

**TOUT EN
FICHES**

Patrick Prouvost

Agrégé en génie mécanique
Professeur en BTS
au lycée Georges Brière
de Reims

L'ESSENTIEL DE

INTRUMENTATION ET RÉGULATION

BTS

DUNOD

Direction artistique : Élisabeth Hébert
Illustration de couverture : AdobeStock_45774440

© Dunod, 2010, 2015, 2021
11, rue Paul Bert 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-082795-4

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

Fiche 1	Contrôle des procédés industriels	1
Fiche 2	Représentations d'un procédé	7
Fiche 3	Grandeurs physiques et unités	16
Fiche 4	Métrologie	22
Fiche 5	Caractéristiques métrologiques des instruments de mesure	30
Fiche 6	Capteur-transmetteur	36
Fiche 7	Environnement industriel des instruments	45
Fiche 8	Résistances thermoélectriques ou RTD	54
Fiche 9	Thermocouples	63
Fiche 10	Hydrostatique et hydrodynamique	73
Fiche 11	Capteurs de pression	78
Fiche 12	Mesures de niveau hydrostatiques	85
Fiche 13	Mesures de niveau intrusives	90
Fiche 14	Mesures de niveau non intrusives	96
Fiche 15	Mesures de débit par pression différentielle	102
Fiche 16	Mesures de débit par méthode directe	108
Fiche 17	Vannes de régulation	115
Fiche 18	Positionneurs	125
Fiche 19	Boucle de régulation	132
Fiche 20	Caractéristiques des procédés	137
Fiche 21	Qualités d'une régulation	143
Fiche 22	Régulateur PID	150
Fiche 23	Méthodes de réglage PID	159
Fiche 24	Méthode du modèle de référence	163
Fiche 25	Réglage : méthode du régleur	168
Fiche 26	Réglage de Ziegler et Nichols en boucle fermée	170
Fiche 27	Méthode de Broida-Dindeleux, procédés autoréglants	173
Fiche 28	Méthode de Broida-Dindeleux, procédés intégrateurs	178
Fiche 29	Régulations PID complexes 1	180
Fiche 30	Régulations PID complexes 2	184

1. Procédé et processus industriels

■ Entreprise industrielle

Une **entreprise industrielle** est une unité économique de production ayant pour objet la transformation de matières premières ou l'exploitation de sources d'énergie. Les produits réalisés doivent être conformes à un cahier des charges stipulant les qualités exigées par le client ou établies par la réglementation.

Elle est organisée en trois activités étroitement liées : production, maintenance et gestion technique et financière.

Cet ouvrage se limite ici au pôle production par les notions de procédé industriel et de processus industriel, essentielles pour aborder le contrôle industriel.

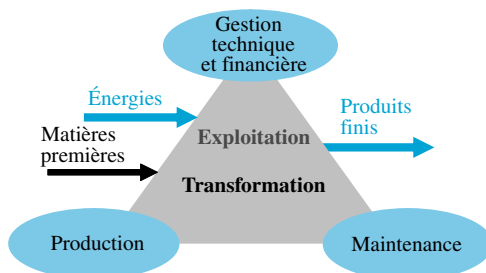


Figure 1.1 Entreprise industrielle

■ EXEMPLE D'UN MANUFACTURIER DE PNEUMATIQUES POUR UN CLIENT, CONSTRUCTEUR AUTOMOBILE

Conformité à la demande du client au sujet de la forme des sculptures, du coefficient de frottement, des indices de charge et de vitesse, et à la conformité de réglementation dimensionnelle, comme la profondeur minimale des sculptures (article R314-1 du Code de la route).

■ Procédé industriel

■ EXEMPLE

Pour réaliser un plat culinaire, et le réussir, on suit une recette qui indique les ingrédients et leurs quantités, mais également les ustensiles nécessaires, les précautions à prendre, l'ordre et les temps à respecter lors du mélange, de la cuisson ou du refroidissement.

L'analogie avec ce cas pratique et une production industrielle est immédiate : un ***procédé industriel*** est la méthode à suivre pour élaborer un produit conforme au cahier des charges, comprenant un texte explicite accompagné de schémas détaillés. Comme dans une recette de cuisine, on y indique les matières premières, les moyens matériels nécessaires, les différentes étapes, et les conditions telles que température ou humidité à respecter dans le but d'obtenir le produit final. C'est le livre du procédé, ou « *process data book* », qui contient cette méthode, essentielle à l'entreprise industrielle, tenue très secrète comme le sont les recettes des grands parfumeurs.

Le terme anglais « ***process*** » désigne aussi bien le procédé que le processus, et c'est aussi pourquoi le terme générique ***procédé*** est souvent employé en pratique.

Processus industriel

Le ***processus industriel*** comprend l'installation de production avec tout le matériel nécessaire à la transformation des matières premières, et l'ensemble descriptif de toutes les opérations détaillées pour aboutir au produit fini selon un procédé fixé.

EXEMPLE D'UN FOUR DE TRAITEMENT THERMIQUE DE PIÈCES MÉTALLIQUES

L'installation de production comprend le four, les parties concernant le chauffage et le refroidissement, ainsi que les matériels permettant la prise et le dépôt des pièces à traiter.

L'ensemble descriptif précise : l'ouverture de la porte, la mise en place des pièces dans le four, la fermeture de la porte, la vitesse de montée en température, la température du palier et la durée de son maintien, la vitesse du refroidissement forcé, la température finale et la durée de son maintien, l'arrêt du refroidissement, l'ouverture de la porte, puis le retrait des pièces.

La partie matérielle du processus est représentée par un schéma normalisé (PCF ou PFS, TI ou PID : cf. [fiche 2](#)), véritable outil universel de communication entre les différents services de conception, d'installation, de fabrication, d'instrumentation et d'automatique.

Procédé continu et discontinu

Le procédé est continu lorsque le fonctionnement normal de l'installation n'est jamais interrompu pour fabriquer un produit.

EXEMPLE DE PROCÉDÉ CONTINU

Un four de verrerie, fabriquant des bouteilles de champagne, contenant 300 tonnes de verre fondu à 1 500 °C fonctionne 24 heures sur 24, et tous les jours de l'année. Son démarrage est en effet à la fois complexe et long et il n'est donc prévu de l'arrêter tous les 4 à 5 ans que pour le changement complet des briques réfractaires usées par le verre très abrasif.

Le procédé est **discontinu** ou « *batch* » quand le produit fini est obtenu par une fabrication de type continu mais en une quantité prédéterminée (lot ou *batch*) pour un cycle. C'est-à-dire que la même unité de fabrication est fréquemment (jusqu'à plusieurs fois par jour) amenée à changer de type de produit. Les procédés *batch* sont très répandus dans les industries des cosmétiques et pharmaceutiques.

2. Contrôle industriel

Pour garantir les qualités et les quantités du produit fabriqué, il est nécessaire de déployer des moyens d'observation, de réflexion et d'action sur le procédé ; c'est le rôle du **contrôle industriel** englobant les domaines de l'instrumentation et de la régulation.

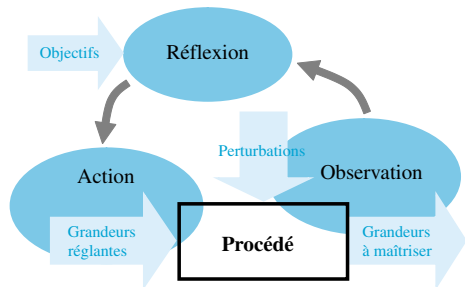


Figure 1.2 Contrôle industriel

Instrumentation

L'**instrumentation** est un domaine comprenant les méthodes d'implantation, de réglages et d'exploitation de tous les appareils de mesure, de calcul et d'action nécessaires à la maîtrise du processus industriel, y compris les aspects de protection et de sécurité.

L'instrumentation liée à l'**observation** est assurée par les capteurs, transmetteurs et indicateurs qui fournissent les mesures continues et les détecteurs délivrant une information binaire.

L'instrumentation permettant *l'action* concerne les organes de réglage tels que les vannes régulatrices, les ventilateurs, les pompes, les résistances de puissance électrique, et les pré-actionneurs comme les convertisseurs de signaux, les positionneurs, et les variateurs de vitesse.

Toutes les cartes d'entrées et de sorties des régulateurs et des automates programmables industriels (API) font partie de l'instrumentation.

Régulation

La *régulation* constitue l'étape, délicate, de la *réflexion* du contrôle industriel puisqu'elle doit garantir un fonctionnement du processus conforme à l'objectif fixé. Or, lorsqu'un écart par rapport à cet objectif survient, la régulation doit annuler ou amoindrir cet écart en suivant les lois d'évolution du procédé définies par le concepteur.

La régulation sans instrumentation n'est pas envisageable, mais l'instrumentation sans régulation est possible.

3. Hiérarchie des systèmes de contrôle

Un système de contrôle performant doit garantir la qualité du produit ou du service, mais également des économies d'énergies et de matières premières ou semi-finies, sans négliger la sécurité du personnel et des installations.

La gestion du risque de tout processus industriel induit une organisation des

systèmes de contrôle hiérarchisés en trois niveaux d'intervention (figure 1.3).

Niveau 1 : ce niveau de système assure la *conduite* du processus, continu ou discontinu, en fonctionnement normal et comprend l'instrumentation et la régulation ou l'automatisme.

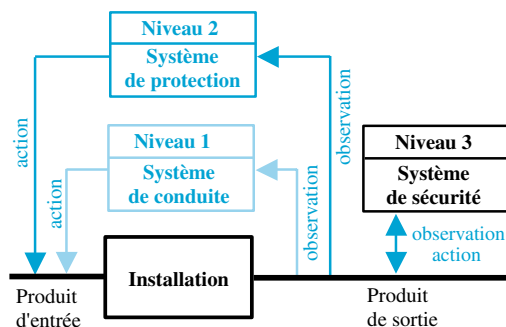


Figure 1.3 Hiérarchie des systèmes de contrôle

Niveau 2 : ce niveau assure la *protection* du processus selon une fonction discontinue à partir d'informations prédéfinies de dépassement de seuils critiques pour le processus. L'information de dépassement peut être donnée par un détecteur (information binaire) ou par un capteur (information continue), mais l'instrumentation est indépendante de celle du niveau 1. Les actionneurs sont généralement de type tout ou rien (électrovanne ou vérin).

Le niveau 1 redevient fonctionnel lorsque le niveau 2 le permet, après une autorisation automatique ou validée par l'opérateur.

Niveau 3 : c'est le niveau de sécurité le plus haut en cas de défaillance d'un ou plusieurs éléments du processus. Les dispositifs, indépendants des niveaux 1 et 2, doivent pouvoir se déclencher sans énergie auxiliaire comme les soupapes de sécurité, les disques de rupture, ou les fusibles thermiques.

Une soupape de sûreté de pression est tarée pour se déclencher à une valeur définie, et se remet en position initiale lorsque la pression revient en dessous de cette pression de tarage. Le niveau 1 est donc de nouveau opérationnel si le niveau 2 l'est aussi. En revanche, un disque de rupture cède sous la pression prévue et il faut installer un nouveau disque avant de revenir au niveau 1.

EXERCICE 1 Échangeur thermique

Description du processus : l'eau d'alimentation d'un ballon de chaudière industrielle doit être préchauffée à une température de 85 °C. Dans ce but, de l'eau froide est chauffée dans l'échangeur thermique où circule de la vapeur provenant, par économie, du dégagement exothermique d'un réacteur (figure 1.4).

La consigne du régulateur de température (TC) est réglée à 85 °C $\pm$ 2 °C.

Le seuil haut (TSH) est configuré dans l'automate à 96 °C.

Le seuil bas (TSL) est configuré dans l'automate à 60 °C.

Le tarage de la soupape de sûreté thermique est de 110 °C $\pm$ 5 °C.

La pompe a un régime normal de fonctionnement, et un autre régime, moitié du débit normal, piloté à distance par l'automate. L'électrovanne est normalement ouverte, mais fermée sur ordre de l'automate.

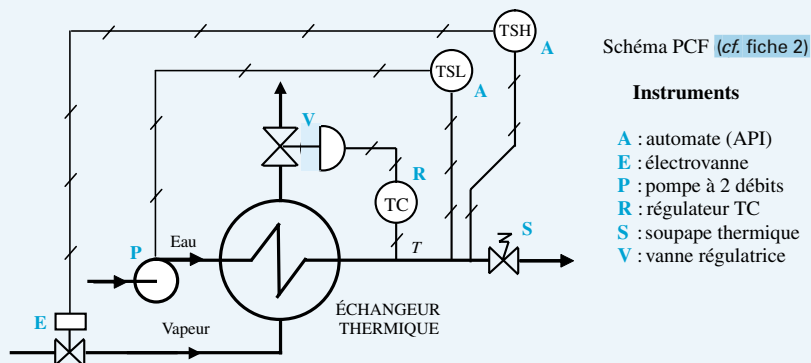


Figure 1.4 Échangeur thermique

1. Ce procédé est-il de type batch ou continu ?
2. Préciser les instruments intervenant pour chaque niveau hiérarchique d'intervention de ce processus.
3. Indiquer le niveau actif (1, 2 ou 3) en fonction de la température T.

T (°C)	78	107	98	91	55
Niveau 1, 2 ou 3					

Solution

1. C'est un processus continu puisqu'il n'y a pas de système de démarrage et d'arrêt, permettant un fonctionnement cyclique. En outre, l'alimentation en eau d'un ballon de chaudière ne peut correspondre à un processus batch car une chaudière industrielle est une unité dont le démarrage est long et complexe.

2. Niveau 1 R commande V en continu

Niveau 2 A (TSL) baisse le débit de P, ou A (TSH) ferme E

Niveau 3 S s'ouvre

3. T (°C)	78	107	98	91	55
Niveau 1, 2 ou 3	1	3	2	1	2