

L'utilisation de capteurs intelligents chez AREVA: enjeux, perspectives et retour d'expériences

Jacques Gagnière¹ et Jean-Reynald Macé²

¹AREVA NP Direction de l'ingénierie, 78182 Saint Quentin en Yvelines

²AREVA BS Direction Recherche Développement et Innovation, 92400 Courbevoie

Abstract. « Smart Sensors » have been acknowledged as a transverse technology by AREVA entities involved in new constructions, revamping and for the extension of plant lifetime. These new technology have been adopted by the other industrial markets especially in countries with a high potential for industrial development such as China. Various benefits are expected: predictive maintenance, remote maintenance, remote adjusting, commissioning. These new technologies increase the cyber security target of a facility and this is taken into account during the works. Today, AREVA partially uses the technical abilities of « smart sensors » in some facilities (Chemical plant, ...). Corporate R&D and Innovation together with the Group entities manage a technological roadmap, named « Smart sensor », in order to appraise the performance, contributions and future normative technological developments... A modular approach has been implemented through validation technological platforms. Two platforms have been implemented, one to appraise the Field Control System and the other to appraise wireless technologies. This project will end with the construction of a showroom for AREVA Clients and with a training program dedicated to AREVA staff. The main results obtained since two years of operation in terms of distributed algorithms at the sensor level will be presented during this conference.

1 Introduction

AREVA fournit à ses clients des solutions de haute technologie pour produire de l'électricité avec moins de CO₂. L'expertise du groupe et son exigence absolue en matière de sûreté, de sécurité, de transparence et d'éthique font de lui un acteur de référence, dont le développement responsable s'inscrit dans une logique de progrès continu.

Numéro un mondial du nucléaire, AREVA propose aux électriciens une offre intégrée unique qui couvre toutes les étapes du cycle du combustible, la conception et la construction de réacteurs nucléaires et les services pour leur exploitation. Le groupe développe par ailleurs ses activités dans les énergies renouvelables – éolien, bioénergie, solaire, stockage d'énergie – pour devenir un leader européen de ce secteur.

Au sein du groupe, les technologies numériques sont reconnues pour l'amélioration de la compétitivité et la performance de notre business. Après s'être beaucoup investi dans les systèmes numériques de contrôle commande, le groupe porte maintenant ces efforts en Recherche et Développement sur les impacts de la transformation digitale et en particulier l'instrumentation et les moyens de communication associés.

2 Contexte

L'instrumentation industrielle a subi depuis la première révolution industrielle des sauts technologique en passant de la technologie mécanique, pneumatique, analogique (transistor) pour arriver maintenant au numérique. Ces grandes périodes technologiques sont présentées figure 1. L'arrivée du microprocesseur au début des années 1980 va dynamiser l'utilisation des technologies numériques et aujourd'hui nous pouvons dire que l'électronique numérique est la technologie dominante aussi bien dans l'instrumentation que les systèmes de contrôle commande.

Le microprocesseur/microcontrôleur a permis la mise en œuvre d'algorithmes plus performants et une plus grande souplesse d'utilisation et d'adaptation.

Cette numérisation, dans un premier temps, va contribuer de manière décisive au concept d'architecture centralisée organisé selon le modèle de la pyramide CIM (Computer Integrated Manufacturing) fondé sur les équipements de DCS (Distributed Control System) ou PLC (Programmable Logic Controller) et l'avènement des bus de terrain.

L'intégration d'électronique digitale au sein du capteur lui-même offre de nouvelles possibilités de traitement, de

a jacques.gagniere@areva.com; jean-reynald.mace@areva.com

décentralisation de l'intelligence et de diagnostics à distance.

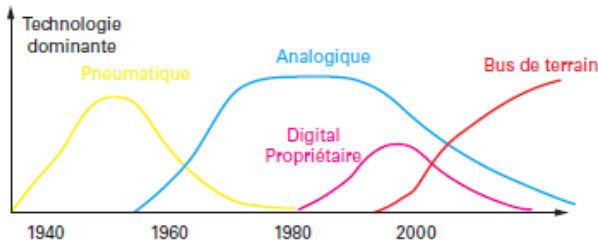


Figure 1. Evolution des moyens d'interconnexion des capteurs (Source Field Bus Fondation).

2.1 La révolution numérique

2.1.1 Capteur intégré

Le capteur intégré peut être considéré comme un système capable d'effectuer la mesure, de réaliser des traitements pour obtenir le résultat de mesure avec contrôle de validité de celui-ci et de convertir ce résultat de mesure en signal numérique. Ce capteur dispose aussi des moyens techniques pour collecter des informations externes provenant d'autres capteurs, ce qui permet d'intégrer des paramètres nécessaires à l'élaboration de l'information recherchée. Ainsi, le capteur ne délivre plus une donnée brute à une unité d'acquisition et de traitement (PLC ou DCS) mais une information dite « intelligente ». Cette information sera délivrée directement à l'ordinateur ou au système de contrôle commande ou à tout autre système de restitution de l'information via le média de communication. Ce capteur intégré est communément appelé *Capteur Intelligent*. La figure 2 ci-après décrit la structure du capteur intelligent.

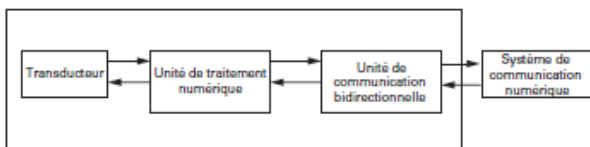


Figure 2. Schéma de principe d'un capteur intelligent.

Par exemple, à partir de deux capteurs de pression montés en réseau sur un réservoir, nous avons développé un algorithme, réparti dans ces deux capteurs, pour élaborer les informations de la densité et du volume de liquide contenu dans ce réservoir. Dans ces conditions le capteur intelligent joue le rôle de « micro-automate ».

Les principales fonctions « Mesure, Configuration, Validation et Communication » implémentées dans un capteur intelligent sont présentées par la figure 3. Ces fonctions vont permettre d'atteindre les objectifs suivants : amélioration de la qualité de la mesure, gestion à distance du capteur, aide à la maintenance et dématérialisation de la documentation (le fait de disposer de renseignements normalisés IEEE 1451 dans l'instrument permet de se passer de documentation papier).

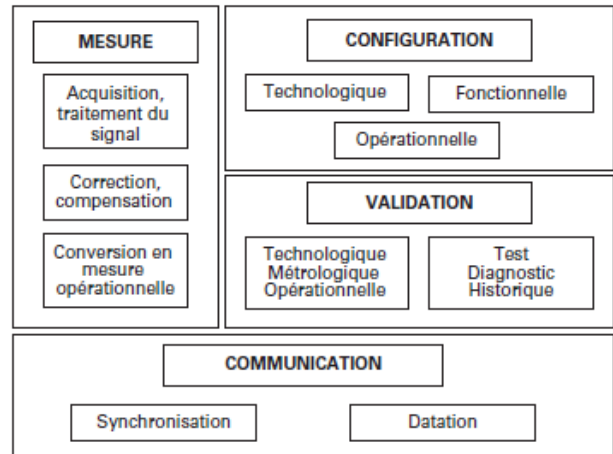


Figure n°3 : Structure fonctionnelle du capteur intelligent

2.1.2 Bus de terrain et protocole de communication

Le pilotage d'un procédé centralisé pyramidal décrit dans le modèle CIM est fondé sur quatre niveaux allant du niveau 0 (capteur/actionneur) nécessitant un transfert performant mais concernant peu d'informations (données binaires) jusqu'au niveau 4 nécessitant de véhiculer un gros volume de donnée avec un besoin de performance moindre. La segmentation de l'automatisme en niveaux est la suivante : capteur/actionneur (Niveau 0), automatisme (Niveau 1), supervision (Niveau 2), informatique (Niveaux 3 et 4) en associant le couple volume/performance.

Les nouvelles technologies de l'information et de la communication convergent sous la pression de standards tels qu'Ethernet, OPC, TCP IP. Les constructeurs de systèmes de Contrôle Commande, au travers d'alliances, ont créés une multitude de réseaux et de bus adaptés au besoin des différents marchés. Il n'existe donc pas de solution unique.

L'acteur clef de cette approche est le bus de terrain. Il est le vecteur de communication numérique industriel utilisé pour l'échange d'information, ascendante ou descendante, entre les capteurs intelligents et des systèmes de contrôle ou d'autres capteurs. Ce bus est constitué à minima d'un média (filaire ou sans fil), de carte électronique pour la gestion et d'un protocole de communication.

Les principaux bus de terrain utilisés avec les capteurs intelligents sont présentés dans le tableau suivant :

Type	PROFIBUS			PROFINET	Field Foundation		Modbus	HART
	Process Automation (PA)	Decentralized Peripherals (DP)			H1	High Speed Ethernet (HSE)		
Application	Industrie de procédé Automatisation d'usine			Industrie de procédé Automatisation d'usine Capteur intelligent	Industrie de procédé Automatisation d'usine		Industrie de procédé Automatisation des bâtiments	Industrie de procédé
Sponsor	PROFIBUS International	PROFIBUS International	PROFIBUS International	Field bus fondation	Field bus fondation			
Standard	IEC 61158	IEEE 1451.2 IEC 61158	IEC 8802 IEC 61158	IEC 61158	IEC 8802 IEC 61158		IEEE 1451.2 IEC 61158	Beit202 4-20mA IEC 61158
Comm	31,25 kbs	9,6 kbs à 12 Mbs	100 Mbs, 1Gbs Ethernet based	31,25 kbs	100 Mbs, 1Gbs		9,6 kbs à 12 Mbs	1,2 kbs à 9,6 kbs
Protocole	Maitre/esclave peer2peer							
Distance maximale	1,9 à 9,5 km	1 512 m	100 m	1,9 à 9,5 km	100 m		1 512 m	2 000 m
Liaison de transmission/ Mécanisme de contrôle	Jeton	Maitre/esclave – plan d'adressage	Jeton	Jeton	Jeton		Maitre/esclave – plan d'adressage	Adressage linéaire
Nombre par segment	Maitre/esclave 32	Maitre/esclave Publieur/sous-capteur 247	Maitre/esclave Illimité	Client/serveur Publieur/sous-capteur Puits/source 32	Client/serveur Publieur/sous-capteur Puits/source Illimité		Maitre/esclave 247	Maitre/esclave

Certains protocoles permettent maintenant le dialogue entre les capteurs et offrent des possibilités nouvelles qui peuvent modifier profondément l'architecture d'un système d'automatisme.

2.2 Etat des lieux

Les principaux fournisseurs d'instrumentation ont fait le choix du passage au numérique car cela leur permet de rationaliser et d'élargir leur offre. Cette transformation permet aux ressources de production qui en dépendent (machines, robots, etc.) de se configurer, contrôler, gérer et s'optimiser eux-mêmes. Les capteurs intelligents sont les éléments de base de l'usine digitale connectée (cf Industrie 4.0) et incontournable pour la mise en œuvre de la maintenance prédictive.

Bien que les capteurs intelligents et les bus de terrain soit disponibles sur le marché depuis une vingtaine d'année, nous constatons, en Europe et en France en particulier, que le déploiement de ces nouvelles technologies n'a pas connu un engouement aussi important qu'à la fin des années 70 avec l'arrivée des systèmes numériques de contrôle commande. En effet, si le passage d'un système de contrôle commande analogique vers un système numérique ne faisait pas évoluer de manière fondamentale l'architecture des systèmes et donc les organisations de travail (en conception comme en exploitation) il n'en est pas de même avec les capteurs intelligents. Le capteur intelligents nécessite de faire évoluer les compétences « d'instrumentiste-électricien » vers « instrumentiste-informaticien » et aussi l'organisation du travail.

Depuis la fin des années 2000, la cyber sécurité est exigence à prendre en compte et là tout est à construire.

3 Les enjeux pour AREVA

Les capteurs intelligents ont été reconnu comme une technologie transverse par les entités d'AREVA dans les activités de nouvelles constructions, de rénovation et d'extension de durée de vie. Ces technologies matures sont adoptées par les autres marchés industriels et surtout dans des pays en fort développement industriel comme la Chine.

Les gains escomptés sont de différentes natures : évolutivité, développement de la maintenance prédictive, télémaintenance, la réduction du délai de d'installation des câbles et de leur raccordement, l'optimisation de la mise en service, à distance, de l'instrumentation. Ces nouvelles technologies augmentent la cible de cyber sécurité d'une installation et cet aspect est pris en compte lors des travaux.

A ce jour AREVA utilise partiellement les capacités techniques des capteurs intelligents sur certaines installations. Par exemple, ces capteurs sont utilisés dans l'aval du cycle (en version filaire avec le protocole Hart) et dans l'amont du cycle (avec bus de terrain sans décentralisation du traitement dans les capteurs).

Fort de ces premières expériences, les entités du groupe souhaitent aller plus loin dans l'utilisation de ces technologies. La Direction de la Recherche, du Développement et de l'Innovation est chargée de piloter une roadmap technologique, appelée « Smart sensor », afin d'évaluer les performances, les apports de ces nouvelles technologies (pilotage des installations, prédiction des pannes, l'évolution des métiers, la formation...) et les futurs développements technologiques, normatifs ...

Pour répondre à cette demande interne, une équipe projet a été constituée en faisant appel à différentes compétences de la société ; ce projet a été nommé ARTELOP (ARéva TEst Loop Plateforme). L'équipe projet a en charge de construire une maquette d'évaluation basée sur une fonction de procédé utilisée dans nos installations, de mettre en place des partenariats avec les fabricants d'instrumentation, et de réaliser les essais spécifiés dans un cahier des charges. Ce projet se terminera par la réalisation d'un showroom pour les clients AREVA et d'une formation pour le personnel AREVA.

4 Retour d'expérience

4.1 Déroulement du projet

Le projet ARTELOP a été organisé en trois phases :

La phase 1 avait pour objectif de retenir la fonction procédé à installer, de former les intervenants à la technologie à déployer, d'établir des partenariats avec les fournisseurs d'instrumentation et de contrôle commande, de mettre en place une petite plateforme pour la prise en main de la technologie et de réaliser les études nécessaires à la construction de la plateforme. Du point de vue architecture, nous avons retenu le Field bus Fondation (FF) car c'est le bus le plus approprié pour évaluer la décentralisation du traitement dans les capteurs (FCS : Field Control System)

La phase 2 a été consacrée, en attendant de disposer de la plateforme dans sa version finale, au développement

d'algorithmes, à leur implémentation dans les capteurs intelligents et à la conduite des essais de validation et d'inter-comparaison avec de la technologie conventionnelle. Pendant cette phase, nous avons aussi réalisé des essais d'interopérabilité des capteurs et de performances du bus de terrain.

La phase 3, en cours de réalisation, nous permettra d'évaluer le niveau de décentralisation du traitement dans les capteurs intelligents, la robustesse de ces technologies et sa résistance aux agressions (cyber sécurité).

Les photos ci-après présentent quelques éléments de la plateforme ARTELOP

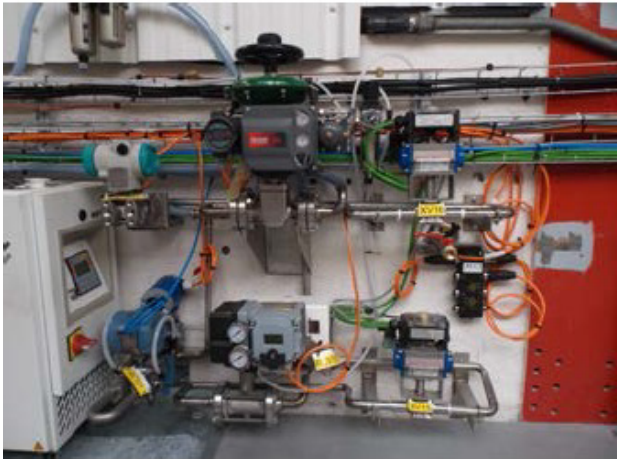


Photo 1 : mélange en ligne équipé d'instrument intelligent (connectés aux câbles orange)



Photo 2 : Une partie des équipements de procédé

4.1 Points positifs

Les travaux que nous avons conduits en phase 1 et 2 de notre projet démontrent que la décentralisation des

traitements est réalisable avec la technologie actuelle ; le capteur intelligent n'est pas un calculateur et ne peut donc réaliser que des fonctions simples.

Pour exemple, voici deux traitements que nous avons décentralisés.

La mesure du niveau d'un liquide contenu dans un réservoir avec prise en compte de la densité réelle en utilisant des transmetteurs de pression. Une des mesures de pression représente la hauteur de liquide dans le réservoir et l'autre mesure est l'image de la densité selon les relations suivantes :

- (1) Mesure de niveau

$$h = P/d$$

avec : P : pression mesurée en mm de colonne d'eau

h : hauteur du liquide en mm

d : densité du liquide nombre sans unité

- (2) Mesure de densité

$$d = P/H$$

Avec :

P : pression mesurée en mm de colonne d'eau

H : distance entre deux piquages en mm

d : densité du liquide nombre sans unité

La mesure du niveau d'interphase entre deux liquides non miscibles à partir de trois transmetteurs de pression. Une des mesures de pression représente la densité de la phase lourde, la deuxième mesure de pression représente la densité de la phase légère et la troisième mesure l'interphase. Ces trois mesures utilisent l'équation (2) ci-dessus.

La détermination du niveau d'interphase (exprimé en %) est obtenue à l'aide de l'équation suivante :

$$Ni(\%) = ((Di - Do) / (Da - Do)) * 100$$

Avec :

Do : densité de la phase organique

Da : densité de la phase aqueuse

Di : densité de la zone d'interphase

Ni : niveau d'interphase en %.

Nous avons pu apprécier la facilité de prise en main moyennant une formation de quelques jours (Environnement de développement basé sur les outils logiciels DCS - pas d'outil spécifique). A la suite de la formation, nous avons travaillé directement avec le « smart technologie » et non le système conventionnel comme prévu au départ ce qui nous a permis de gagner du temps dans le déroulement de notre projet. Cette facilité s'apprécie dans la mise en œuvre d'un capteur via la gestion de la configuration et du diagnostic à distance.

La réduction du volume de câble et du nombre de cartes de traitement/acquisition est acquise et, compte tenu de notre expérience sur la réalisation d'installations industrielles récentes en plus de cette plateforme, nous estimons à 4 ce facteur de réduction.

Du point de vue interopérabilité, nous n'avons pas eu de difficulté majeure sauf parfois à disposer des bons

« drivers ». Par contre la décentralisation du traitement a montré que les capacités mise à disposition ne sont pas les mêmes d'un fabricant à l'autre.

L'outil de configuration et de diagnostics (AMS d'Emerson) s'avère efficace malgré une certaine lenteur.

Les positionneurs numériques pour les vannes de régulation sont dotés d'importantes fonctionnalités telles que suivi de l'évolution de la courbe de réponse, contrôle de la fermeture, perte d'alimentation en air, évaluation du débit passant dans la vanne, détection de cavitation.

La normalisation proposée par NAMUR (Standard NE107) a permis une amélioration significative dans l'homogénéisation des informations d'alerte et d'alarme. (Voir exemple de pictogramme figure 4)













NE107	Farben	oder	Formen	oder	Farben + Formen
Wartungsbedarf: (Maintenance required)		oder		oder	
Außerhalb der Spezifikation: (Out of specification)		oder		oder	
Funktionskontrolle: (Check function)		oder		oder	
Ausfall: (Failure)		oder		oder	

Figure 4 : Pictogrammes diagnostic selon NE107

4.2 Améliorations et challenges

Au stade actuel de nos travaux nous avons détecté un certain nombre d'amélioration et de challenge à relever pour lever certaines résistances au changement et l'intégration de nouvelles technologies.

Chaque fabricant a conservé sa définition et son mode d'emploi de l'instrument intelligent alors que l'utilisateur final souhaiterait plus d'homogénéité. Voici quelques pistes d'amélioration :

- Informations mise à disposition : nature, présentation, description.
- Mécanismes de gestion et de configuration : certain capteurs sont entièrement accessible et configurable à distance alors que d'autre nécessitent des actions sur le capteur.
- Capacités de traitement : le nombre de blocs fonctions disponibles dans un capteur change d'un fabricant à l'autre.
- Bloc fonction ouvert, programmable ou adaptable par l'utilisateur final.

Les évolutions de norme et de standard en cours devraient rendre plus facile l'utilisation de ces technologies.

En 2014, il a été acté de faire converger Hart et Field bus Fondation.

Le groupe de travail TC 65/SC 65E/WG 7 de l'IEC élaborant la norme IEC 62769 Field Device Integration (FDI) devrait permettre d'harmoniser l'EDDL et le

FDT/DTM et ainsi d'accroître l'interopérabilité, la migration et la réutilisation des solutions existantes.