonctionnelle d'un système correspond une chaîne d'information et une chaîne d'énergie. L'automatique s'intéresse à la **chaîne d'information**. Les systèmes automatisés vont alors être classés en fonction de la nature des informations de commande ou de mesure, et également en fonction de la nature du traitement de ces informations.

On distingue deux types d'informations : **analogiques** et **discrètes (logiques)**.

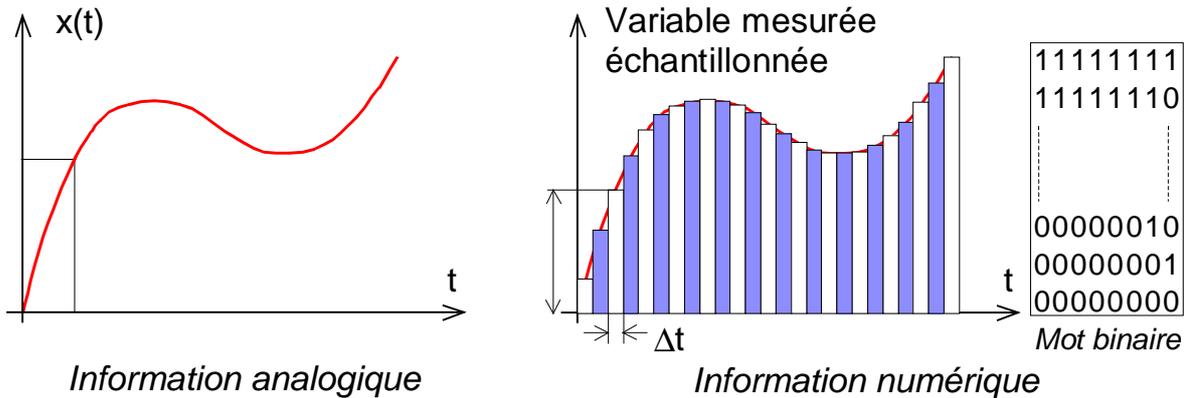
Définition : une **information (signal) analogique** est une information qui peut prendre toutes les valeurs possibles dans un intervalle donné. Les grandeurs physiques, comme la température, la vitesse, la pression, la tension (...) sont des informations analogiques. Une information analogique peut être représentée par une courbe (voir page suivante).

Définition : une **information (signal) discrète** est constituée d'un ensemble fini de valeurs. On distingue :

Information binaire (0 ou 1, vrai/faux, noir/blanc, Tout Ou Rien (TOR)).



Information numérique sous la forme d'un mot binaire, constitué de plusieurs variables binaires (bits¹). Information généralement issue d'un traitement d'une information analogique (échantillonnage, codage²).



2. Classification des systèmes

On peut alors distinguer les systèmes automatisés suivants :

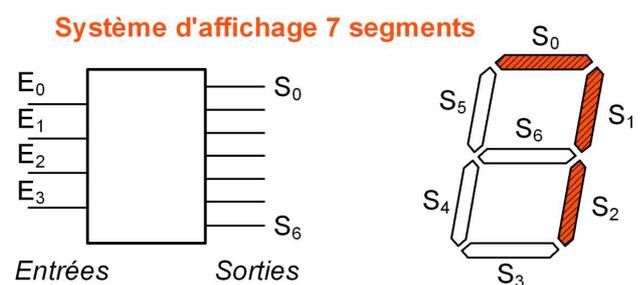
Variables logiques - Systèmes automatisés à logique combinatoire

Pour un tel système les sorties dépendent exclusivement d'une combinaison des entrées, sans prendre en compte "l'histoire" du système. A un état d'entrées, correspond un et un seul état en sortie. Aucune mémoire des états précédents des entrées et des sorties n'est conservée. L'information logique est traitée de manière instantanée.

Les grandeurs y sont manipulées sous formes d'états binaires, ce qui justifie l'utilisation de l'algèbre de BOOLE³, et des notions liées au codage de l'information.

Exemple : afficheur sept segments

L'information, chiffre compris entre 0 et 9, est fournie par un nombre binaire sur 4 bits, soit pour notre afficheur quatre entrées (E_0 , E_1 , E_2 et E_3) et en sortie les segments seront allumés ou éteints. Pour chaque combinaison des quatre entrées, doit correspondre un et un seul état des sorties, correspondant à l'affichage correct de l'information.



Variables logiques - Systèmes automatisés à logique séquentielle

Qualifié de système à mémoire généralisée, les sorties du système sont élaborées à partir d'un ensemble de signaux logiques, mais dépendent aussi de la chronologie des événements logiques. "L'histoire" du système est prise en compte.

¹ BIT : contraction de *binary digit*

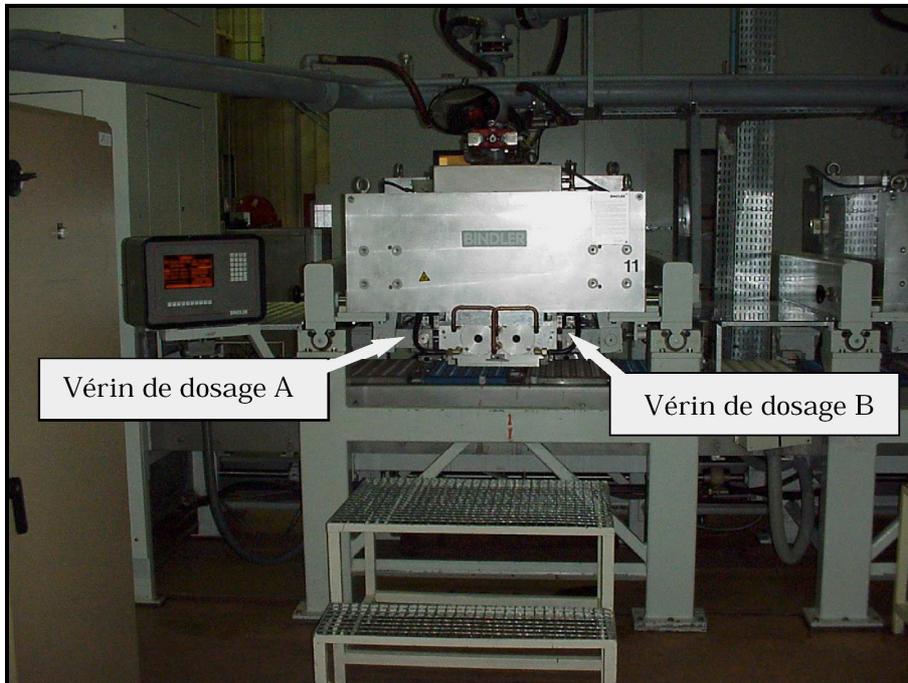
² Voir cours d'automatisme, "codage de l'information"

³ BOOLE George (1815 - 1864) : Logicien et Mathématicien anglais , *The Mathematical Analysis of logique*, 1847.

En effet les états précédents des entrées et des sorties sont mémorisés, et influent sur l'évolution du système. A une combinaison d'entrées, peuvent correspondre plusieurs combinaisons des sorties.

Exemple : ligne de production industrielle de chocolats

Le système est une ligne de production industrielle de sujets creux en chocolat (petits et grands sujets, par exemple Père Noël, lapin, œufs, ...) Le processus d'injection (réalisé par la doseuse) fait l'objet d'une commande séquentielle.



Remarque : à noter que ce système fait aussi appel à une commande asservie pour le dosage précis de la quantité de chocolat des différents sujets. De nombreux systèmes comprennent plusieurs solutions de commande.

Variables analogiques ou numériques - Systèmes automatisés continus

Les signaux traités sont analogiques ou numériques, et leurs valeurs ne peuvent être prédéterminées. Les sorties (asservies ou non) sont des grandeurs continues pour un processus donné.

Systèmes automatisés asservis : ils sont l'objet du cours qui suit, pour de tels systèmes une mesure de la sortie est réalisée en permanence et sa valeur comparée à l'entrée (sortie souhaitée) puis corrigée. Ces systèmes permettent d'obtenir toutes les caractéristiques nécessaires aujourd'hui dans beaucoup de systèmes pluri-techniques [**Rapidité, Précision, Stabilité**]. Les asservissements sont classés en deux familles : les systèmes **régulateurs** et les systèmes asservis **suiveurs**.

Systèmes **régulateurs** : la consigne d'entrée est fixe, ils sont destinés à assurer une sortie constante.

Exemple : Régulation de température

Systèmes asservis **suiveurs** ou en poursuite d'une loi de référence : la consigne d'entrée varie constamment et l'objectif est d'ajuster en permanence la sortie au signal d'entrée.

Exemple : Trajectoire de l'outil d'une machine à commande numérique

III - Systèmes asservis : systèmes à retour, systèmes bouclés

1. Commande d'un système en chaîne ouverte

Un système non perturbé, bien conçu peut donner entière satisfaction, la sortie obtenue étant conforme à la sortie souhaitée, à partir d'une consigne donnée.

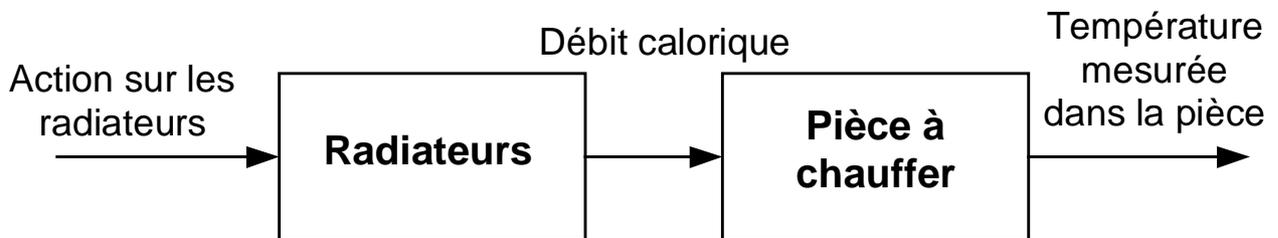


Exemples

Direction assistée de véhicule automobile : elle comprend, le volant, la transmission de mouvement (mécanique), l'assistance (hydraulique ou électrique), les roues. Il s'agit bien d'un système à amplification de puissance, la puissance de commande, est amplifiée par l'assistance hydraulique pour obtenir la puissance de sortie.



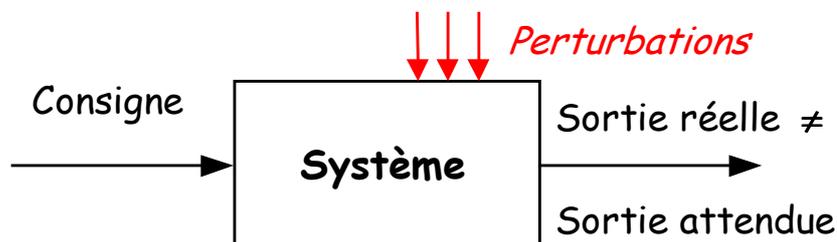
Commande de la température d'une salle :



Les deux exemples précédents sont dits des systèmes en **boucle ouverte**, ou **chaîne ouverte**. Il n'y a pas de retour d'information de la grandeur de sortie. On peut noter qu'il existe plusieurs niveaux plus ou moins détaillés de schématisation, en fonction des besoins de l'automaticien.

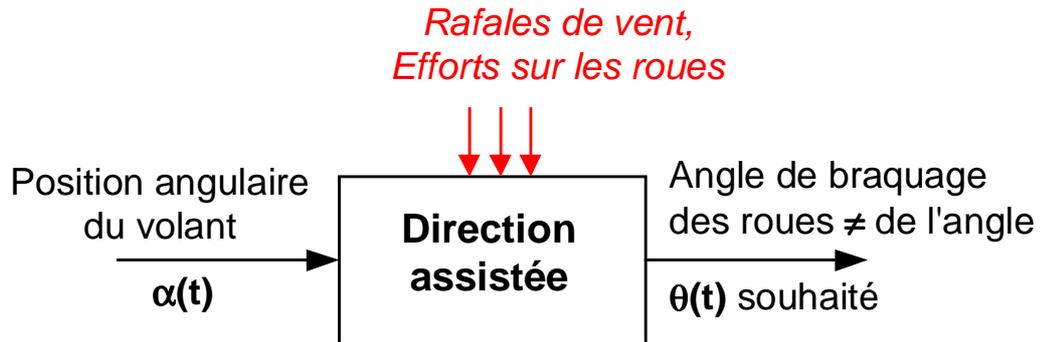
2. Insuffisance de la commande en boucle ouverte - Notion de perturbations

Cependant lorsqu'une **perturbation** extérieure intervient sur le système, la valeur obtenue en sortie peut être très différente de la valeur souhaitée.

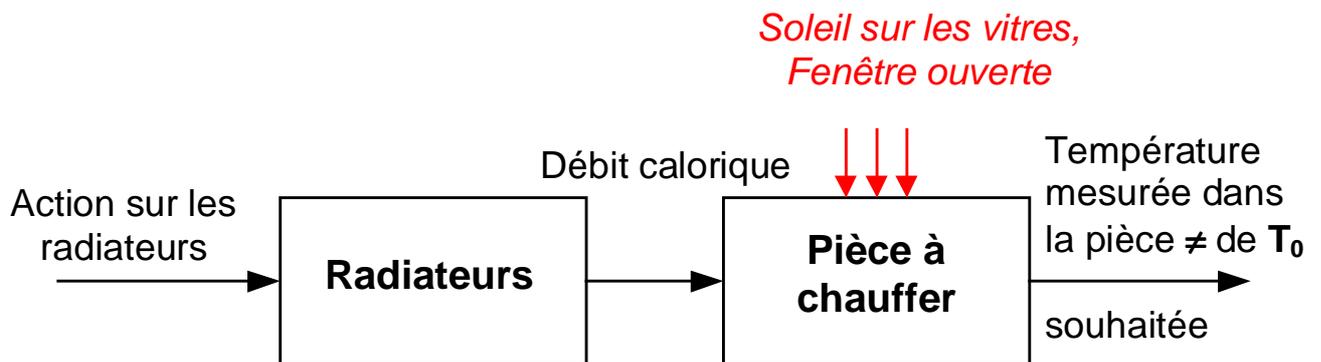


Exemples

Direction assistée de véhicule automobile : lors de rafales de vent ou d'efforts intempestifs sur les roues, l'angle de braquage souhaité ne sera pas obtenu.



Commande de la température d'une salle : s'il y a apparition du soleil sur les vitres ou si une fenêtre s'ouvre, la température atteinte ne sera pas celle désirée ($e = T_0 - T$).



Dans ces deux exemples, on comprend facilement la nécessité d'une commande qui puisse corriger cet écart, pour automatiser le système.

Remarque : dans l'exemple de la direction assistée, l'élément correcteur est l'homme, c'est lui qui réalise l'asservissement du système en corrigeant l'angle de braquage des roues.

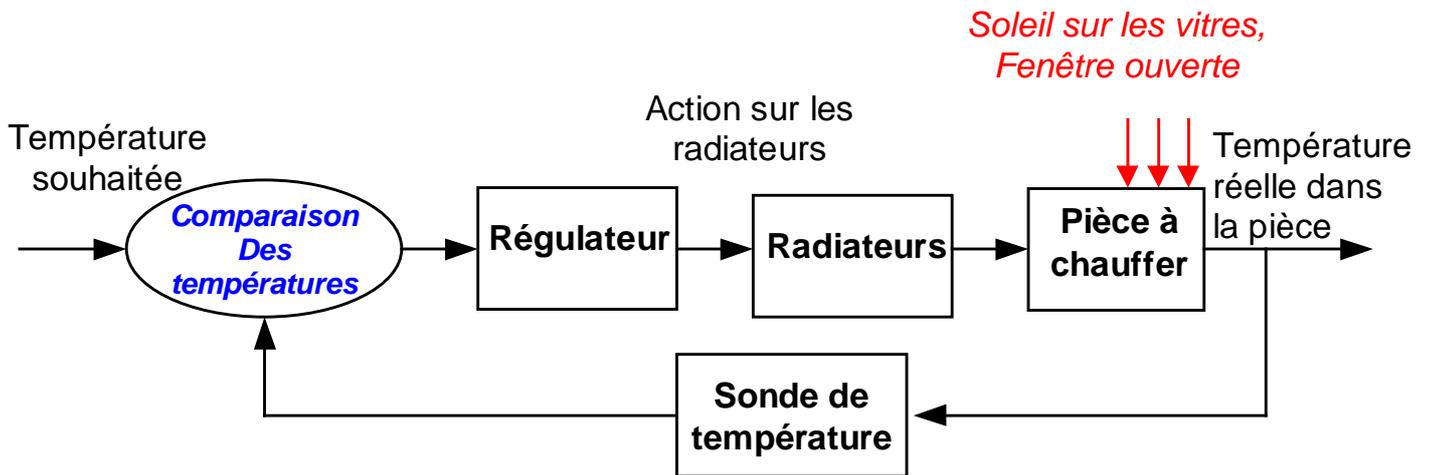
3. Solution face aux perturbations : le bouclage

Afin d'automatiser le système (supprimer l'action humaine, cf. §1 – 2.) on introduit **une boucle de retour** (ou rétroaction). Le système est alors appelé système à retour ou **système bouclé**.

La boucle de retour, constituée de capteurs, permet d'évaluer la situation à l'instant t et fournit un état de la sortie à la partie commande.

Cet état de la sortie est analysé et **comparé** à celui de la sortie attendue (liée à la consigne).

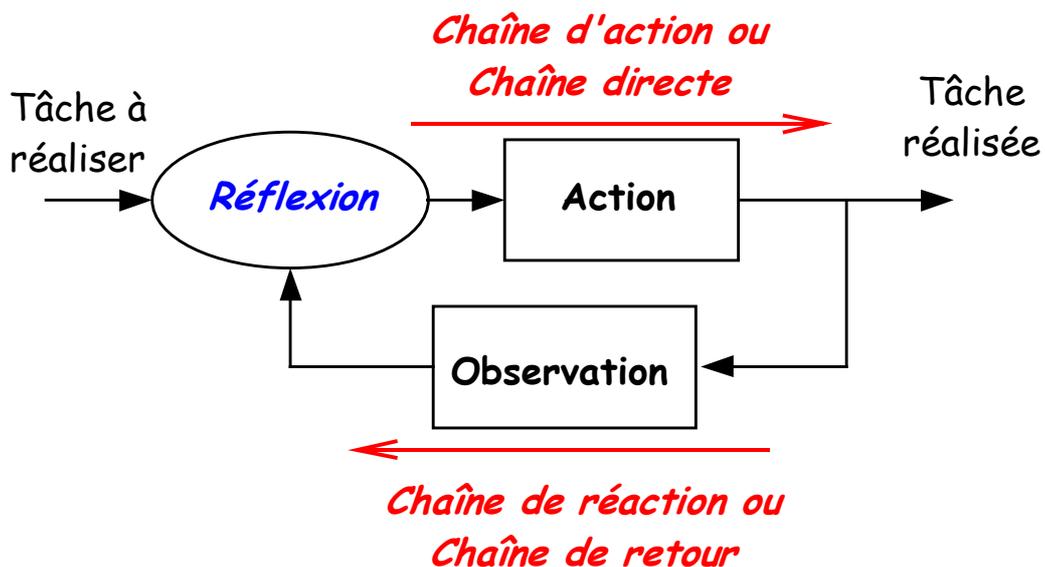
La partie commande dispose alors des éléments pour élaborer un signal qui permet de commander la partie opérative afin de corriger l'écart observé.

Exemple : régulation de température d'une salle

La température souhaitée est la consigne (fixée par un thermostat) est comparée à la valeur mesurée par la sonde de température (thermocouple).

Le régulateur déclenche alors une action correctrice, dont le sens et l'intensité dépendent de la valeur et du signe de l'écart entre la valeur souhaitée et la température de la pièce.

Conclusion : le schéma ci-dessous synthétise la structure d'un système automatisé bouclé.

**4. Petit historique**

Si "l'homme" réalise au quotidien des "asservissements", il a depuis longtemps cherché à reproduire ce type de commande au niveau des systèmes qu'il concevait. Ainsi les Grecs, vers 300 - 250 ans avant J.-C. ont mis au point une horloge à eau (clepsydre), dont le principe repose sur une régulation de niveau. Plus récemment, au XVIII^{ème} siècle, Watt met au point un régulateur de vitesse pour les machines à vapeur.

Les exercices **1**, **2** et **3** du chapitre, portant sur ces exemples, permettront d'en comprendre le principe.

IV – Représentation d'un système asservi : diagramme fonctionnel

1. Décomposition d'un système complexe en sous-systèmes

Les systèmes industriels étant généralement complexes il est indispensable de les décomposer en sous-systèmes simples, qui seront plus facilement modélisables. Ensuite, par assemblage des différents éléments simples, il sera possible d'appréhender le comportement du système complet, en constituant le diagramme fonctionnel.

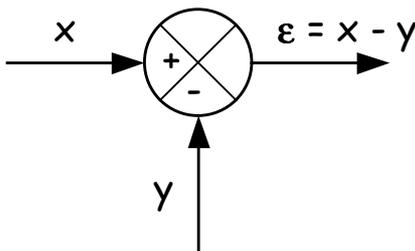
Exemple : Parmi les sous-systèmes les plus fréquents on trouve les actionneurs (moteur, vérin...), les dispositifs de transformation, d'adaptation (variateurs, réducteurs,..) les capteurs, les correcteurs (éléments de la commande qui sont là pour moduler le comportement du système asservi).

2. Les éléments graphiques du diagramme fonctionnel

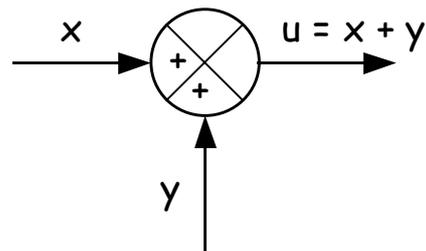
Le bloc fonctionnel : il représente un composant ou une fonction mathématique, il met en relation une information d'entrée et une information de sortie. Le nom du bloc est généralement le nom du composant (ou de l'opérateur mathématique).



Le point de comparaison / sommation : il réalise les opérations d'addition ou de soustraction.

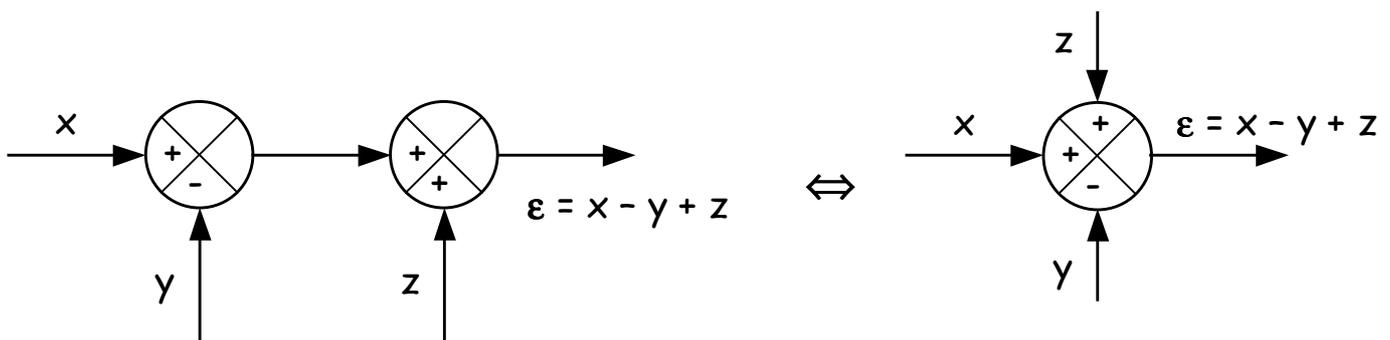


Compateur

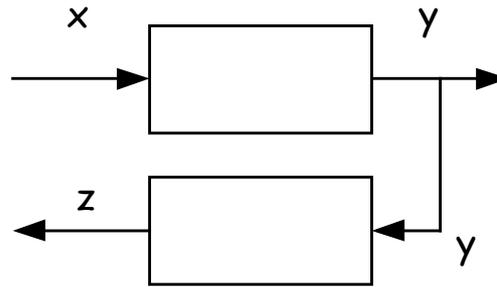


Sommateur

Remarque : les deux représentations ci-dessous sont équivalentes.



Liaisons et point jonction : les liaisons sont orientées, les flèches sont obligatoires. A une jonction, la variable de sortie d'un bloc est réutilisée à l'entrée d'un autre bloc.



3. Synthèse le diagramme fonctionnel

A partir des éléments graphiques définis précédemment on peut établir le diagramme fonctionnel global d'un système bouclé. Pour un système donné, il s'agit d'une modélisation qui permettra l'étude du comportement de ce système, et la conception de la commande afin de remplir la fonction imposée par le cahier des charges.

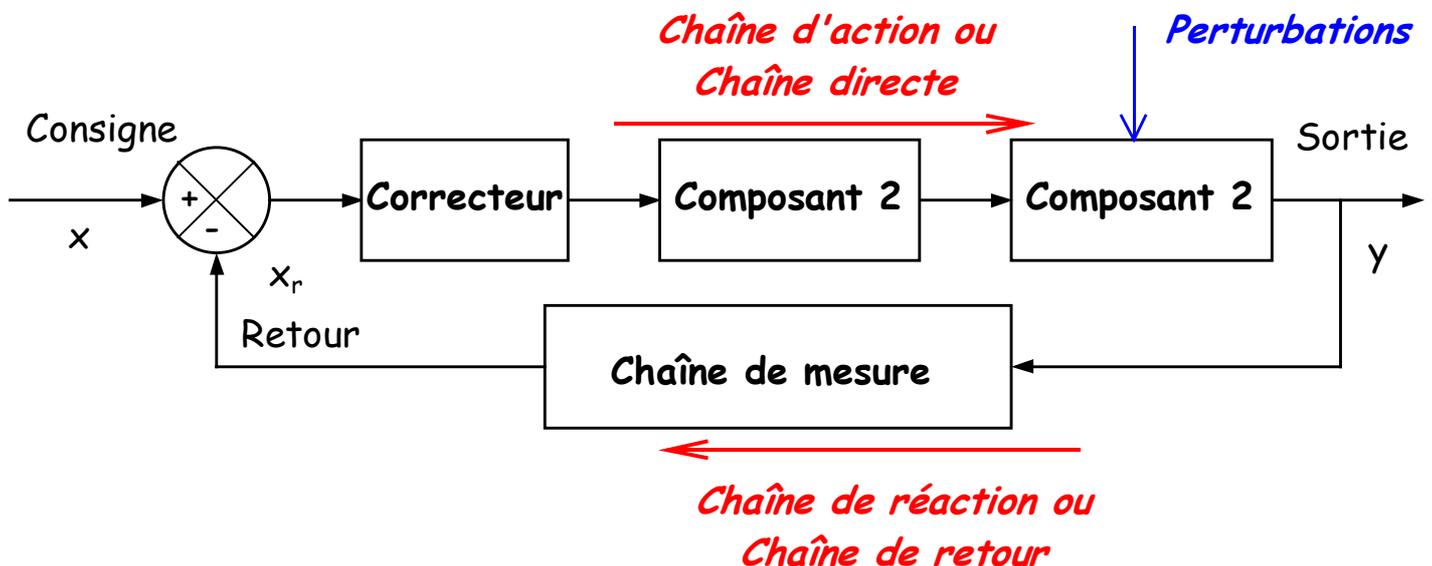
Chaîne d'action : constituée d'un préamplificateur, d'un amplificateur (Amplificateur-Opérationnel), d'un ou plusieurs actionneurs, et du système dynamique. L'actionneur est la partie "musclée" du système asservi.

- Grande sensibilité (du fait de l'amplification).
- Manque de fiabilité (les perturbations entraînent des modifications de la sortie).

Chaîne de réaction : constituée d'un capteur, qui convertit la grandeur de sortie en une grandeur homogène à la consigne d'entrée.

- Cette chaîne doit être fidèle, en général x_r est directement proportionnel à y .

Comparateur : effectue la différence ε entre x et x_r . On associe souvent un correcteur au comparateur. Il génère l'ordre de commande, c'est l'organe "intelligent". En pratique c'est un dispositif électronique (analogique) ou un calculateur numérique.



Remarques :

Lorsque la sortie est homogène à la grandeur d'entrée. On peut donc boucler le système simplement ; le système est dit à **retour unitaire**.

Les perturbations (qui agissent principalement sur la chaîne d'action), seront introduites à l'aide d'un sommateur.

V – Application : exemple de schéma-blocs fonctionnel d'un système**Nacelle a flèche télescopique****Présentation :**

les nacelles sont utilisées pour effectuer des travaux en hauteur et éviter l'utilisation d'échafaudages. Ces systèmes sont autopropulsés et permettent donc à l'opérateur placé dans le panier de commander non seulement la hauteur, le pivotement, mais également de piloter la translation de la nacelle pour atteindre les zones de travail.

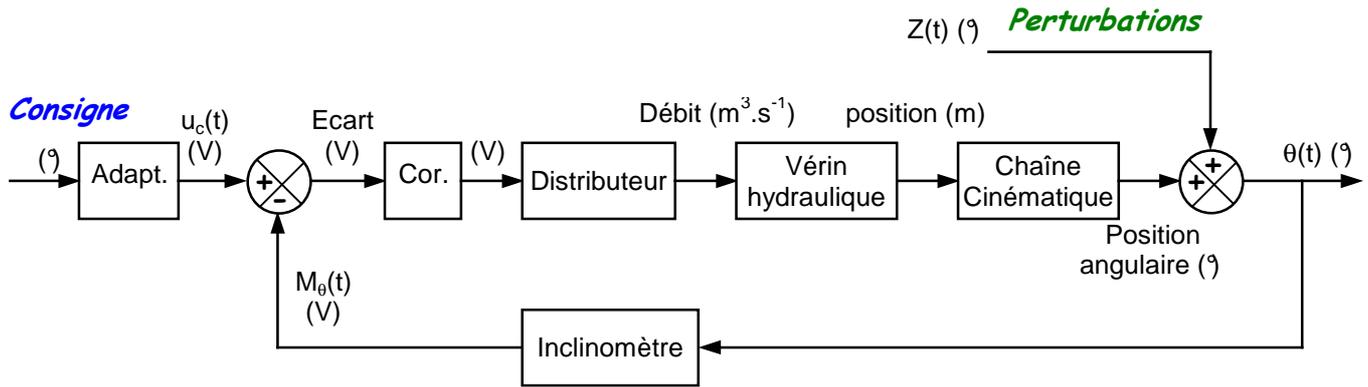
L'étude proposée porte sur une nacelle de type flèche télescopique, et plus précisément sur le dispositif de compensation par asservissement de niveau : il s'agit donc d'un **asservissement de position**. Pour maintenir le panier horizontal lors du relevage, on utilise comme actionneur un vérin hydraulique. Sa commande est asservie. Ceci permet le maintien horizontal du panier lors du relevage mais également si la nacelle se déplace sur un sol un peu accidenté. Lors du transport de la nacelle sur une plate-forme, on peut incliner le panier pour réduire l'encombrement. Pour effectuer certains travaux, l'opérateur peut souhaiter incliner le panier.

Composants de l'asservissement :

Chaîne d'action	# Un distributeur hydraulique délivre un débit pour alimenter le vérin hydraulique.
	# Un vérin hydraulique agit sur la position angulaire du panier (y compris l'opérateur et le matériel embarqué), par l'intermédiaire d'une chaîne cinématique.
Partie commande	# Un inclinomètre (Chaîne de réaction) fournit une tension $M_\theta(t)$ proportionnelle à la position angulaire $\theta(t)$ du panier.
	# Un comparateur qui élabore l'écart : $\varepsilon = \theta_c(t) - \theta(t)$
	# Un correcteur qui adapte le signal d'écart afin de fournir la tension de commande du distributeur hydraulique.

Enfin La **consigne** angulaire $\theta_c(t)$ est donnée en degrés, elle est convertie en tension $u_c(t)$ pour pouvoir être comparée à l'information fournie par l'inclinomètre. Les perturbations (rafale de vent, accident de terrain) sont modélisées par une modification de la position angulaire du panier, à l'aide d'un sommateur.

Le schéma-blocs associé au dispositif de compensation est le suivant :



EXERCICES D'APPLICATION

Ex. 1 - Comportement de l'homme

Le premier asservissement connu, est le comportement d'un être vivant, pourvu d'un cerveau et de sens. On peut se reconnaître dans cette définition !... Considérons ainsi l'action d'un homme.

Le point de départ est un influx nerveux dans le cerveau : c'est le signal de commande. Il est relayé par les neurones (principe physico-chimique), et un réseau de nerfs, pour commander les muscles. Il y a bien amplification de puissance. *L'action* est en marche, cependant elle a bien peu de chance d'aboutir..., sans l'intervention des sens, c'est *l'observation*, qui envoie au cerveau un signal de retour. Celui-ci "réfléchit" et modifie en conséquence son signal, c'est la *réflexion*.

1. Proposer sous forme de schéma-blocs un tel asservissement (n'est-il pas merveilleux?).

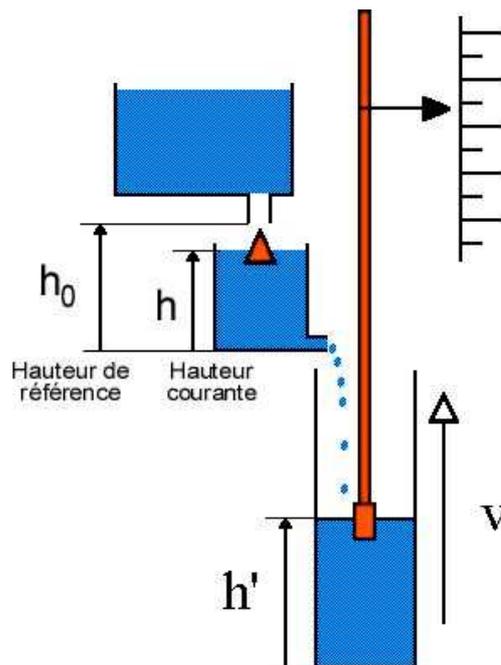
Ex. 2 - Horloge à eau

Historiquement (bien après le premier exemple cité !), vers 300 - 250 ans avant J.-C., des systèmes automatiques de régulation et d'asservissement ont été conçus. Un exemple est l'horloge automatique à eau de KTESIBIOS⁴, ou CLEPSYDRE.

Principe :

Le principe de cette horloge est d'animer la tige qui sert d'indicateur, avec un mouvement à vitesse constante (donc une amplitude proportionnelle au temps). Pour cela on utilise un débit rigoureusement constant (d), faisant ainsi varier le volume de manière proportionnelle au temps.

Tout le problème consiste à générer ce débit constant. C'est ce qui est obtenu par l'intermédiaire de plusieurs réservoirs et d'un flotteur (voir figure ci-contre).



⁴ KTESIBIOS (310 / 250 av J.-C.) : savant grec, recherches en Météorologie et Médecine.

1. Modélisation d'un réservoir

On considère un débit d'alimentation Q , qui permet le remplissage du réservoir. On observe alors en sortie une hauteur $h(t)$, c'est le premier élément d'une schématisation. Le deuxième élément est la relation qui existe entre la hauteur dans le réservoir et le débit en sortie Q' de ce même réservoir (on pourra noter $Q'=f(h)$ dans le bloc correspondant).

Représenter sous forme de schéma-blocs (chaîne ouverte), le fonctionnement d'un réservoir de ce type. Chaque élément du schéma correspond à un bloc fonctionnel.

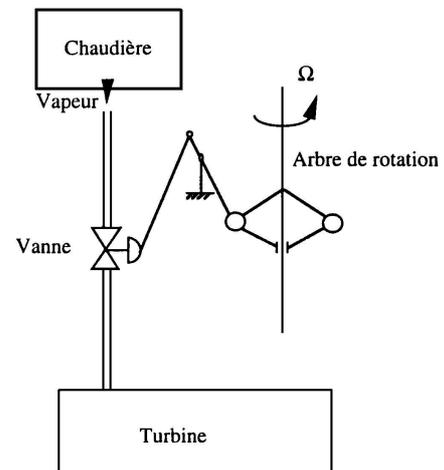
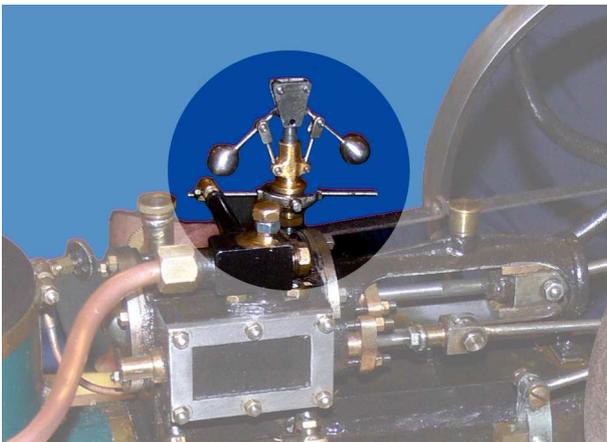
2. Modélisation de la CLEPSYDRE

On utilise les notations suivantes : Q_0 débit de remplissage du réservoir **1**, h_1 la hauteur dans le réservoir **1**, et Q_1 son débit. D'autre part on notera h la hauteur dans le réservoir **2**, Q son débit d'alimentation, et (d) son débit de sortie. Le flotteur est l'élément de "mesure" de la grandeur h , et il intervient au niveau du débit Q_1 en modifiant Q .

Représenter sous forme de schéma-blocs, le fonctionnement de cette horloge automatique à eau (Q_0 en entrée, et v en sortie).

Ex. 3 - régulateur de Watt

Plus récemment, au XVIII^{ème} siècle de nombreuses inventions techniques ont été mises au point, c'est le cas de la machine à vapeur. Ebauchée dès 1687 par Denis Papin⁵, elle est perfectionnée au milieu du siècle, notamment par Watt⁶. Dans le domaine du textile également, de nombreux mécanismes automatisés voient le jour (Vaucanson⁷ pour le travail de la soie, Jacquard⁸ avec son métier à tisser à cartes perforées, par exemple). Toujours dans le domaine de la vapeur en 1788, Watt met au point un *régulateur*. C'est l'objet de l'exercice.



Principe :

Le but de cette machine est de faire tourner à vitesse constante une turbine à vapeur.

La chaudière alimentée par de l'eau et une énergie calorifique (charbon) fournit un débit de vapeur Q_v . La vanne sert de régulateur, et établit la comparaison entre la mesure de la vitesse

⁵ Denis Papin (1647 - 1714) : inventeur français

⁶ Watt James (1736 - 1819) : ingénieur mécanicien Ecossais

⁷ Vaucanson Jacques de (1709 - 1782) : ingénieur mécanicien français

⁸ Jacquard (1752 - 1834) : ingénieur mécanicien français

réelle et la vitesse attendue, délivrant ainsi un débit Q fonction de cet écart. Le dispositif mécanique, est un capteur (à inertie, utilisant le déplacement de masselottes), mesurant la vitesse de sortie.

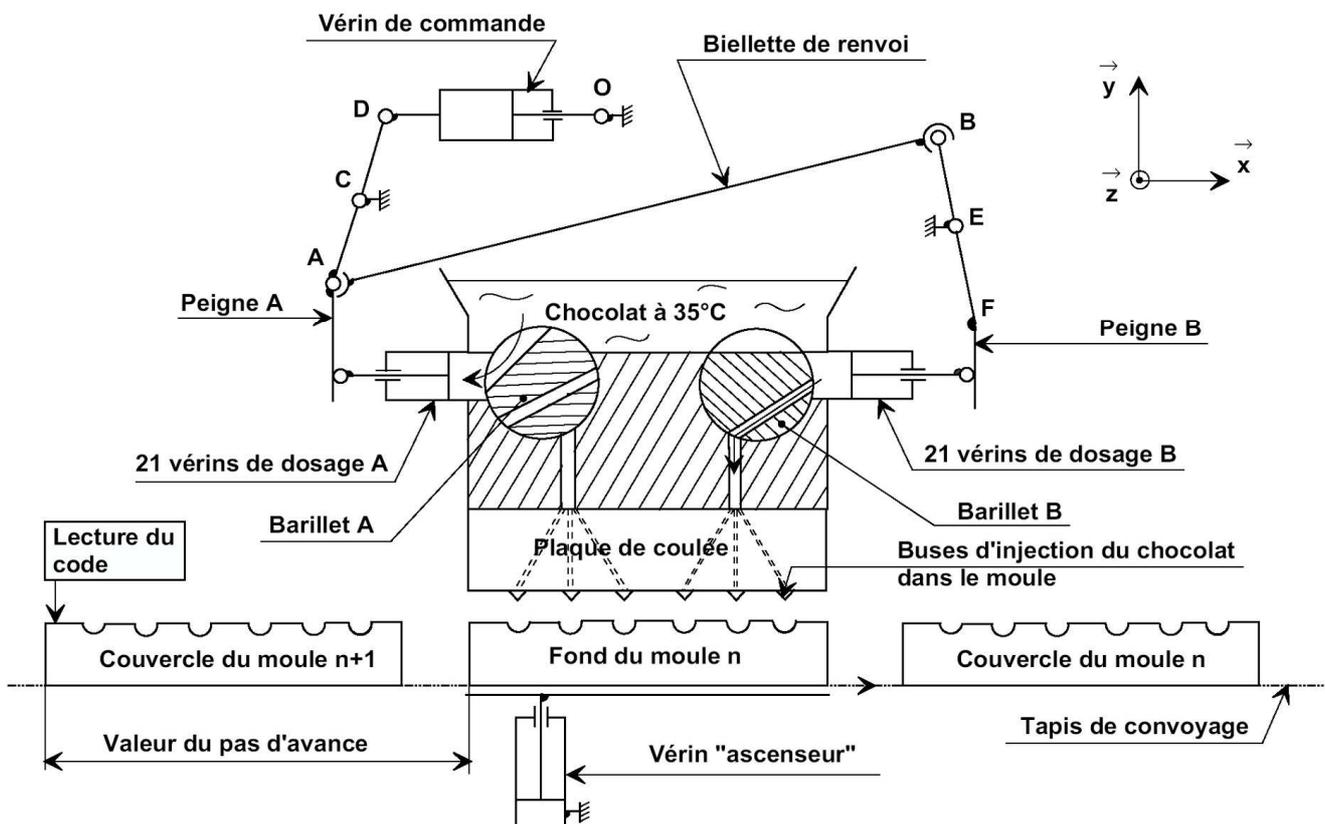
1. Proposer un schéma-blocs de ce régulateur.

Ex. 4 - Ligne de production industrielle de chocolats

Le système proposé (voir exemple §II – 2.) est une ligne de production industrielle de sujets creux en chocolat (petits et grands sujets, par exemple Père Noël, lapin, œufs, ...). Cette ligne de production doit remplir les trois fonctions suivantes :

- # « **doser le chocolat** » pour avoir la bonne quantité de chocolat dans les empreintes des moules. Cette fonction requiert de la précision (quantité précise de chocolat).
- # « **Transférer les moules** » dans les cadres mobiles pour assurer un fonctionnement en continu.
- # « **Centrifuger le chocolat** » à l'intérieur des empreintes des moules afin d'obtenir des sujets creux d'épaisseur constante.

L'exercice porte sur l'étude de la fonction « **doser le chocolat** », réalisée par la doseuse représentée sur la figure ci-dessous. Elle a pour but d'injecter dans les fonds de moules la quantité de chocolat correspondant aux sujets à réaliser. Cette fonction prend en compte essentiellement deux paramètres : le volume de chocolat à injecter, déterminé par la course du vérin de commande, et les buses d'injection du chocolat dans les gravures (ou empreintes) du moule.



Le chocolat est stocké à une température de 35° dans un réservoir situé à la partie supérieure de la doseuse. Le cycle d'aspiration du chocolat se déroule de la façon suivante :

Un moteur hydraulique, non représenté sur la figure, fait pivoter les barilletts A et B pour les amener dans la position qui est celle du barillet A, sur la figure 1 (position aspiration).

La translation suivant \vec{x} du corps du vérin de commande entraîne en translation les tiges des 21 vérins de dosage A, et les tiges des 21 vérins de dosage B. Ces vérins de dosage sont montés en parallèle suivant \vec{z} . Le mouvement du vérin de commande est transmis aux tiges des vérins de dosage B, grâce à la biellette de renvoi et au peigne B, lié à la bielle BEF.

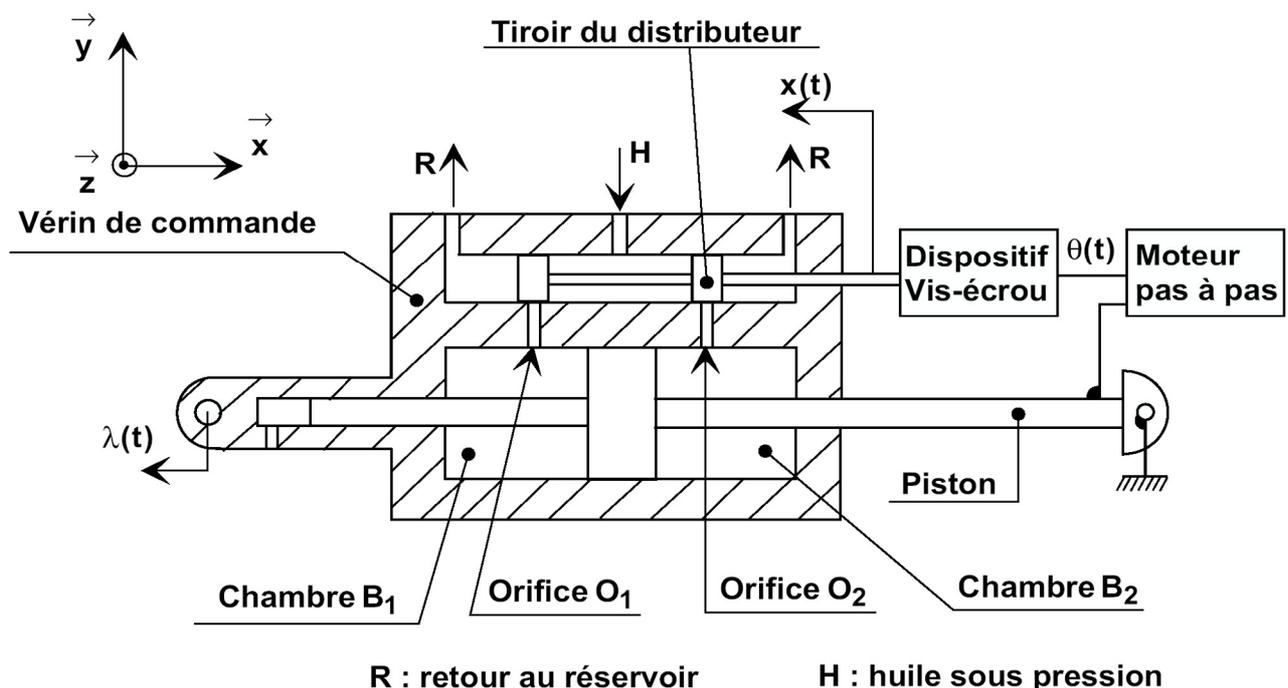
Au début du cycle d'injection, le vérin "ascenseur" amène le fond du moule en position haute (translation de sa tige suivant \vec{y}). Ensuite le moteur hydraulique fait pivoter les barilletts A et B pour les amener dans la position qui est celle du barillet B sur la figure (position injection). Puis le corps du vérin de commande effectue une translation suivant $-\vec{x}$ qui a pour conséquence le transfert du chocolat vers la plaque de coulée, les buses d'injection et le fond de moule. En fin du cycle d'injection, le fond de moule est redescendu en position basse (translation de la tige du vérin « ascenseur » suivant $-\vec{y}$) en vue de son évacuation.

Les deux barilletts A et B sont soit en position aspiration, soit en position injection. Mais pour éviter de faire deux figures, le barillet A est représenté en position aspiration et le barillet B en position injection.

Les fonds des moules sont amenés sous la doseuse au moyen d'un tapis de convoyage qui avance pas à pas. Sur ce tapis sont disposés alternativement les couvercles et les fonds des moules dans l'ordre suivant : couvercle n, fond n, couvercle n+1, fond n+1... A chaque couvercle est apparié un fond qui contient les mêmes demi-gravures correspondant aux sujets à fabriquer. En sortie de la doseuse, un système non étudié ici et non représenté, permet de retourner les couvercles et de les fixer sur les fonds de moule correspondants.

Etude de la commande du vérin de commande

Le vérin de commande (hydraulique) a une structure particulière qui est décrite sur le schéma ci-dessous.



Ce vérin permet de doser le "bon" volume de chocolat. En effet sa course est transmise aux tiges des vérins de dosage A et B afin que ceux-ci aspirent puis injectent la "bonne" quantité de chocolat dans les fonds de moule.

La course du vérin de commande est définie à partir de la commande d'un moteur pas à pas, qui fait translater le tiroir du distributeur à partir d'un dispositif vis-écrou (un moteur pas à pas est un moteur qui sous l'action d'une impulsion électrique, effectue une fraction de tour, ou pas). Le déplacement du tiroir du distributeur par rapport au piston noté $x(t)$, engendre un débit $q(t)$ qui alimente le vérin, provoquant son déplacement par rapport au piston, noté $\lambda(t)$.

On propose de réaliser le schéma fonctionnel de cette commande asservie.

En amont de la boucle de commande on trouve le moteur pas à pas et le dispositif vis-écrou. La consigne donnée au moteur est le **nombre de pas**, et celui-ci délivre **une position angulaire** $\theta(t)$.

L'entrée de la boucle est $x(t)$, la sortie est $\lambda(t)$.

Les chaînes d'action et de réaction sont à déterminer.

1. En étudiant le schéma du vérin de commande expliquer clairement en quelques lignes le principe de fonctionnement de ce vérin. Il est possible de s'appuyer sur un ou deux schémas explicatifs simples.

2. Etablir avec soin le schéma fonctionnel de cette commande (consigne **nombre de pas**; sortie déplacement du vérin par rapport au piston $\lambda(t)$). Préciser entre chaque bloc, le nom et l'unité de la grandeur qui circule.

Ex. 5 - Machine d'essai de traction, avec système électro-hydraulique

Le principe de fonctionnement de cette machine d'essai repose sur le contrôle exact de la relation **effort – déplacement**. On peut piloter la machine en déplacement, en effort, ou en vitesse. Il est donc important d'obtenir une grandeur de sortie exactement identique à celle souhaitée, pour pouvoir utiliser les résultats (voir en Résistance des Matériaux le rôle et l'importance des essais).

1. Premier cas : pilotage en déplacement, on dispose :

D'une consigne : tension $e(t)$, entrée du système

D'un comparateur

D'un Amplificateur générateur de courant

D'une servovalve : elle délivre en sortie un débit $Q(t)$, proportionnel au courant d'entrée $I(t)$;

D'un vérin : il donne en sortie un déplacement $x(t)$, proportionnel au débit d'entrée $Q(t)$. son déplacement correspond à l'élongation de l'éprouvette ;

D'un capteur de position : inséré dans la chaîne de retour, il mesure cette élongation ;

Question : Etablir avec soin le schéma fonctionnel de cet asservissement (consigne **nombre de pas**; sortie déplacement du vérin par rapport au piston $\lambda(t)$). Préciser entre chaque bloc, le nom et l'unité de la grandeur qui circule. Quelle est la nature de l'asservissement [Régulation – Système suiveur] ?

2. Deuxième cas : pilotage en effort

On souhaite pour ce type d'essai obtenir un effort constant tout au long de la traction. Un capteur d'effort est alors utilisé. Il est disposé à l'ancrage de l'éprouvette. Le déplacement $x(t)$ s'effectue ainsi sous le contrôle de ce capteur.

Etablir dans ce cas le schéma fonctionnel. Quelle est la particularité d'un tel système ?

Remarque : il sera vu ultérieurement en résistance de matériaux, le principe complet de l'essai de traction. Néanmoins on peut donner succinctement le principe :

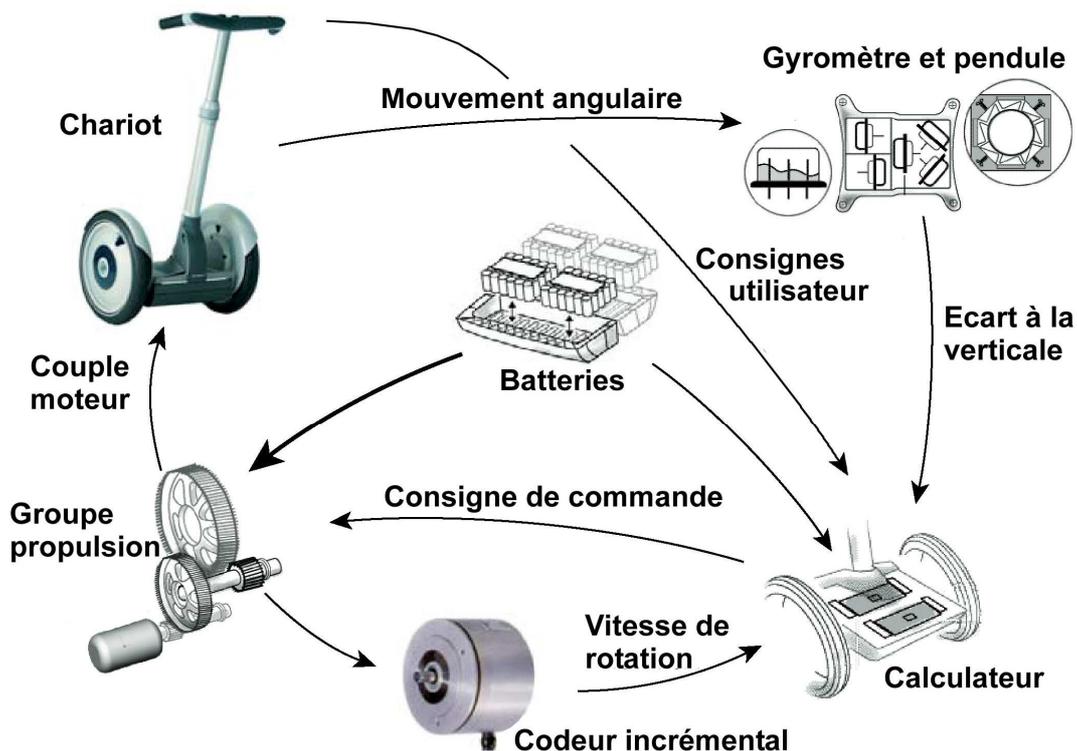
Une éprouvette (pièce d'essai) est soumise à un effort de traction, qui occasionne une déformation. Si dans une première phase, la loi de déformation est linéaire, on observe ensuite une accélération de l'allongement. Pour obtenir une déformation suivant une loi précise (consigne), le système étudié ci-dessus est alors indispensable.

Ex. 6 - Véhicule auto-balançé de type SEGWAY®

Voir cours Analyse fonctionnelle, §II et III

La spécificité de ce véhicule est d'avoir deux roues qui ont le même axe de rotation, avec son centre de gravité situé au-dessus de l'axe commun des roues, si bien qu'on se demande comment rester à l'équilibre une fois monté sur la plateforme. Tout comme le cerveau permet à l'individu de tenir debout sans tomber grâce à l'oreille interne, le système comporte un dispositif d'asservissement d'inclinaison, maintenant la plate-forme du véhicule à l'horizontale ou encore la barre d'appui, supposée orthogonale à cette plate-forme, à la verticale. Le Segway® comporte à cet effet des capteurs et des microprocesseurs commandant les deux moteurs électriques équipant les deux roues.

La description structurelle du véhicule est donnée ci-dessous :



Le système comprend :

- un **chariot** (châssis + deux roues), transportant le conducteur,
- deux **moto-réducteurs** (moteur électrique + réducteur) entraînant les roues (un par roue),
- un ensemble de **capteurs** constitué d'un **gyromètre** et d'un **pendule** délivrant une information sur l'angle d'inclinaison du châssis par rapport à la verticale et sur sa dérivée,
- un **calculateur électronique** élaborant, à partir des informations issues des capteurs et des consignes utilisateur, les consignes de **commande** des groupes moto-réducteurs.
- des **codeurs incrémentaux** (capteurs angulaires) fournissant au calculateur une image de la vitesse de rotation des moteurs.
- des **batteries** stockant l'énergie et la fournissant aux divers composants.
- un **boîtier de commande** situé sur le guidon.

1. Parmi les sept éléments énoncés dans la description structurelle, quels sont ceux qui montrent que le **SEGWAY®** est un système automatisé.

2. Régulation de l'inclinaison du châssis

Grandeurs utiles :

$\psi(t)$: inclinaison du châssis par rapport à la verticale

$\psi_c(t)$: consigne d'inclinaison du châssis par rapport à la verticale

$\alpha(t)$: inclinaison du conducteur par rapport à la barre d'appui

$u(t)$: tension de commande du motoréducteur

On donne en plus : $\beta(t) = \psi(t) - \alpha(t)$

La chaîne d'action qui permet de réguler l'inclinaison est réalisée par :

Un **amplificateur** et **motoréducteur** qui délivre un couple $C_m(t)$ (action mécanique qui a tendance à entraîner un solide en rotation). Le couple obtenu est proportionnel à la tension de commande $u(t)$.

L'ensemble **chariot + conducteur**, qui est régi du point de vue dynamique par l'équation différentielle suivante : $a \frac{d^2\beta(t)}{dt^2} = b C_m(t) + c \beta(t)$

La partie commande comprend :

Un **comparateur** qui par un bouclage unitaire réalise la différence : $\varepsilon(t) = \psi_c(t) - \psi(t)$

Un **correcteur** qui adapte l'écart et fournit une tension $w(t)$ qui commande le système.

On trouve alors deux boucles : une première boucle (interne), asservissement en dérive réalisé par le **gyromètre**, une seconde boucle (autour de la précédente), asservissement de position réalisé par le **pendule**.

$$u_v(t) = K_v \frac{d(\psi(t))}{dt} \quad u_p(t) = K_p \psi(t)$$

La tension de commande du motoréducteur est ainsi :

$$u(t) = w(t) - u_v(t) - u_p(t)$$

Question : établir le diagramme fonctionnel de cette régulation de l'inclinaison du châssis du **SEGWAY®**. Préciser les noms et unités des grandeurs qui circulent.