

## **Chapitre II**

### **Capteurs intelligents**

#### **I - Définition**

Le capteur intelligent correspond principalement à l'intégration dans le corps du capteur d'un organe de calcul interne (microprocesseur, micro-contrôleur), d'un système de conditionnement du signal (programmable ou contrôlé) et d'une interface de communication.

Généralement, le concept de capteur intelligent se décompose ainsi:

- un ou plusieurs transducteur (s)
- des conditionneurs spécifiques
- d'une mémoire
- d'une alimentation
- d'un organe intelligent interne permettant un traitement local et l'élaboration d'un signal numérique
- d'une interface de communication.

Un capteur intelligent est défini comme un système intégré comprenant d'une part le moyen de réaliser une mesure (capteur proprement dit), d'autre part les moyens de conversion de cette mesure en une information utilisable directement par un système de niveau supérieur ou un opérateur humain (« intelligence » ou traitement du signal et communication).

Dans la plupart des cas, l'information traitée est émise sur un réseau de communication sous forme numérique. À l'heure actuelle, les capteurs intelligents se retrouvent dans un grand nombre d'applications qui ont vocation à devenir de plus en plus nombreuses au fur et à mesure que les technologies d'intégration (micro et nano-systèmes) se développent.

#### **II - Domaines d'utilisation des capteurs intelligents**

Les capteurs intelligents sont la partie intégrante des grands systèmes complexes tels que:

- Les avions;
- Les véhicules spatiaux;

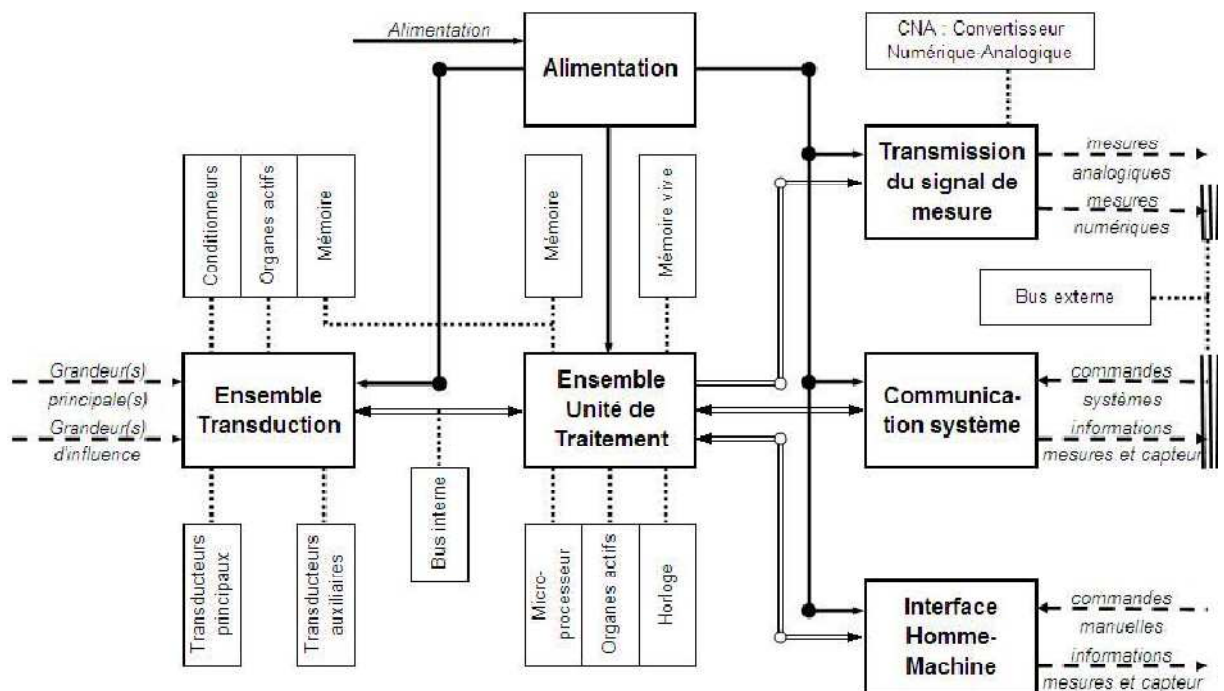
- Les automobiles et les véhicules terrestres;
- Les bâtiments et les ouvrages d'art;
- Les aéronefs;
- Les équipements de production.

Le capteur intelligent intégrant un calculateur est potentiellement en mesure de tenir compte d'informations externes pour traiter le signal (influence de la température sur la mesure, auto-calibrage, etc.).

On peut également citer comme partie importante des capteurs intelligents les antennes adaptatives (par exemple bibandes ou tribandes), dont les évolutions permettront le développement de nouvelles applications dans le domaine des communications.

### III - Architecture matérielle

Une architecture matérielle applicable à la plupart des capteurs intelligents est proposée sur la figure 1,



**Figure 1.** Architecture matérielle d'un capteur intelligent

#### IV - Constitution du capteur intelligent

il est constitué de plusieurs ensemble (voir Figure 1) :

##### IV - 1 : Ensemble transduction

Il est composé de

- a. Un ou de plusieurs transducteurs utilisés pour générer des signaux électriques représentatifs des grandeurs principales i.e. mesurandes que l'on cherche à observer; un ou plusieurs transducteurs auxiliaires chargés de surveiller les grandeurs d'influence internes ou externes i.e. grandeurs qui impactent sur les résultats de mesure ou les indications du capteur (température, pression, tension d'alimentation, gaz poisons etc.);
- b. Des conditionneurs de signaux (multiplexeurs, amplificateurs, filtres, convertisseurs analogique-numérique);
- c. Une mémoire pour le stockage de données relatives aux transducteurs (numéro d'identification, grandeur mesurée, caractéristiques métrologiques) utilisées dans les traitements numériques;
- d. Des organes actifs comme des commutateurs pour effectuer certaines procédures d'auto-ajustage, d'autodiagnostic ou de reconfiguration.

##### IV - 2 : Ensemble unité de traitement

Il permet de :

1. Stocker les logiciels;
2. Stocker les paramètres métrologiques et fonctionnels (avec une datation permise par l'horloge interne);
3. Assure les traitements des données,
4. Les calculs et les fonctionnalités du capteur à l'aide de son microprocesseur.

L'unité de traitement commande généralement les autres sous-ensembles.

##### IV - 3 : Ensemble communication

Il intègre plusieurs sous-ensembles. La transmission du signal de mesure peut être analogique (avec un convertisseur numérique-analogique) ou numérique. Des informations de diagnostic, transmises par le sous-ensemble *communication système*, viennent généralement compléter les résultats. La sortie analogique en 4-20 mA, proportionnelle à la grandeur

mesurée, est la plus répandue dans l'industrie. Pour y inclure des diagnostics en cas d'erreurs, une plage étendue à 0-24 mA est souvent utilisée (par exemple, 0mA pour un problème d'alimentation, 1mA pour des facteurs d'influence hors limites, 24 mA lors un dépassement de seuil etc.). La technologie HART utilise le câblage standard en 4-20 mA comme support à une communication numérique. Les résultats de mesure sont transmis analogiquement et les informations de diagnostic sont superposées numériquement grâce à un codage de fréquences. Le courant porteur en ligne (CPL) peut également être utilisé pour transmettre des informations de diagnostic tout en évitant des câblages supplémentaires.

## V. Nouvelles technologies au sein des capteurs

### V - 1 Fonctionnalités innovantes

Les nouvelles technologies et en particulier l'utilisation du numérique ont rendu disponibles des fonctionnalités innovantes au sein des capteurs sont celles présentées dans ce cours. On peut citer :

- La *correction des erreurs de mesure*,
- L'*auto-ajustage*,
- L'*autodiagnostic*,
- La *reconfiguration dynamique*;
- La *communication numérique et bidirectionnelle*.

Ces cinq capacités jouent, directement ou indirectement, un rôle dans les fonctions génériques d'un capteur intelligent. Elles contribuent ainsi à l'objectif principal du capteur qui est de fournir une mesure validée. Les fonctions générales d'un capteur intelligent sont:

- Mesurer;
- Configurer;
- Valider;
- Communiquer;
- Correction des erreurs de mesure;
- Stockage avec datation des résultats;
- Filtrages numériques;
- Auto-ajustage;
- Auto-diagnostic;

- Reconfiguration dynamique;
- Communication entre le capteur et le système de contrôle.
- 

**Correction des erreurs de mesure:** Les transducteurs auxiliaires et les contrôles internes permettent de corriger numériquement les résultats obtenus en fonction des grandeurs d'influence. Les paramètres de correction peuvent être conservés en mémoire.

**Stockage avec datation des résultats:** Le stockage avec datation des résultats permet, par exemple, de corriger la linéarité, quelques dérives, voir de remplacer ponctuellement des mesures manquantes ou aberrantes.

**Filtrages numériques:** Des filtrages numériques sont utilisés pour atténuer les bruits. Ils peuvent, dans certains cas, remplacer des filtres analogiques, souvent considérés comme plus coûteux et sources de plus grandes dérives et d'imprécisions.

**L'auto-ajustage** est le procédé par lequel un capteur ou un groupe de capteurs se met en conformité avec une fonction de transfert définie lors de l'étalonnage, afin de faire correspondre les indications transmises avec les valeurs des mesurandes. Quatre procédures basiques qui utilisent des commutateurs (organes actifs) pour appliquer en entrée du capteur un signal connu ont été utilisés. Des paramètres internes sont alors ajustés pour faire correspondre les résultats de sorti avec ceux attendus. Avec un signal d'entrée nul (relié à la terre), l'ajustement du zéro est obtenu en soustrayant numériquement la valeur du biais observé. Par commutation sur un signal connu et non nul, l'ajustement du gain s'obtient avec des coefficients multiplicateurs. De même, en générant numériquement un signal d'entrée croissant ou échelonné à quelques valeurs connues, il est possible de contrôler la linéarité. Enfin, l'ajustement de la température (grandeur d'influence la plus répandue et souvent simple à mesurer) requière des transducteurs auxiliaires. À partir de quelques échantillons de résultats de mesure et de température, les paramètres de corrections adéquats sont estimés et stockés numériquement. Lorsqu'il y a redondance des capteurs, des ajustages par comparaison des résultats de mesure sont également envisageables. Dans certains cas, par exemple si des dérives importantes sont observées, un auto-ajustage peut être commandé par le capteur lui-même ou le système de contrôle, d'après les informations d'autodiagnostic.

**L'auto-diagnostic** utilise généralement des procédures similaires de comparaison des données de sortie avec celles, connues, appliquées en entrée. Ce procédé peut être appliqué aux connectiques (contrôle de la force de transmission), aux éléments de calcul et de traitement des données (vérification du bon déroulement d'un algorithme, d'une opération arithmétique, d'un temps de réponse). Des références internes (température de l'électronique, tension d'alimentation) ou externes (facteurs d'influence) peuvent être surveillées. Certains composants ou unités disposent de leurs propres modules de détection des anomalies (condition anormale qui peut entraîner une réduction de capacité ou la perte de capacité d'une unité fonctionnelle à accomplir une fonction requise). Toutes ces données sont ensuite utilisées dans des modélisations mathématiques, des techniques de reconnaissance des formes ou des réseaux de neurones pour la détection et l'isolation des anomalies (FDI, *Fault Detection and Isolation*). À l'aide de ces résultats, la validation consiste à confirmer ou non la pertinence des informations transmises par le capteur, ou au minimum d'évaluer le degré de confiance que l'on peut leur accorder. Différents niveaux de validation existent :

1. Validation technologique (vérification des ressources physiques);
2. Validation fonctionnelle (vérification de la cohérence des données);
3. Validation opérationnelle (par rapport au système de contrôle).

**La reconfiguration dynamique** est une autre fonctionnalité d'un capteur intelligent et qui bénéficie des informations de diagnostic. Certaines caractéristiques du capteur peuvent être modifiées en temps réel, permettant par exemple de répondre à des exigences métrologiques (réglages) : adaptation de la plage de mesure et de la fréquence d'acquisition des données en fonction de l'évolution du phénomène observé et des facteurs d'influence.

La reconfiguration peut également avoir des objectifs fonctionnels : gestion optimale des ressources, des fréquences de transmission des données. De plus, des techniques de tolérance aux anomalies peuvent être incluses. Elles consistent à maintenir les aptitudes du capteur en présence de conditions anormales (erreurs logicielles, composants défectueux). Les performances peuvent alors être dégradées mais, à l'échelle du capteur, les anomalies ne doivent pas conduire à une défaillance. Si l'anomalie est faible, il est possible de la compenser numériquement grâce à des paramètres de calcul (accommodation), de la même façon que pour la correction des erreurs de mesure ; le cas échéant, une modification fonctionnelle du capteur (restructuration), par exemple en exploitant des ressources redondantes, permet de maintenir un état de fonctionnement acceptable.

**La communication entre le capteur et le système de contrôle** ou les interfaces homme-machine est souvent *numérique* afin de transmettre plusieurs types d'information. Elle est également *bidirectionnelle*. Le capteur envoie les résultats de mesure et des informations de diagnostic, et reçoit des commandes et paramètres de fonctionnement du système de contrôle.

## **V - 2 Bénéfices apportés aux capteurs intelligents**

Les principales motivations qui participent au développement des capteurs intelligents sont :

- a) L'amélioration de la qualité des mesures;
- b) La réduction des coûts;
- c) L'exactitude des mesures;
- d) Bénéficie des fonctionnalités de correction des erreurs pour l'amélioration de la fidélité (réduction des erreurs aléatoires);
- e) L'auto-ajustage pour l'amélioration de la justesse (réduction des erreurs systématiques).
- f) L'autodiagnostic : Les informations d'autodiagnostic peuvent aussi participer à ces corrections et la reconfiguration jouer un rôle dans les performances métrologiques;
- g) Numérisation de la mesure dès son origine réduit la détérioration de la qualité du signal au cours du traitement;
- h) Facilités d'utilisation.

### **Le cout d'un capteur intelligent :**

Les coûts directs d'un capteur intelligent sont probablement accentués par les éléments électroniques et les logiciels requis (pour les traitements, les calculs, la communication numérique). Néanmoins, ces coûts sont souvent considérés comme faibles par rapport au câblage, à la mise en service, aux contrôles, aux calibrages et à la maintenance des capteurs. Ces aspects bénéficient quant à eux des fonctionnalités apportées par un capteur intelligent. Notons en particulier l'utilisation des bus de terrain qui permettent de réduire les coûts de câblage.

### **La facilité d'utilisation :**

Les facilités d'utilisation que procurent les capteurs intelligents sont également à mentionner, en particulier grâce à la réduction du câblage, à la centralisation des informations

simplifiée par la communication numérique, à l'auto-ajustage. Les gains de temps qui en découle sont également un facteur non négligeable.

### **V - 3 Utilisations pour la prévention des risques industriels**

Les principaux fabricants de détecteurs/capteurs-transmetteurs pour la prévention des risques industrielles commercialisent des systèmes que l'on peut qualifier d'intelligents. Les premiers de ce type arrivés en Algérie ont été des capteurs de pression différentielle. Aujourd'hui, des capteurs multivariable (MVD) de chez Micro Motion ou Honeywell combinent des mesures de pression statique, pression différentielle, flux volumétrique, et compensent en température interne et externe. Des autodiagnosics avancés, auto-validations des résultats de mesures et certaines reconfigurations sont également disponibles. Des capteurs de température, installés en redondance, sont coordonnés afin d'améliorer les autodiagnosics et de pouvoir se reconfigurer en cas de défaillance d'un des capteurs. Les détecteurs ou capteurs de gaz, notamment ceux par absorption infrarouge, permettent souvent d'effectuer de nombreuses corrections des erreurs de mesure : encrassement des optiques, température (facteur d'influence important dans la mesure de concentration de gaz), conditions climatiques, vieillissement...

De plus, ils disposent de certaines capacités d'auto-ajustage et de nombreuses valeurs d'autodiagnostic sont autocontrôlées. La communication analogique en 4-20 mA, ou étendu à 0-24 mA est encore la plus répandue. Néanmoins la plupart des fabricants intègre maintenant la technologie HART et certains réseaux de terrain s'installent progressivement.