

|

Mohammed Mehdi Bouchene

Chapitre 2

Systèmes automatisé

Objectifs de la leçon

- Décrire les différents éléments d'un système d'automatisation industrielle et comment ils sont organisés hiérarchiquement en niveaux.
- Expliquer comment ces niveaux sont liés les uns aux autres en termes de leurs fonctions.
- Décrire la nature des technologies impliquées dans la réalisation de ces niveaux fonctionnels
- Décrire la nature du traitement de l'information à ces niveaux et le flux d'informations entre eux

Les éléments fonctionnels de l'automatisation industrielle

Un système d'automatisation industrielle se compose de nombreux éléments qui exécutent une variété de fonctions liées à l'instrumentation, au contrôle, à la supervision et à la gestion des opérations liées au processus industriel. Ces éléments peuvent également communiquer entre eux pour échanger les informations nécessaires à la coordination globale et au fonctionnement optimisé de l'installation/usine/process. Ci-dessous, nous classons les principaux éléments fonctionnels que l'on trouve généralement dans les systèmes d'AI et décrivons également la nature des technologies utilisées pour réaliser les fonctions.

Éléments de détection et d'actionnement

Ces éléments s'interfaçent directement et physiquement avec l'équipement de traitement et les machines. Les éléments de détection traduisent les signaux de processus physiques tels que la température, la pression ou le déplacement en formes d'informations électriques ou pneumatiques pratiques, de sorte que ces signaux puissent être utilisés pour l'analyse, les décisions et, enfin, le calcul des entrées de commande. Ces entrées de contrôle calculées, qui sont à nouveau sous des formes d'informations électriques ou pneumatiques pratiques, doivent être converties en entrées de processus physiques telles que la chaleur, la force ou le débit, avant de pouvoir être appliquées pour effectuer les changements souhaités dans les sorties de processus. De telles entrées de commande physiques sont fournies par les éléments d'actionnement.

Capteurs industriels et systèmes d'instruments

Des capteurs et des systèmes d'instruments scientifiques et techniques d'une variété spectaculaire de taille, de poids, de coût, de complexité et de technologie sont utilisés dans l'industrie moderne. Cependant, un examen attentif révélerait que tous sont composés d'un ensemble d'éléments fonctionnels typiques connectés d'une manière spécifiée pour fournir un signal sous une forme nécessaire. Les différentes tâches impliquées dans les systèmes d'automatisation. La figure 1 ci-dessous montre la configuration d'un système de capteur typique.



Fig. 1 Configuration fonctionnelle d'un système de capteurs typique

Sur la figure 1, un système de capteurs est représenté décomposé en trois de ses principaux composants fonctionnels, ainsi que le milieu dans lequel la mesure a lieu. Ceux-ci sont décrits ci-dessous.

- A. **Le support physique** fait référence à l'objet où se déroule un phénomène physique et nous nous intéressons à la mesure d'une variable physique associée au phénomène. Ainsi, par exemple, le milieu physique peut représenter le hotga dans un four dans le cas d'une mesure de température ou le fluide dans un tronçon de canalisation dans le cas d'une mesure de débit de liquide.
- B. **L'élément de détection** est affecté par le phénomène dans le milieu physique soit par contact direct ou physique, soit par interaction indirecte du phénomène dans le milieu avec un composant de l'élément de détection. Encore une fois, en considérant le cas de la mesure de la température, on peut utiliser une sonde à thermocouple comme élément de détection qui entre souvent en contact physique avec l'objet chaud tel que les fumées d'une chaudière-four ou un pyromètre optique qui compare la luminosité d'un corps chaud dans le four avec celui d'une lampe à distance à travers une fenêtre et n'entre pas en contact direct avec le four. Dans le cas le plus courant où l'élément de détection entre en contact avec le milieu, une certaine propriété physique ou chimique du capteur change souvent en réponse à la variable de mesure. Ce changement devient alors une mesure de la variable physique d'intérêt. Un exemple typique est le changement de résistivité dû à la chaleur dans un fil de thermomètre à résistance. Alternativement, dans certains autres capteurs, un signal est directement généré dans l'élément de détection, comme c'est le cas d'un thermocouple qui génère une tension en

réponse à une différence de température entre ses deux extrémités.

- C. **L'élément de conditionnement de signal** a pour fonction de modifier la nature du signal généré par l'élément de détection. Étant donné que la méthode de conversion de la nature du signal généré dans le capteur en une autre forme de signal appropriée (généralement électrique) dépend essentiellement du capteur, les modules de conditionnement de signal individuels sont caractéristiques d'un groupe d'éléments de détection. A titre d'exemple, considérons un détecteur de température à résistance (RTD) dont la réponse de sortie est un changement de sa résistance dû au changement de température de son environnement. Ce changement de résistance peut facilement être converti en un signal de tension en incorporant le RTD dans un bras d'un pont de Wheatstone. Le pont sert donc de module de conditionnement du signal. Les modules de conditionnement de signaux sont également utilisés pour des fonctions spéciales liées à des capteurs spécifiques mais non liées à la conversion de variables telles que le « référencement ambiant » des thermocouples. Ceux-ci impliquent généralement des circuits électroniques analogiques qui produisent finalement des signaux électriques sous forme de tension ou de courant dans des plages spécifiques.
- D. **L'élément de traitement du signal** est utilisé pour traiter le signal généré par le premier étage à diverses fins telles que le filtrage (pour supprimer le bruit), le diagnostic (pour évaluer l'état du capteur), la linéarisation (pour obtenir une sortie linéairement liée au mesurande physique, etc. Les systèmes de traitement du signal sont donc généralement de nature plus générale.
- E. **L'élément de gestion de signal cible** peut exécuter diverses fonctions en fonction de l'application cible. Il peut donc contenir des modules d'affichage de données/signaux, des modules d'enregistrement ou/de stockage, ou simplement un retour d'information vers un système de contrôle de processus. Les exemples incluent un enregistreur graphique de température, un magnétophone d'instrumentation, un affichage numérique ou un convertisseur analogique-numérique (ADC) suivi d'une interface avec un ordinateur de contrôle de processus.

Bien que la description ci-dessus convienne dans la plupart des cas, il peut être possible de découvrir quelques variations dans certains cas. La séparation ci-dessus en sous-systèmes n'est pas seulement d'un point de vue fonctionnel, le plus souvent, ces sous-systèmes sont clairement distinguables physiquement dans un système de mesure.

Les capteurs modernes ont souvent la capacité supplémentaire de communication numérique à l'aide de protocoles de communication série, parallèle ou réseau. De tels capteurs sont dits « intelligents » et contiennent des systèmes de traitement électronique numérique embarqués.

Systèmes d'actionneurs industriels

Les systèmes d'actionnement convertissent les signaux d'entrée calculés par les systèmes de commande en des formes qui peuvent être appliquées au processus réel et produiraient les variations souhaitées dans les variables physiques du processus. De la même manière que dans les capteurs mais dans un sens inverse, ces systèmes convertissent la sortie du contrôleur, qui est essentiellement une information sans alimentation, et sous forme de tensions électriques (ou parfois de pression pneumatique) de deux manières. Premièrement, il convertit la forme de la variable en la variable physique appropriée, telle que le couple, la chaleur ou le débit. Deuxièmement, il amplifie le niveau d'énergie du collecteur de signaux pour pouvoir provoquer des changements dans les variables de processus. Ainsi, alors que les capteurs et les actionneurs provoquent des conversions variables, les actionneurs sont des dispositifs à haute puissance alors que les capteurs ne le sont pas. Il s'avère que dans la plupart des cas, les actionneurs sont des dispositifs qui produisent d'abord un mouvement à partir d'un signal électrique, qui est ensuite converti en d'autres formes. Sur la base de l'exigence ci-dessus d'énergie et de conversion variable, la plupart des systèmes d'actionnement sont structurés comme le montre la figure 2.

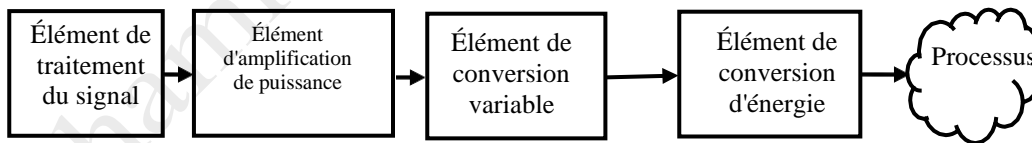


Fig. 2 Configuration fonctionnelle d'un système d'actionneur typique

Dans la Fig.2, un système d'actionneur est représenté décomposé en ses principaux composants fonctionnels. Les points saillants de la structure sont décrits ci-dessous.

- A ***L'élément électronique de traitement du signal*** accepte la commande du système de contrôle sous forme électrique. La commande est traitée de différentes manières. Par exemple, il peut être filtré pour éviter d'appliquer des signaux d'entrée de certaines fréquences qui peuvent

provoquer une résonance. De nombreux actionneurs sont eux-mêmes des unités fermées commandées par rétroaction pour la précision de l'opération d'actionnement. Par conséquent, l'unité électronique de traitement du signal contient souvent le système de commande de l'actionneur lui-même.

- B. L'élément électronique d'amplification de puissance* contient parfois des étages d'amplification de puissance linéaires appelés servo-amplificateurs. Dans d'autres cas, il peut comporter des circuits électroniques de commande de puissance tels que des actionneurs motorisés.
- C. L'élément de conversion variable* a pour fonction de modifier la nature du signal généré par l'élément d'amplification de puissance électronique d'une forme électrique à une forme non électrique, généralement sous forme de mouvement. Les exemples incluent la servovalve électrohydraulique, les moteurs pas à pas/servo, les convertisseurs de courant en pression pneumatique, etc.
- D. Les éléments de conversion de puissance non électrique* sont utilisés pour amplifier davantage la puissance, si nécessaire, typiquement à l'aide de mécanismes hydrauliques ou pneumatiques.
- E. Les éléments de conversion de variables non électriques* peuvent être utilisés en outre pour transformer la variable actionnée sous les formes souhaitées, souvent en plusieurs étapes. Les exemples typiques incluent la conversion de mouvement en débit dans les vannes de débit, les convertisseurs de mouvement rotatif en mouvement linéaire utilisant des mécanismes, la conversion de débit en chaleur à l'aide de vapeur ou d'autres fluides chauds, etc.
- F. Autres éléments divers* tels que les auxiliaires pour la lubrification/refroidissement/filtrage, les réservoirs, les moteurs principaux, etc., les capteurs de retour, les composants pour l'affichage, les opérations à distance, ainsi que les mécanismes de sécurité car le niveau de puissance admissible est considérablement élevé.

Systèmes de contrôle industriels

Par systèmes de contrôle industriel, nous désignons les systèmes de capteurs, les systèmes d'actionneurs en tant que contrôleur. Les contrôleurs sont essentiellement des éléments (principalement électroniques, parfois pneumatiques/hydrauliques) qui acceptent les signaux de commande des opérateurs humains ou des systèmes de surveillance, ainsi que le retour des capteurs de processus et produisent ou calculent des signaux qui sont transmis aux actionneurs. Les systèmes de contrôle

peuvent être classés en deux types.

Contrôle continu

Ceci est également souvent appelé contrôle automatique, contrôle de processus, contrôle de rétroaction, etc. Ici, l'objectif du contrôleur est de fournir de telles entrées à l'installation de telle sorte que la sortie $y(t)$ suive l'entrée $r(t)$ aussi étroitement que possible, en valeur et au fil du temps. La structure de la boucle de contrôle commune avec ses éléments constitutifs, à savoir le contrôleur, l'actionneur, le capteur et le processus lui-même est montrée. De plus, les signaux qui existent à divers points du système sont également marqués. Il s'agit de la commande (appelée alternativement consigne ou signal de référence), les entrées exogènes (perturbations, bruit).

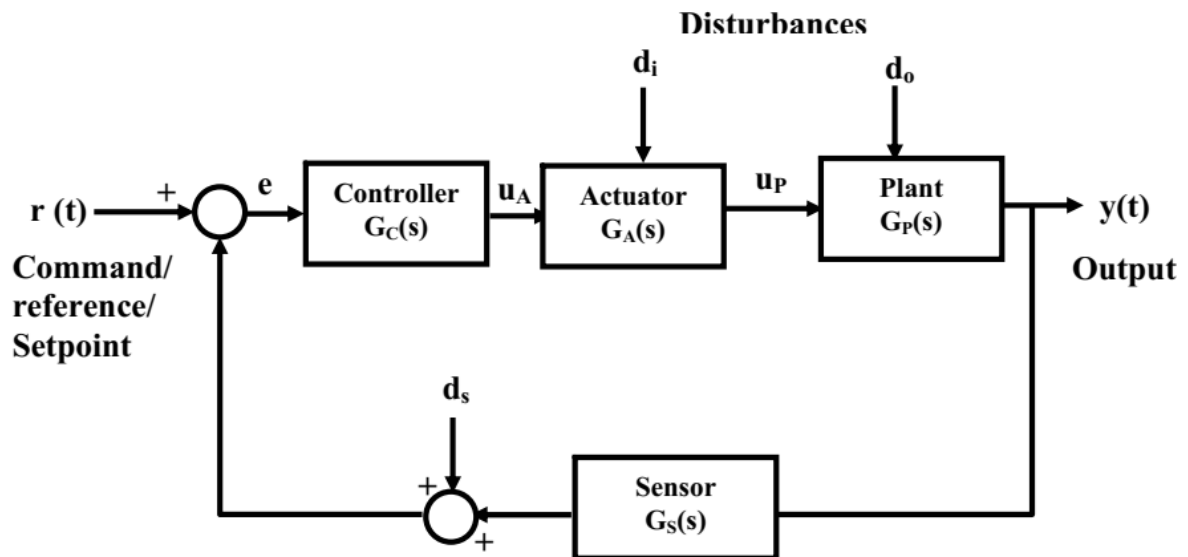


Fig. 3 Boucle de contrôle typique

Les difficultés à atteindre l'objectif de performance sont principalement dues aux perturbations inévitables dues à la variation de charge et à d'autres facteurs externes, ainsi qu'au bruit des capteurs, à la complexité, à l'instabilité possible, à l'incertitude et à la variabilité de la dynamique de la centrale, ainsi qu'aux limitations des capacités des actionneurs.

La plupart des signaux de commande de boucle de contrôle industriel sont des signaux constants par morceaux qui indiquent les niveaux souhaitables de variables de processus, telles que la température, la pression, le débit, le niveau, etc., qui garantissent la qualité du produit dans les processus continus. Dans certains cas, comme dans le cas d'une commande de mouvement pour l'usinage, le signal de

commande peut varier en continu en fonction des dimensions du produit. Par conséquent, ici, la déviation de la sortie par rapport au signal de commande entraîne une dégradation de la qualité du produit. C'est pour cette raison que le choix des signaux de retour, celui de l'algorithme du régulateur (tel que P, PI pr PID), le choix de la structure de la boucle de régulation (boucle de retour normale, boucle en cascade ou feedforward) ainsi que le choix des gains du contrôleur est extrêmement important pour les machines et les processus industriels.

Le régulateur PID, appelé aussi correcteur PID (proportionnel, intégral, dérivé) est un système de contrôle permettant d'améliorer les performances d'un asservissement, c'est-à-dire un système ou procédé en boucle fermée. C'est le régulateur le plus utilisé dans l'industrie où ses qualités de correction s'appliquent à de multiples grandeurs physiques.

Typiquement, les configurations de contrôle sont bien connues pour une classe de processus donnée, cependant, le choix des gains du contrôleur doit être fait de temps en temps, car les caractéristiques de fonctionnement de l'installation changent avec le temps. C'est ce qu'on appelle généralement le réglage du contrôleur.

Un seul appareil physique peut servir le contrôleur pour une ou plusieurs boucles de contrôle (contrôleur à boucle unique/multi-boucles). Aujourd'hui, de nombreux contrôleurs de boucle complètent les lois de contrôle typiques telles que le contrôle PID en offrant un contrôle adaptatif et des algorithmes de logique floue pour améliorer la réponse et le fonctionnement du contrôleur. Le PID et l'autoréglage au démarrage sont parmi les fonctionnalités les plus importantes. Parmi les autres caractéristiques souhaitées et couramment trouvées, citons la capacité de communiquer vers le haut avec les systèmes de supervision, ainsi que sur les réseaux peer-to-peer (tels que Fieldbus ou DeviceNet), la prise en charge du contrôle manuel en cas de défaillance de l'automatisation. Le logiciel est un facteur important dans les contrôleurs de boucle. Le logiciel de configuration, de surveillance, de réglage automatique et d'alarme pour les contrôleurs de boucle est désormais une fonctionnalité courante. Les contrôleurs acceptent également l'interfaçage direct des capteurs de processus et des signaux. Le choix des entrées comprend divers types de thermocouples, RTD, tension à 10 Vcc ou courant à 20 mA. Alors que les contrôleurs les plus sophistiqués sont aujourd'hui électroniques, les contrôleurs pneumatiques sont toujours utilisés. Les contrôleurs pneumatiques sont faciles à utiliser, faciles à entretenir et pratiquement indestructibles.

Contrôle de séquence / logique

De nombreuses applications de contrôle n'impliquent pas de variables de processus analogiques, c'est-à-dire celles qui peuvent assumer une plage continue de valeurs, mais à la place des variables qui sont valorisées, c'est-à-dire qu'elles n'assument que des valeurs appartenant à un ensemble fini. Les exemples les plus simples de telles variables sont des variables binaires, qui peuvent avoir l'une des deux valeurs possibles (comme 1 ou 0, activé ou désactivé, ouvert ou fermé, etc.). Ces systèmes de contrôle fonctionnent en allumant et en éteignant les interrupteurs, moteurs, vannes et autres dispositifs en fonction des conditions de fonctionnement et en fonction du temps. De tels systèmes sont appelés systèmes de commande de séquence/logique. Par exemple, dans le fonctionnement des lignes de transfert et des machines d'assemblage automatisées, le contrôle de séquence est utilisé pour coordonner les différentes actions du système de production (par exemple, transfert de pièces, changement d'outil, alimentation de l'outil de coupe du métal, etc.).

Il existe de nombreux actionneurs industriels qui ont un ensemble d'entrées de commande. Les entrées de commande de ces appareils n'appartiennent qu'à un ensemble TOR spécifique. Par exemple, dans le contrôle d'un système de convoyeur, la commande de moteur analogique n'est pas appliquée. Un simple contrôle marche-arrêt est suffisant. Par conséquent, pour cette application, le système d'actionnement du démarreur peut être considéré comme discret ayant trois modes, à savoir démarrage, arrêt et marche.

De même, il existe de nombreux capteurs industriels (tels que fin de course/pressostat/photorupteur etc.) qui fournissent des sorties discrètes qui peuvent être interprétées comme la présence/absence d'un objet à proximité immédiate, le passage de pièces sur un convoyeur, ou une valeur de pression donnée étant supérieure ou inférieure à une valeur de consigne. Ces capteurs indiquent ainsi, non pas la valeur d'une variable de procédé, mais la plage particulière de valeurs à laquelle appartient la variable de procédé.

Un dispositif de contrôle moderne largement utilisé pour le contrôle de séquence aujourd'hui dans les lignes de transfert, le robotique, le contrôle de processus et de nombreux autres systèmes automatisés est le contrôleur logique programmable (de l'anglais : Programmable Logic Controller (PLC)). Essentiellement, un PLC est un système informatique en temps réel basé sur un microprocesseur industriel à usage spécial, qui exécute les fonctions suivantes dans le contexte des opérations industrielles.

Contrôle de supervision

Le contrôle de supervision s'effectue à un niveau hiérarchique supérieur par rapport aux contrôleurs automatiques, qui contrôlent les sous-systèmes plus petits. Les systèmes de contrôle de surveillance remplissent généralement les fonctions suivantes :

- ◆ Calcul du point de consigne : les points de consigne pour les variables de processus importantes sont calculés en fonction de facteurs tels que la nature du produit, le volume de production, le mode de traitement. Cette fonction a beaucoup d'impact sur le volume de production, l'énergie et la qualité et l'efficacité.
- ◆ Surveillance/diagnostic des performances : les variables de processus sont surveillées pour vérifier une éventuelle défaillance des composants du système, un désaccord de la boucle de commande, la saturation de l'actionneur, la modification des paramètres de processus, etc. Les résultats sont affichés et éventuellement archivés pour une analyse ultérieure.
- ◆ Démarrage / Arrêt / Opérations d'urgence : Des modes de contrôle discrets et continus spéciaux sont lancés pour effectuer l'opération prévue, soit en réponse aux commandes de l'opérateur, soit en réponse à des événements de diagnostic tels que les modes de défaillance détectés.
- ◆ Reconfiguration/réglage du contrôle : une refonte structurelle ou paramétrique des boucles de contrôle est effectuée, soit en réponse aux commandes de l'opérateur, soit en réponse à des événements de diagnostic tels que les modes de défaillance détectés. Des reconfigurations de contrôle peuvent également être nécessaires pour s'adapter à la variation de la rétroaction ou de l'apport d'énergie, par ex. du gaz au fioul.
- ◆ Interface opérateur : Des interfaces graphiques pour les opérateurs de supervision sont fournies, pour la supervision et l'intervention manuelles.

Naturellement, ces systèmes sont dépendants de processus d'applications spécifiques, contrairement aux algorithmes de contrôle automatique, qui sont généralement génériques (par exemple PID). D'un point de vue informatique, il s'agit d'un mélange d'algorithmes temps réel durs et souples. Ceux-ci sont également souvent très coûteux et basés sur des connaissances exclusives de l'automatisation de classes spécifiques d'installations industrielles.

Contrôle de la production

Le contrôle de la production s'effectue à un niveau hiérarchiquement supérieur aux contrôleurs de supervision. Les fonctions typiques qu'ils exécutent sont :

- Process Ordonnancement des processus : En fonction de la séquence d'opérations à réaliser sur les lots de produits existants, disponibilité des ressources de traitement pour une utilisation optimale des ressources.
- ♦ Gestion de la maintenance : Processus de décision liés à la détection et au déploiement des opérations de maintenance.
- ♦ Gestion des stocks : Processus de décision liés au suivi de l'état des stocks de matières premières, produits finis etc. et déploiement des opérations liées à leur gestion.
- ♦ Management de la Qualité : Evaluation, Documentation et Management de la Qualité

En règle générale, les algorithmes utilisent la technologie d'optimisation des ressources et ne sont pas en temps réel, bien qu'ils puissent utiliser des données de production en ligne.

L'architecture des éléments : la pyramide de l'automatisation

Les systèmes d'automatisation industrielle sont très complexes et comportent un grand nombre d'appareils avec une confluence de technologies fonctionnant en synchronisation. Afin de connaître les performances du système, nous devons comprendre les différentes parties du système. Les systèmes d'automatisation industrielle sont organisés hiérarchiquement comme le montre la figure suivante.

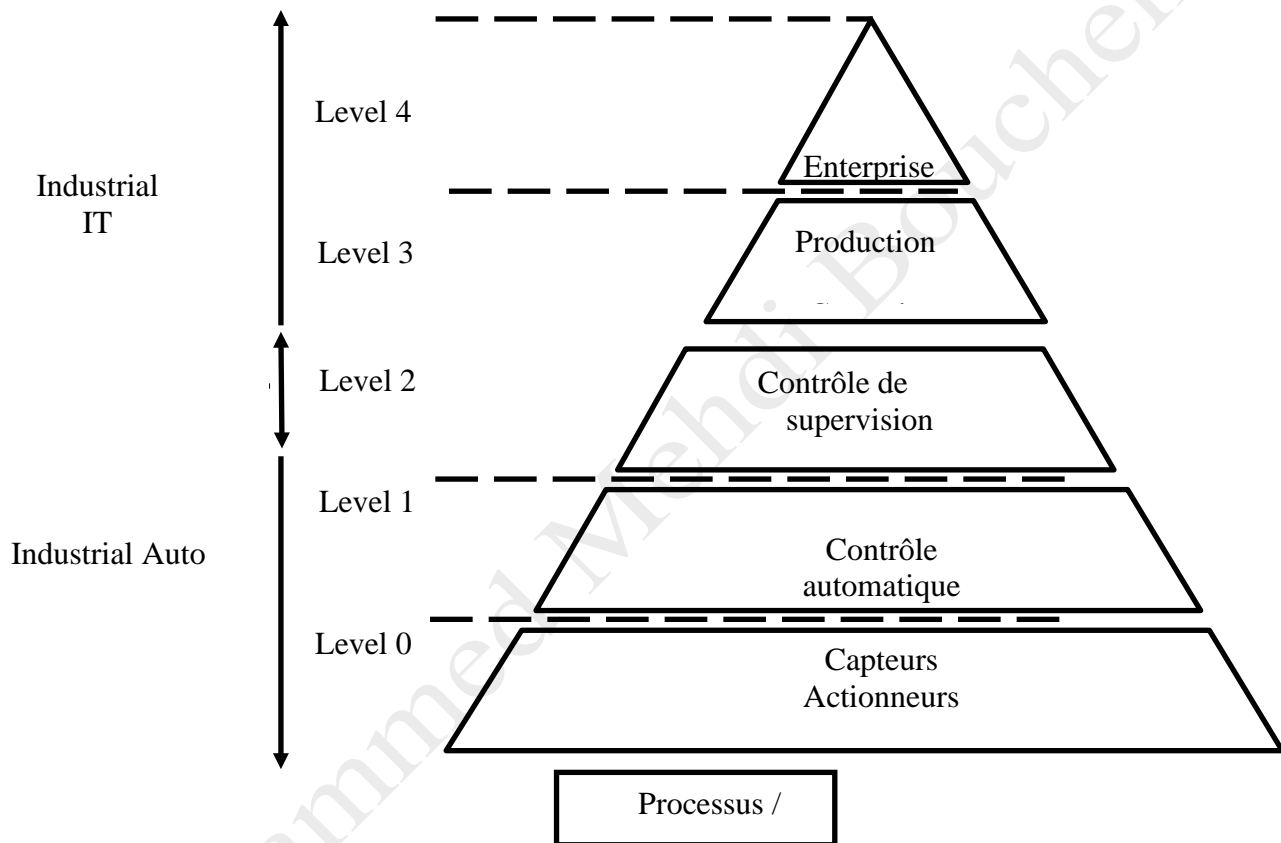


Fig. 4 Pyramide d'automatisation

Divers composants d'un système d'automatisation industrielle peuvent être expliqués à l'aide de la pyramide d'automatisation illustrée ci-dessus. Ici, différentes couches représentent l'étendue (au sens du nombre d'appareils) et la solidité des composants sur l'échelle de temps.

Couche des capteurs et des actionneurs : cette couche est la plus proche des processus et des machines, utilisée pour traduire les signaux afin que les signaux puissent être dérivés des processus d'analyse et de décision et, par conséquent, que les signaux de contrôle puissent être appliqués aux processus. Cela forme la couche de base de la pyramide, également appelée couche de « niveau 0 ».

Couche de contrôle automatique : cette couche se compose de systèmes de contrôle et de surveillance automatiques, qui pilotent les actionneurs à l'aide des informations de processus fournies par les capteurs. C'est ce qu'on appelle la couche « niveau 1 ».

Couche de contrôle de supervision : cette couche pilote le système de contrôle automatique en définissant une cible/un objectif pour le contrôleur. La Couche de contrôle de supervision s'occupe de l'équipement, qui peut être constitué de plusieurs boucles de contrôle. C'est ce qu'on appelle la couche « niveau 2 ».

Couche de contrôle de la production : elle résout les problèmes de décision tels que les objectifs de production, l'allocation des ressources, l'allocation des tâches aux machines, la gestion de la maintenance, etc. C'est ce qu'on appelle la couche « niveau 3 ».

Couche de contrôle de l'entreprise : elle traite des activités moins techniques et plus commerciales telles que l'offre, la demande, les flux de trésorerie, la commercialisation des produits, etc. C'est ce qu'on appelle la couche « niveau 4 ».

L'échelle spatiale augmente à mesure que le niveau augmente, par ex. au niveau le plus bas, un capteur fonctionne dans une seule boucle, mais il existe de nombreux capteurs dans un système d'automatisation qui seront visibles à mesure que le niveau augmente. Le niveau le plus bas est plus rapide dans l'échelle de temps et les niveaux supérieurs sont plus lents. L'agrégation d'informations sur un intervalle de temps est prise à des niveaux plus élevés.

Toutes les couches ci-dessus sont connectées par divers types de systèmes de communication. Par exemple, les capteurs et actionneurs peuvent être connectés aux automatismes au moyen d'une communication numérique point à point, tandis que les automatismes eux-mêmes peuvent être connectés aux systèmes de supervision et de contrôle de production à l'aide de réseaux informatiques. Certains de ces réseaux peuvent être propriétaires. Au cours de la dernière décennie, avec

l'émergence de l'électronique et de l'informatique embarquées, des normes de réseaux de bas niveau (CANBus, Fieldbus, etc.) pour la communication avec des dispositifs de bas niveau, tels que des capteurs et des actionneurs, ont également vu le jour.

Exercises

1. Dessinez le schéma fonctionnel d'un système de capteurs typique
2. Dessiner le schéma fonctionnel d'un système d'actionneur
3. Dessinez le schéma fonctionnel d'un système de contrôle industriel typique
4. Indiquer l'aspect principal par lequel les systèmes de commande séquentielle/logique diffèrent des systèmes de commande analogiques
5. Décrire un système industriel qui utilise des capteurs et des actionneurs discrets.
6. Énoncer trois fonctions principales d'un système de contrôle de *surveillance*
7. Énoncer trois fonctions principales d'un système de contrôle de la production
8. Décrire un système industriel qui utilise des capteurs et des actionneurs discrets.
9. Dessinez la pyramide d'automatisation et identifiez les couches