

### 1. Définition du système de régulation

Un procédé est une opération ou une suite d'opérations accomplies dans un but déterminé. Les gestes que nous posons quotidiennement peuvent être définis comme des procédés: faire du café, conduire un véhicule, écrire une lettre, préparer un gâteau. Quand on analyse un procédé aussi simple soit-il, on met en évidence les opérations élémentaires qui le composent et dont l'exécution suit un plan de travail prédéterminé. Ainsi, la préparation d'un café, par exemple, implique un plus grand nombre d'opérations qu'on ne pourrait le croire.

1. Remplir la bouilloire.
2. Faire chauffer l'eau.
3. Mesurer le café.
4. Mettre le café dans la bouilloire.
5. Mélanger le tout.
6. Verser l'eau chaude et le café dans la tasse;
7. Ajouter le sucre.
8. Mélanger le tout.

Évidemment, s'attarder à de pareilles analyses peut sembler ridicule, sauf quand on décide de rendre le procédé automatique. Automatiser un procédé consiste à le rendre autonome dans les tâches qu'il doit exécuter de lui-même, sans qu'un opérateur humain intervienne dans le processus. Un tel projet implique nécessairement la participation de moyens mécaniques et électroniques. Une machine à café, comme celle que nous retrouvons dans une cafétéria, doit être pourvue de mécanismes lui permettant de reproduire chacune des opérations prévues dans le plan de travail (programme). De plus, elle se doit d'être équipée de systèmes électroniques assurant la commande des divers organes ainsi que le contrôle général de la séquence des opérations.

Le système de commande (électronique ou autre) remplace l'opérateur humain et son jugement, du moins dans une certaine mesure. Un tel système peut se concrétiser de différentes façons, à savoir:

- le contrôle de la température d'une pièce ou d'un four;
- la vitesse d'un moteur;
- la position d'un outil;
- le degré d'humidité d'un local;
- l'acidité d'une solution;
- le temps de cuisson d'un aliment;
- l'altitude d'un aéronef;
- la pression d'un gaz;
- le niveau d'un liquide;
- etc.

### 1.1 Définition d'un système asservi

Précisons, en tout premier lieu, que les systèmes de commande sont en général du type à *boucle fermée* et reçoivent aussi le qualificatif général de **système asservi**. De l'exploitation de tels systèmes, on tire plusieurs avantages comparativement aux systèmes du type à *boucle ouverte*.

Les systèmes à boucle fermée offrent en effet beaucoup plus de précision et de prévisibilité que ceux du second type; principalement, en raison de leur faculté à corriger les perturbations extérieures. Par contre, ils reviennent à un prix plus élevé, ce qui est fort compréhensible. Dans le contexte industriel, un système asservi se présente sous la forme générale décrite à la Figure 1-1.

*« L'asservissement est le principe qui consiste à mesurer la différence entre un état actuel et un état désiré et à utiliser cette différence pour amener l'état actuel à la valeur de l'état désiré. »*

Un **système de régulation** apparaît plutôt comme un système de commande à boucle fermée qui assure le maintien d'une grandeur physique que l'on veut fixe. La régulation de température et la régulation de tension en sont des exemples. Tous deux doivent maintenir la variable commandée à une valeur fixe (consigne) en compensant l'effet des agents perturbateurs. Souvent, il n'y a aucune partie mobile.

Un **système asservi** ou **suiveur** (en anglais « follow-up system ») travaille plutôt avec une consigne qui change continuellement de valeur. Le système asservi a alors pour fonction d'assujettir la variable commandée afin qu'elle suive aussi fidèlement que possible les changements de consigne. Il est à noter que, si le système asservi comporte un mouvement mécanique, ce qui est habituellement le cas, nous sommes alors en présence d'un servo-mécanisme. À titre indicatif, un système asservi peut être:

- le système de positionnement d'une antenne de radar;
- le guidage d'une fusée;
- un amplificateur audio.

Ces différents systèmes sont asservis car les consignes (position, direction, tension) changent continuellement.

### 1.1.1 Le schéma de principe

Tout système asservi industriel peut être défini selon le schéma de principe qui est présenté à la Figure 1-1. Il est à noter que ce schéma décrit un système asservi qui est aussi un système en boucle fermée. En effet, le signal de commande, provenant du régulateur, est relié à l'élément final de commande. Par contre, il suffit de briser ce lien pour obtenir un système asservi temporairement en boucle ouverte.

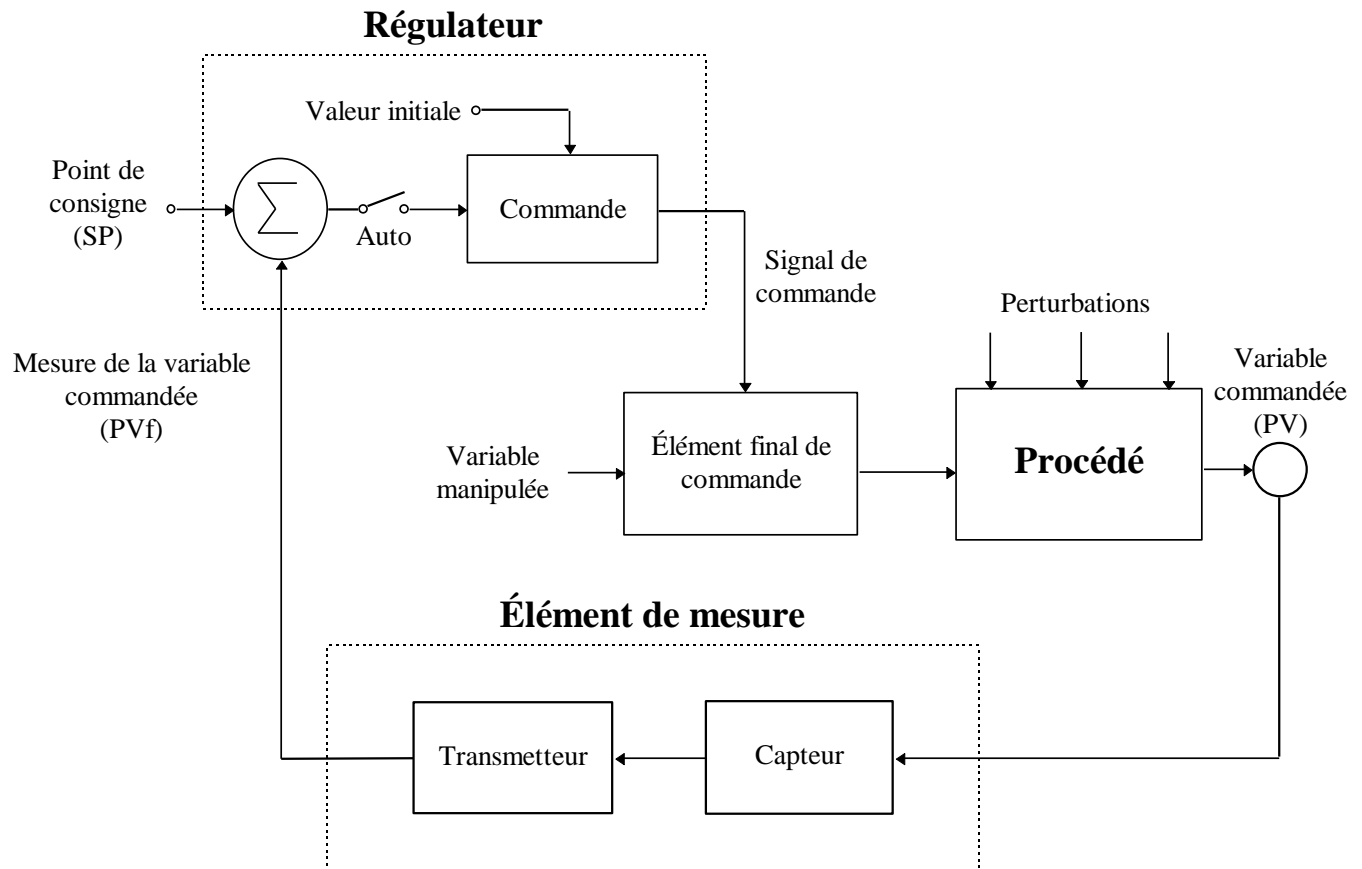


FIGURE 1-1 SCHÉMA DE PRINCIPE D'UN SYSTÈME ASSERVI INDUSTRIEL

### 1.1.2 Le procédé

Cette portion du schéma de principe représente l'environnement où l'équipement est affecté par le système de commande. S'il s'agit d'une commande de température, par exemple, ce bloc décrirait le comportement thermique du milieu face aux différentes causes de modifications possibles de la température. L'action de la commande constitue évidemment la source principale de modification de l'état d'équilibre du procédé. Cependant, le procédé est également affecté par des agents perturbateurs extérieurs, ceux que le système de commande a justement pour fonction de contrer.

## Chapitre II : Système de régulation

---

### 1.1.3 La variable manipulée

Il est possible de définir la variable manipulée comme étant la variable qui est modifiée afin d'influencer directement la grandeur physique que l'on tente de réguler. Ainsi, dans une commande de température, la variable manipulée (aussi nommée la grandeur manipulée) serait la puissance fournie à l'élément chauffant. La variable manipulée peut aussi être:

- le débit (la régulation d'un niveau de liquide);
- le volume (la régulation de la pression).

### 1.1.4 La variable commandée

La variable commandée, que l'on nomme souvent la grandeur mesurée, est la température dans notre exemple précédent. Ainsi, il est possible de contrôler la température (la variable commandée) via les modifications effectuées à la variable manipulée (la grandeur mesurée). Il est important de bien noter qu'une grandeur est mesurable.

### 1.1.5 L'élément primaire de mesure

Puisqu'il est nécessaire de connaître l'effet du signal de commande sur la variable commandée, l'utilisation d'un capteur, que l'on nomme aussi l'élément primaire de mesure, nous permet alors d'en obtenir la mesure.

Les éléments primaires sont les capteurs et les transducteurs qui se trouvent à la tête des chaînes de mesures industrielles. Grâce à ces éléments, on peut traduire une grandeur physique en un signal utilisable par le régulateur. Les caractéristiques électriques de l'élément primaire sont modifiées par une grandeur physique quelconque:

- la température;
- la pression;
- l'humidité;
- l'acidité
- etc.

Puis, cette information électrique est dirigée vers le transmetteur qui se charge alors de convertir cette lecture en un signal normalisé.

Aussi, les capteurs les plus fréquemment utilisés en industrie sont:

- le capteur de pression;
- le capteur de niveau;
- le capteur de débit;
- le capteur de température;
- le capteur de positionnement.

## Chapitre II : Système de régulation

---

### 1.1.6 Le régulateur

On appelle régulateur la partie du système de commande qui compare le signal de mesure avec le signal de consigne et qui génère ainsi un signal de commande approprié à l'intention de l'élément final. Le contrôleur peut être d'une simplicité déconcertante ou, à l'opposé, être extrêmement sophistiqué. Bien sûr, tout est fonction de la nature du procédé, de la précision et du temps de réaction requis.

Dans certaines applications, le contrôleur sera mécanique, tout simplement. Pour d'autres types de tâches, il fera appel à la pneumatique ou à l'électronique. Certains contrôleurs ne surveillent qu'un système; d'autres sont en charge de plusieurs systèmes qu'ils doivent surveiller en temps partagé; les commandes multiples se font, de préférence, par traitement numérique, afin qu'on puisse les confier à un ordinateur.

Le régulateur agit comme un détecteur d'erreurs qui compare la valeur mesurée de la **variable commandée** à une valeur de référence appelée **consigne** ou, en anglais, le « set point ».

Ce détecteur produit un signal de correction proportionnel à la différence entre la valeur de consigne et celle de la variable commandée. Plus l'erreur est grande, plus il doit y avoir de la correction.

Cependant, le type de correction devant s'appliquer à la variable commandée varie d'un système à l'autre. Dans certains systèmes, une action du type TOR (aussi nommé ouvert/fermé) peut être de mise et le chauffage d'une maison constitue le meilleur exemple à cet effet.

Dans d'autres systèmes, ce type de correction donnerait des résultats catastrophiques. Par exemple, il est impossible de déplacer un ascenseur et de l'arrêter avec précision en pratiquant une commande de type «marche-arrêt». Il faut procéder par degrés: diminuer la vitesse à mesure que l'erreur, c'est-à-dire l'écart entre la position actuelle et la position demandée, diminue. Par conséquent, le signal d'erreur est rarement utilisé tel quel pour agir sur la variable commandée. Un bloc de commande (Figure 1-1) doit pouvoir interpréter ce signal et élaborer le signal de commande approprié au type de correction désiré.

Sommes toutes, la comparaison entre la consigne et la mesure jusqu'à l'élaboration du signal de commande se regroupent dans le régulateur. Selon la complexité du système, le régulateur peut alors prendre une forme très simple (quelques composants) ou ressembler à un véritable ordinateur. Souvent, un même régulateur peut s'occuper de plusieurs systèmes à la fois.

### 1.1.7 L'élément final de commande

Par ailleurs, le signal de commande élaboré par le contrôleur actionne ce que l'on appelle l'**élément final** de la boucle, c'est-à-dire l'organe actionneur qui travaille généralement à haute

## Chapitre II : Système de régulation

---

puissance. Cet élément final agit sur la **variable manipulée**; c'est-à-dire la variable qui affecte directement le flux d'énergie ou de matériel injecté dans le procédé. Dans une commande de température, l'élément final pourrait être un élément chauffant, la variable manipulée être la puissance électrique fournie à cet élément, et la variable commandée serait, bien entendu, la température. Il est très important de ne pas confondre la variable manipulée et la variable commandée.

### 1.1.8 La charge

Tout changement de la variable commandée, qui ne correspond pas à une variation de consigne, devra se traduire par un changement de la variable manipulée en vue de restaurer l'état d'équilibre. Pour cette raison, la valeur du signal de commande est un bon indicateur de l'importance de la charge du système.

Ainsi, supposons qu'un agent perturbateur provoque une chute de température. La valeur de la variable manipulée (courant) devra alors augmenter pour ramener l'erreur à zéro et rétablir la température de consigne. Pour annuler cette perturbation, il y a eu, dans ce cas-ci, une élévation de la charge puisque la température avait chuté.

Donc, la charge symbolise la consommation du système.

### 1.1.9 La transmission des données

Les divers éléments d'un système de commande peuvent provenir de divers fabricants; cependant, ils devront être compatibles. Pour y parvenir, on a convenu de normaliser les signaux générés et acceptés par ces éléments.

Dans un système de commande électrique, les signaux voyagent sur des lignes de deux types standards:

- le 4-20 mA;
- le 10-50 mA (rapport 1 à 5).

Ces chiffres indiquent les valeurs minimale et maximale du courant susceptible d'exister sur la ligne. Les capteurs et les transducteurs destinés à l'instrumentation industrielle doivent opérer à l'intérieure de la zone choisie. Notez que cette normalisation exclue la valeur zéro, permettant ainsi une reconnaissance automatique d'une rupture de ligne. Les valves à commande électrique répondent aux mêmes types de signaux. Une valve, qui reçoit un signal passant de 4 à 20 mA, passe graduellement de 0 à 100% d'ouverture ou vice versa selon sa construction.

Pour ce qui est des commandes pneumatiques, il est juste d'affirmer qu'elles ont précédé les commandes électroniques dans les systèmes industriels et elles sont encore employées

## Chapitre II : Système de régulation

abondamment. Dans un circuit pneumatique, le câblage est simplement remplacé par de la tuyauterie en caoutchouc synthétique ou en cuivre flexible dans laquelle circule l'information sous forme de variations de pression d'air. Les variations de pression sont analogues aux variations de tension dans un circuit électrique. Un système pneumatique est donc constitué d'une multitude de composants:

- une source de pression;
- des actionneurs;
- des capteurs;
- des valves;
- des transducteurs;
- etc.

D'ailleurs, la structure d'un système de commande pneumatique, en boucle fermée, est conforme au modèle général: le régulateur génère un signal de commande à l'intention d'un élément final qui, dans ce cas-ci, est une valve pneumatique. Ce signal résulte d'une comparaison entre un signal de consigne et un signal pneumatique de mesure. Le régulateur est alimenté par une source d'air comprimé formée d'une pompe à air et d'un réservoir, équivalent à la source de tension dans un système électrique.

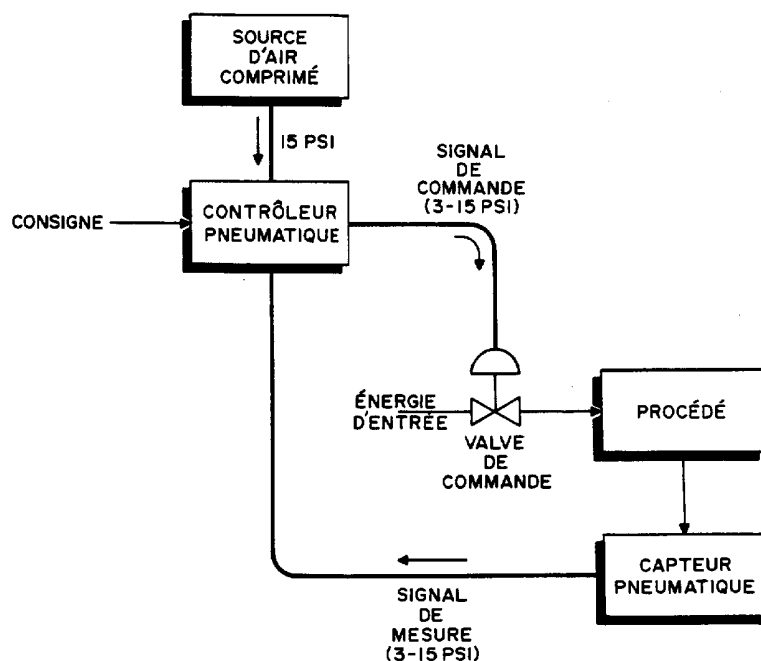


FIGURE 1-2 SCHÉMA DE PRINCIPE D'UN SYSTÈME PNEUMATIQUE

Dans ce système, la pression des signaux pneumatiques varie entre 3 et 15 psi, ces données étant respectivement minimale et maximale. Dans le cas de la valve de commande, la valeur de

## Chapitre II : Système de régulation

pression détermine la position de l'obturateur. Le capteur, pour sa part, est générateur de signal pneumatique: l'écart entre 3 et 15 psi correspond à son étendue de mesure utile.

Voici les trois principaux avantages des systèmes pneumatiques comparativement aux systèmes électriques:

- pas de danger d'étincelles, de court-circuit ou d'explosion;
- peut fonctionner un certain temps ou indéfiniment durant les pannes de courant;
- compatibilité directe avec les valves pneumatiques, qui sont les éléments finaux les plus rencontrés en industrie.

Sur ce dernier point, mentionnons qu'il existe des transducteurs électro-pneumatiques capables de convertir un signal 4-20 mA en signal 3-15 psi pour le cas où un contrôleur électronique commande une valve pneumatique.

Sommes toutes, les systèmes pneumatiques utilisent des principes de fonctionnement que l'on retrouve fréquemment dans un système électrique.

### 1.2 Terminologie

TABLEAU 1-1 TERMINOLOGIE UTILISÉE POUR DÉFINIR UN SYSTÈME ASSERVI		
Système asservi	Appellation	Définition (et synonyme)
Les éléments	Procédé	Ensemble de l'équipement (excluant l'équipement de contrôle) et des fluides d'une opération industrielle pour laquelle l'alimentation et la demande doivent être équilibrées. (Processus, <i>Process</i> )
	Régulateur	Dispositif qui régule automatiquement l'élément final de commande pour maintenir la variable commandée à la valeur du point de consigne. (Contrôleur, <i>Controller</i> )
	Élément final de commande	Dispositif qui contrôle la variable manipulée du procédé. (Actuateur, <i>Final control element</i> )
	Élément de mesure	Ensemble capteur / transmetteur qui ramène en feedback la mesure de la variable commandée pour qu'elle soit comparée avec le point de consigne. ( <i>Measuring means</i> )
	Variable commandée	La variable du procédé qui doit être asservie au point de consigne, indépendamment des perturbations que doit subir ce procédé. (Variable régulée, <i>Controlled variable</i> , <i>Process variable</i> , PV)



## Chapitre II : Système de régulation

Les signaux	Variable manipulée	La variable du procédé qui doit être modulée par l'élément final de commande pour annuler l'écart entre la variable commandée et le point de consigne. (Grandeur régulante, <i>Manipulated variable</i> )
	Mesure de la variable commandée	Valeur mesurée de la variable commandée: 4-20mA, 0-100%, ... (Feedback, <i>Measured value of controlled variable</i> , <i>Measured value of process variable</i> , PVf)
	Point de consigne	Valeur à laquelle la variable commandée est maintenue par le contrôleur. (Valeur de consigne, Référence, <i>Set point</i> , SP)
	Signal de commande	Signal de sortie du contrôleur appliqué à l'élément final de commande. (Signal de correction, <i>Controller output</i> , <i>Process demand</i> , DM)
	Perturbations	Toutes variables indépendantes, indésirables et souvent imprévisibles qui tendent à modifier la valeur de la variable commandée. (Grandeurs perturbatrices, Disturbances)
La charge	Charge du procédé	Ensemble de toutes les variables (à l'exception de la variable commandée) qui tendent à rompre l'équilibre du procédé. Cette définition inclue les variations à la source, les variations de la demande ainsi que celles du point de consigne. ( <i>Process load</i> )

### 1.3 Technologie de l'élément final de commande

Maintenant que nous connaissons le principe et le modèle général d'un système de commande à boucle fermée, nous allons procéder à un tour d'horizon rapide de la technologie de l'élément final de commande. Loin d'être exhaustive, cette étude ne vise qu'à montrer les composants les plus fréquemment rencontrés dans les applications industrielles.

En ce qui concerne l'élément final de commande, il est celui qui transfère l'énergie ou le matériel de la source vers le procédé en fonction du signal de commande. Ceux que l'on rencontre le plus fréquemment en industrie, sont:

- les moteurs;
- les embrayages magnétiques;
- les valves et les dispositifs pneumatiques;
- les éléments chauffants;
- les relais et les contacteurs;
- les solénoïdes;
- les pistons hydrauliques et les pompes.