

# E - N E R - G I E

**L'ère des capteurs intelligents, autonomes, décentralisés, communicants... arrive. Reste à régler quelques points fondamentaux comme le déterminisme des informations, l'auto-alimentation en énergie... mais déjà les projets abondent, de ceux qui seront dans vos ateliers à ceux qui s'auto-ensemencent, petit résumé d'une journée organisée par le Club Automation sur le sujet.**

Pour sa journée sur le thème « *Le capteur a-t-il réellement évolué depuis 5 ans ?* », le Club Automation a apporté une réponse, ce fut Oui. Le maître mot de la journée fut indirectement « énergie ». Ce mot est revenu des dizaines de fois. La décentralisation du contrôle/commande avec en parallèle le transfert de compétences au niveau des capteurs, donne à ces derniers des obligations de résultats. Le capteur se retrouve avec un florilège de travail supplémentaire à accomplir, et donc il doit garantir son autonomie. Les capteurs seront, demain, disséminés un peu partout, ils seront autonomes et aptes à s'auto-alimenter. Une révolution.

## CAPTAUCOM ET LES CAPTEURS AUTONOMES

Et ce n'est pas François Guers de Thésame qui a contredit cette vérité. Chef de projet du programme Captaucom, il a disséqué le capteur autonome communicant de demain.

Ce projet Captaucom, planifié sur 4 ans, en est déjà à ses 2

ans et demi de travail. A l'origine, on trouve trois entreprises différentes à la recherche d'innovation mêlant mécanique, électronique et communication radio. Aucune d'entre elles ne maîtrisant l'ensemble des compétences, elles ont décidé de s'unir pour unifier leurs recherches. Aidés par le Ministère de l'Industrie et le Conseil Régional, voilà près de trois ans que les travaux avancent, et que le budget d'environ 6 millions d'euros est entamé.

Les trois industriels sont SNR, Somfy et Téfal. Le premier souhaitait développer de ramener encore plus de valeur ajoutée dans les roulements, et notamment ajouter des éléments de détection permettant d'actionner un arrêt d'urgence en cas de problème grave, notamment sur du matériel roulant. Le deuxième souhaitait amener de l'intelligence dans ses volets roulants en y intégrant des capteurs qui seraient totalement autonomes. Et enfin pour le troisième c'est la volonté d'apporter à ses pèse-personnes une autonomie en énergie et de suivre un certain nombre d'informations.

Trois demandes qu'il fallait unifier, mais pour lesquelles il fallait également associer des spécialistes comme le CEA Leti ou le CSEM.

Dans un premier temps, un schéma de principe commun à tous fut élaboré, une sorte de tronc commun qui, pour François Guers, « *n'a pas été facile à faire, il a réclamé beaucoup d'itérations avant d'y parvenir* ». Ressemblant à une sorte de lego formé de cinq éléments fondamentaux, on trouve une brique Emission radio, son contenu pouvant varier en fonction des applications comme nous le verrons également, une brique Traitement des données, une brique pour la Réception des informations, et deux briques dédiées Energie, l'une pour la Gestion et le stockage, et l'autre pour la Récupération.

Cinq briques de base liées entre elles, et dont chacune est interdépendante des autres, choisir une méthode de communication grande consommatrice d'énergie va impliquer un dimensionnement plus important de la partie récupération d'énergie...

Pour la mise en œuvre du projet, ont été mis en parallèle les listes des laboratoires travaillant dans chacune des briques, et en face les Industriels/intégrateurs qui validaient le concept et la faisabilité.

Dans ce tronc commun, les différentes technologies ont été mises à plat, avec pour chaque protagoniste des solutions différentes. Par exemple dans le cas de SNR, le capteur proche du roulement devait indiquer des informations de type mesures, vibrations ou températures... et pouvoir s'implanter sur des véhicules existants, et donc avec l'impossibilité de les alimenter en énergie, aucun câble ne pouvant être rajouté. C'est ainsi que pour fournir l'énergie nécessaire au capteur les technologies de thermoélectricité ou d'électromagnétisme sont dans les starting blocks, une énergie récupérée lorsque le roulement tourne.

Des laboratoires, comme le Liten, s'intéressent à la batterie qui stockera l'énergie et le CSEM planche sur la communication, pour l'instant le protocole devrait être customisé afin de réduire au maximum, la taille des informations transmises. De même pour l'antenne qui aura la charge de transmettre l'information au contrôleur embarqué, elle devra être robuste et apte à envoyer les informations même dans un environnement fortement perturbé.

Protocol layers and features	ZigBee 2007	WirelessHART	ISA 100.11a
Network routing strategy	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mixed mechanism composed of AODV and tree routing</li> <li>No energy aware routing strategy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Graph routing (link state routing)</li> <li>No energy aware routing strategy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Graph routing (link state routing)</li> <li>No energy aware routing strategy</li> </ul>
Network topology	Tree, Star, Mesh	Star, Mesh	Star, Mesh
Network scalability	Up to 65536 nodes per network group and up to 65536 network groups (16-bit node address and 16-bit group address) or 64-bit extended network address	<ul style="list-style-type: none"> <li>16-bit network Id (in 3 classes: Permanent, Temporary, Manufacturing)</li> <li>16-bit "nickname" and 64-bit IEEE EUI address</li> </ul>	128-bit network layer address assigned by the system manager. These 128-bit addresses are hierarchical, with the upper 64 bits identifying a network and the lower 64 bits identifying a device
MAC layer	IEEE 802.15.4-2003 with a slow frequency hopping scheme using CSMA-CA without GTS (initiated by the PAN coordinator)	IEEE 802.15.4-2006 with TDMA + Channel hopping or Token-passing method	IEEE 802.15.4-2006 with an extension plan for frequency hopping and slotted hopping
PHY layer	<ul style="list-style-type: none"> <li>IEEE 802.15.4-2003 with 16.7MHz, 915MHz or 2.4GHz radio</li> <li>ERP = 10mW (10dBm)</li> <li>Outdoor: up to 200 meters (10dBm)</li> <li>Indoor: up to 75 meters (10dBm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>IEEE 802.15.4-2006 with 2.4GHz (DSSS) radio only</li> <li>ERP = 10mW (10dBm)</li> <li>Outdoor: up to 200 meters (10dBm)</li> <li>Indoor: up to 75 meters (10dBm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>IEEE 802.15.4-2006 with 2.4GHz (DSSS) radio only</li> <li>ERP = 10mW (10dBm)</li> <li>Outdoor: up to 200 meters (10dBm)</li> <li>Indoor: up to 75 meters (10dBm)</li> </ul>

### Caractéristiques des couches protocolaires ZigBee, WirelessHART et ISA 100.11a.

Pour Somfy, la récupération de l'énergie devrait être fondée sur des principes bien différents, le solaire reste une piste en plus de la possibilité d'utiliser le mouvement du volet, lors de son action pour récupérer de l'énergie, afin de la stocker. La volonté reste de n'avoir aucune intervention à faire pendant une durée d'au moins 5 à 8 ans sur le capteur. Les tests sont actuellement fondés sur un principe de deux montée/baisse du volet quotidien, une écoute toutes les 2 secondes et 1.000 réveils intempestifs.

Pour Téfal, les laboratoires sont partis sur plusieurs concepts pour récupérer de l'énergie afin d'alimenter un pèse-personne, parmi eux on trouve l'étirement de polymère en utilisant l'énergie provoquée par la pose du pied sur le pèse-personne. Concrètement, la solution devrait s'orienter vers quatre capteurs (deux par pied) qui enverraient les informations vers le contrôleur central. Dans les premiers tests, le temps d'activité des capteurs pour effectuer un cycle correct était d'environ 12 secondes, il a fallu le réduire

à 5 secondes pour ne pas dépasser la récupération d'énergie disponible.

Il reste encore près de deux ans, avant que le projet soit totalement finalisé avec un début d'intégration des éléments pour la fin de cette année. Restera également à valider les notions de coût. A l'inverse, le premier résultat positif est la possibilité de mettre ensemble des entre-

prises diverses autour d'un projet commun de mécatronique afin de développer des produits concrets.

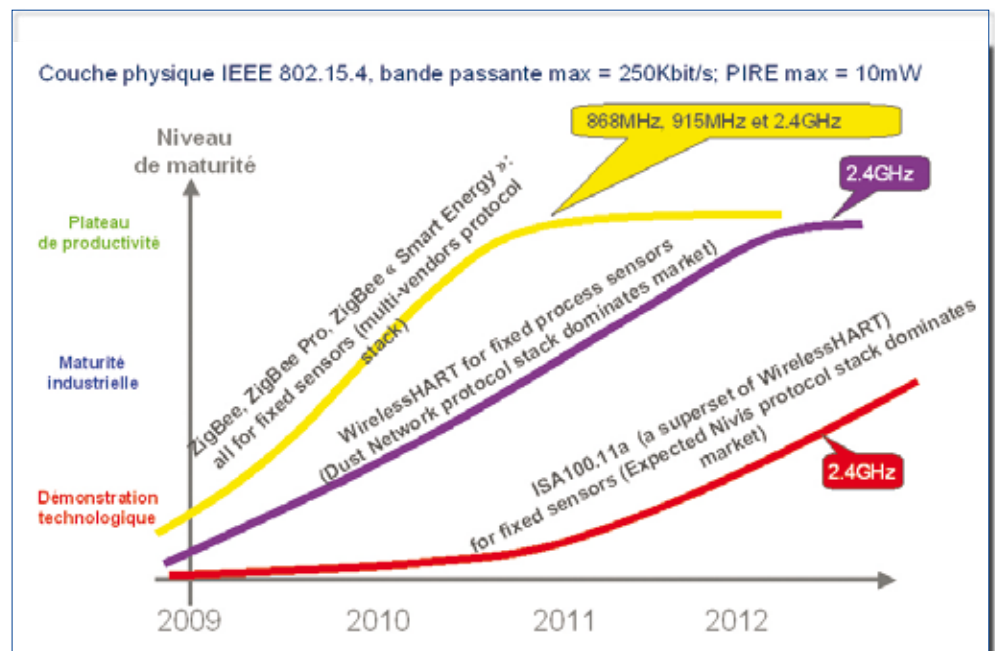
## PROJET OCARI

Démarré en 2007 avec l'Agence Nationale de la Recherche, le projet Ocari approche de sa fin. Son objectif était de trouver le moyen de surveiller des machines avec la récupération

d'informations en cas d'écart entre les paramètres réels et le nominal. Un enjeu pour Tuan Dang, Ingénieur chercheur à Edf, pour tous les industriels travaillant dans les procédés continus.

Parmi les contraintes du projet, essais et vérifications de matériels devaient pouvoir se faire avec des éléments mobiles et flexibles, c'est-à-dire sans câblage lourd.

Une notion de flexibilité sur le terrain, souvent difficile voire impossible, les systèmes existants ne permettant pas toujours de rajouter l'instrumentation supplémentaire. Il fallait obtenir des capteurs plus intelligents embarquant le traitement et certains diagnostics, un choix qui permet de diminuer les problèmes d'interfaçage mais dans le même temps augmente les problèmes de transmission d'informations de synthèse. En tenant compte de l'impossibilité d'implanter des systèmes d'instrumentation autonomes dont on ne saurait pas garantir la remontée des informations.



Standards sans fil pour capteur.

Le premier travail de ce projet Ocari a consisté à faire l'état des lieux des technologies sans fil existantes, il ne fallut pas longtemps pour comprendre que c'était la jungle, des centaines de développements pratiquement tous incompatibles entre eux. Pour chaque besoin, il existe une solution plus ou moins adaptée. Heureusement, le spectre RF étant une ressource précieuse en environnement industriel (compatibilité électromagnétique, interférences, propagation parfois difficile...) il aura permis, dans un premier temps, de dégager quelques tendances comme, pour la couche physique, la norme 802.15.4.

Parmi les possibilités offertes, on trouve la future ISA100.11a dont on attend les spécifications ou de WirelessHart, mais également ZigBee. C'est ce dernier qui est sorti du lot, notamment en raison de sa faible consommation d'énergie, un choix déjà utilisé pour le télélevé à distance.

Pour Tuan Dang, l'un des avantages de Zigbee est son déploiement relativement simple avec un point d'entrée unique au réseau : le coordinateur qui permet de mieux distribuer l'information, « les autres solutions ont une approche assez forte de centralisation de l'information, Zigbee répond mieux aux demandes d'informations distribuées ». De plus Zigbee intègre une couche protocolaire au-dessus de l'IEEE 802.15.4 pour garantir la compatibilité entre les fournisseurs, ce qui n'est pas le cas des autres solutions. Un autre critère reste l'occupation de plus en plus grande de la bande ISM de 2,4 GHz, une bande sensible aux interférences, or aucune trame ne doit être perdue.

L'objectif de l'EDF étant de déployer sur ses centrales des capteurs qui vont bouger et changer de place. Une problématique qui se retrouvait également à la DCNS ou chez Telit, ce qui a poussé ces industriels à se regrouper autour du projet Ocari pour définir une orientation des solutions et une base technologique de développement.

Et les contraintes ne manquent pas, qu'il s'agisse de la comptabilité électromagnétique avec les équipements de contrôle existants, du déploiement des équipements sans-fil en nombre, mais se sont également invitées les notions de temps contraint et de consommation énergétique, la méthode d'accès déterministe au médium étant une condition nécessaire pour satisfaire les applications/messages à temps contraint.

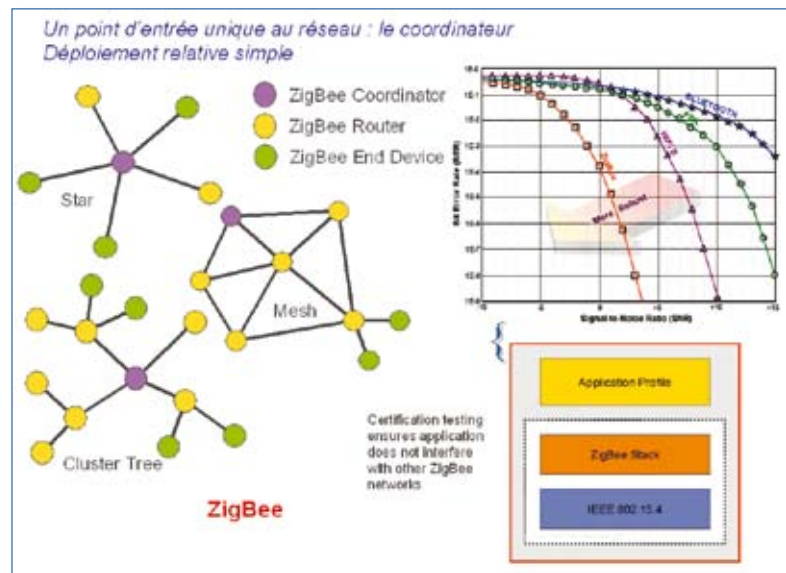
C'est ainsi qu'avec le concours de plusieurs laboratoires, le standard Zigbee a été amélioré en développant des spécifications complémentaires, en dehors d'une méthode d'accès déterministe au médium, elle devait supporter un routage ad hoc optimisé pour la durée de vie du réseau pendant les périodes de communication « temps non contraints », la gestion de l'énergie et de la mobilité des nœuds complétant les travaux.

Beaucoup de travail, et Tuan Dang de préciser que les travaux qui vont permettre de s'interfacer avec la majorité des capteurs du marché ne seront pas gardés en interne mais le standard développé sera ouvert à tous.

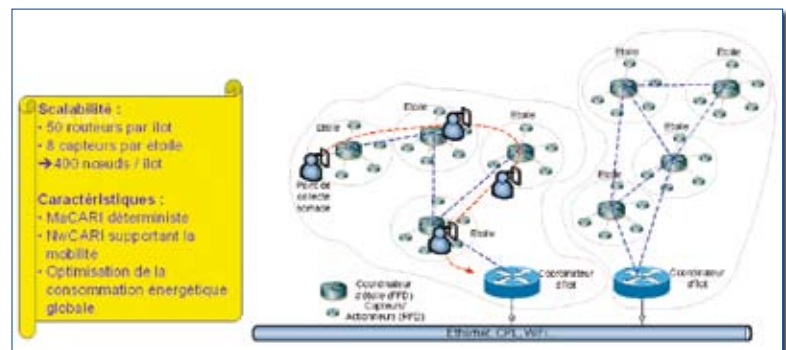
Avant de diffuser les informations, il reste à valider industriellement tous ces principes,

c'est ainsi qu'une architecture type est mise en place. Elle intègre 50 routeurs par îlots, 8 capteurs par étoile et 400 nœuds par îlot.

Pour le déploiement futur, un middleware d'intégration est également en développement il permettra de masquer la complexité des applications



Architecture réseau ZigBee.



Architectures des réseaux de capteurs sans fil Ocari.

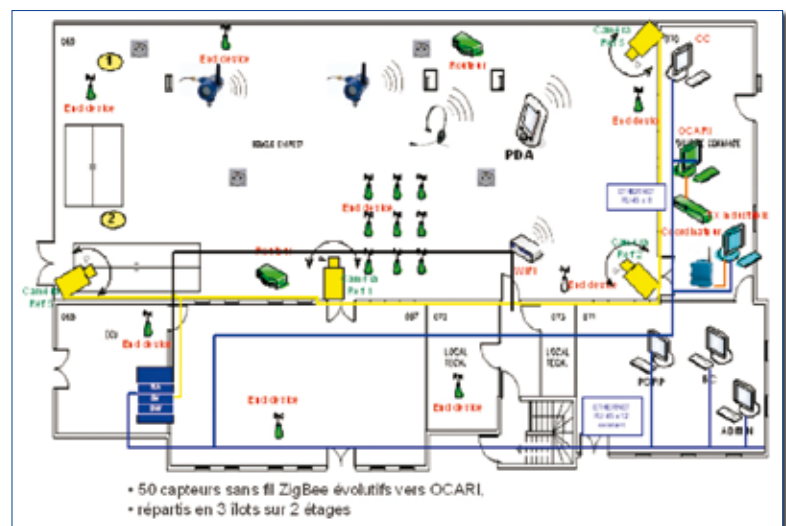
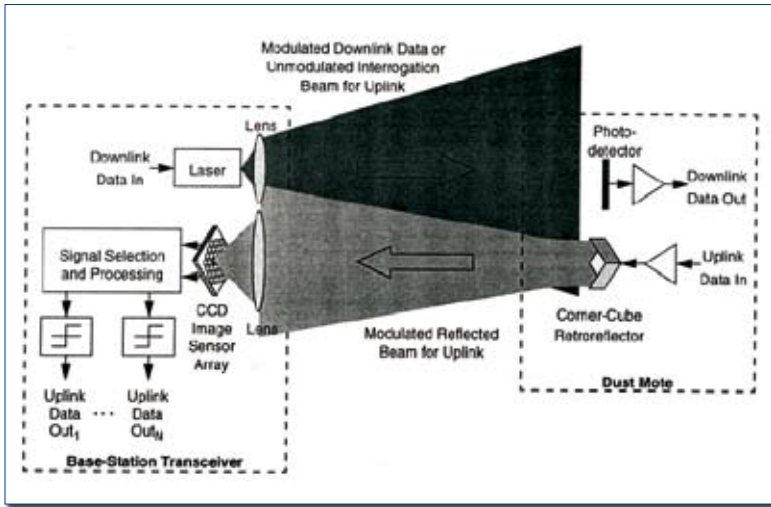
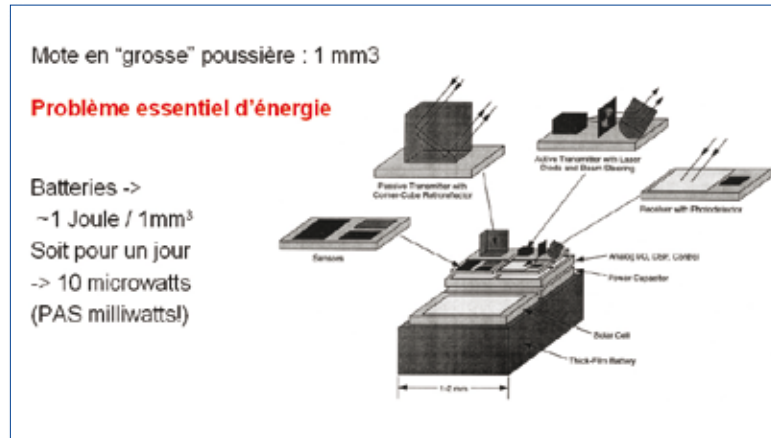


Plate-forme de test sur le site EDF R&D à Chatou (Yvelines).



Solution à basse consommation.



Sensor Networks.

et autorisera la supervision de l'ensemble. La mobilité des équipements perturbant la quasi-totalité des superviseurs actuels. Dans le cas d'Ocari, l'opérateur aura bien une représentation du capteur mais sans savoir sa situation géographique à l'instant *t*. Si cette notion de mobilité est importante, c'est qu'EDF souhaite intégrer dans les instruments mobiles des dosimètres personnels qui seront transportés par des opérateurs, d'où la difficulté d'intégrer ces informations dans un superviseur. « Dans beaucoup de Scada du marché, il faut pré-configurer les capteurs, et lorsqu'il faut ajouter un capteur, l'application doit être arrêtée et reconfigurée ».

Les centrales ne sont pas les seules intéressées par tels systèmes, EDF songe à implanter des centaines de capteurs autonomes pour surveiller ses ouvrages hydrauliques, ils transmettraient les informations uniquement en cas de problèmes. De même, la DCNS envisage d'intégrer jusqu'à 400 paramètres par compartiment et jusqu'à 4 points de mesure par mètre carré pour mesurer les vibrations, pressions, températures... de ses navires.

## L'ÈRE DES « MOTES »

Avec sa présentation, Francis Lepage, professeur à l'université Henri Poincaré de Nancy, a projeté l'assistance quelques années plus loin. Pour lui, un

réseau de capteurs autonome comporte non pas quelques dizaines, voire centaines de capteurs, mais bel et bien des milliers ou des millions. Ce réseau composé de nœuds autonomes identiques de très petites tailles a d'ailleurs un nom : « small nodes » ou « motes ».

Chaque nœud possède une fonction de capteur (lumière, température...), un processeur de traitement, une liaison radio et parfois un actionneur. Chaque nœud possède une fonction de communication (émission et réception) incluant une fonction de routage.

Certes les applications ne sont pas uniquement industrielles ou logistique, elles concernent la surveillance des feux de forêt ou les inondations, la pollution ou les infrastructures, les militaires sont également intéressés par ces développements.

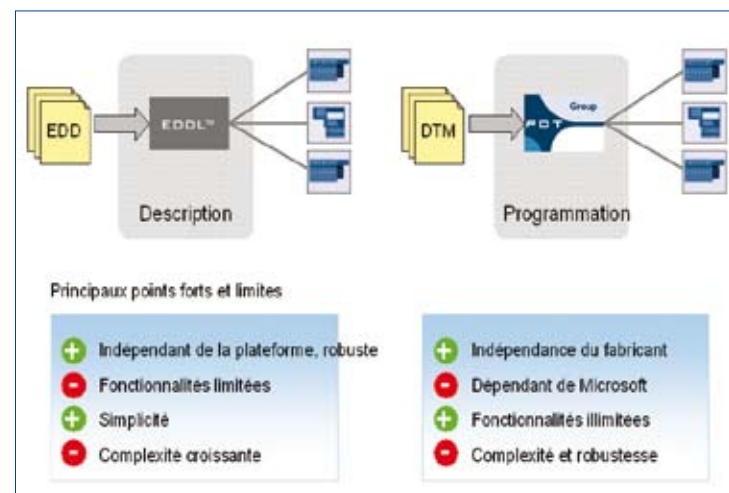
Par rapport au capteur sans fil classique, si l'on retrouve une similarité avec l'absence de câbles et l'autonomie énergétique, parmi les différences on notera la capacité de routage permettant une suppression totale des infrastructures et, par voie de conséquence, une réorganisa-

tion automatique des liens de communication en fonction des événements.

Ces premiers capteurs mote sont déjà sur le marché. Actuellement, ils prennent une place d'environ 3x3 centimètres avec un processeur de 4 Mhz, des capteurs de lumière ou de température, un système de communication pour des distances de quelques dizaines de mètres avec une consommation de 5mA en activité, et de quelques microampères à l'état dormant, tout en étant capable de se réveiller sur un événement venant du capteur ou de la liaison radio.

La diminution des surfaces envisagée est telle que l'on parle de « grosse poussière » avec des motes de 1 mm<sup>3</sup> et donc des problèmes d'énergie à résoudre pour de si faible surface, car « la limitation ne vient pas de la capacité des calculs mais bel et bien de l'énergie ». Du coup des méthodes de communication basées sur des couplages optiques et non plus magnétiques comme le RFID sont à l'étude.

Premier frein, le coût de production qui ne devra pas dépasser l'euro par unité, normal lors-



FDT et EDDL en bref.

que l'on talonne le million de capteurs pour une application. Avec de telles quantités, il reste la capacité à la « contrôler », alors qu'aujourd'hui personne ne sait encore comment simuler de telles implantations, avec des redéploiements de topologie, des pertes de nœud et un re-ensemencement des notes.

C'est ainsi que quelques plates-formes expérimentales sont en phase de tests comme le projet Recap du CNRS, avec des travaux de thèse comme le réseau de capteurs d'images qui doit permettre de développer les procédures de transmission assurant un compromis entre qualité des images reçues et l'énergie consommée pour les transmettre de bout en bout. Autre sujet, lors d'une explosion ou d'un événement majeur, il faut trouver le moyen d'empêcher que des milliers de notes envoient la même information, de quoi congestionner le plus costaud des réseaux. Les systèmes devront s'auto-organiser, en analysant les contenus des messages reçus et en ne transmettant que ceux utiles. Il reste du pain sur la planche.

## PEUT-ÊTRE FDI, UN JOUR

Lors d'une de ses précédentes journées, le Club Automation avait fait le point sur les deux technologies permettant l'accès aux données et aux applications des dispositifs de terrain : FDT et EDDL. En dehors du fait qu'il fut montré que chacun avait ses avantages et inconvénients, c'est l'annonce d'une unification de ces deux technologies qui avait prévalu. Le tout sous le nom de Field Device Integration (FDI).

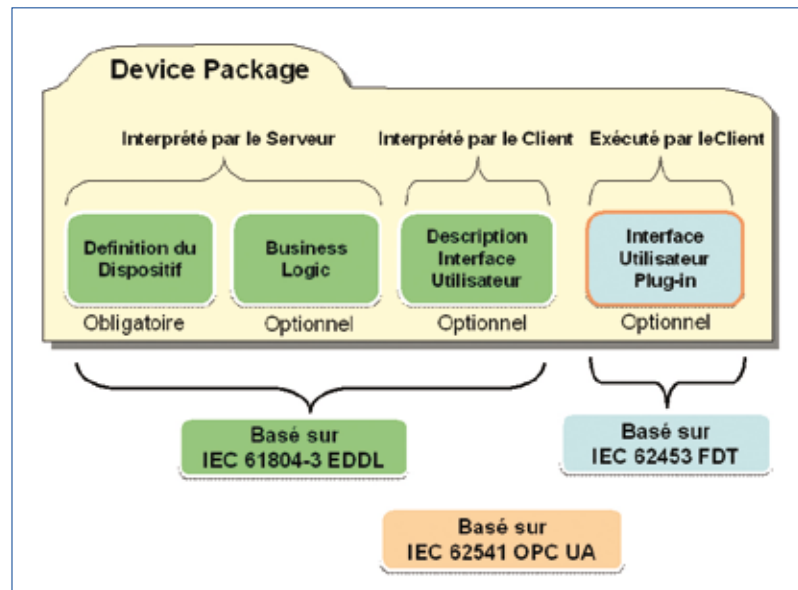
Avec FDT et EDDL, il est question de spécifications de l'interface de communication entre

les instruments et dispositifs de terrain d'une part et les systèmes de contrôle-commande, de configuration et de maintenance de l'autre. Il ne s'agit donc pas d'un protocole, une différence importante aux yeux de Favio Tolfo, le Managing Director du FDT Group.

Dans le cas de FDT c'est une technique de programmation qui a été privilégiée à l'origine. A l'inverse, EDDL a employé une technologie basée sur le texte structuré avec la description de l'instrument. Du coup, dans le premier cas, la solution est indépendante du fabricant de matériel, mais dépendante de Microsoft, les fonctionnalités sont illimitées mais la complexité est au rendez-vous. Dans le second, la plate-forme est indépendante avec des fonctionnalités limitées qu'il faut rentrer ligne par ligne. Bref, vouloir fédérer les deux au sein du projet FDI n'était pas chose facile, surtout qu'il fallait prendre les avantages de chacune des technologies, tout en garantissant une compatibilité avec l'antécédent.

Le besoin est là, mais comment faire pratiquement ? De plus, face à la technologie, les utilisateurs suivent des procédures de travail qui ne sont pas toujours adaptées et, le plus souvent, les modèles mis en place sont sous-utilisés. La culture de l'entreprise va plus lentement que les technologies proposées.

Ce constat est valable pour FDI. La technologie est pratiquement finie. En décembre 2009, les spécifications seront finalisées et validées. Mais il reste le plus problématique, l'intégration de FDI dans les offres des fournisseurs, c'est d'eux que va dépendre le succès de FDI. Certains restent sceptiques, la vingtaine



Structure du device package pour FDI.

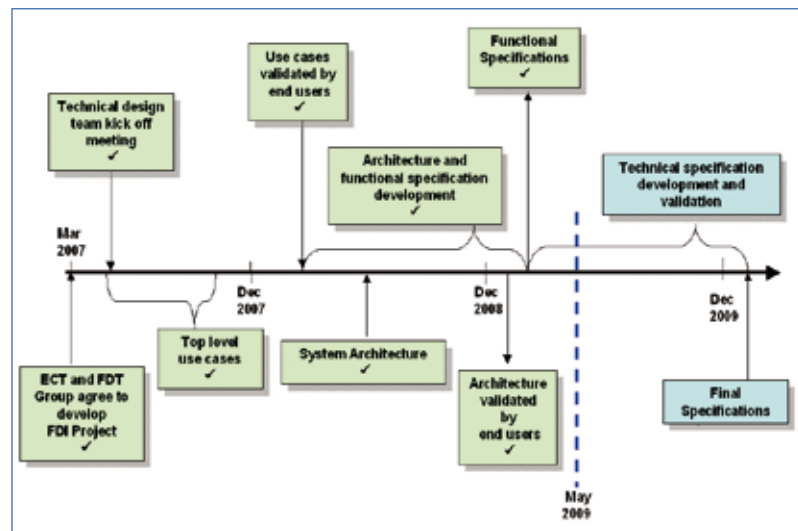
de normes sur les bus de communication ont bien montré que le standard universel n'était pas forcément d'actualité.

Les optimistes noteront que pratiquement tous les offreurs développent aujourd'hui vers les deux technologies et qu'une unification leurs simplifierait la tâche. Seulement certains proposent déjà sur le marché leurs propres solutions d'unification...

Pour FDI la réponse est stratégique, la politique a pris le pas

sur la technologie et sur l'envisie des utilisateurs d'avoir une standardisation. Une partie de la réponse reste entre les mains de ces derniers, mais sont-ils suffisamment unis ?

Et pendant ce temps-là, tout le monde continue de travailler, c'est ainsi que FDT prépare la deuxième version, qui devrait être annoncée courant 2010, qui passera de com/dcom de Microsoft à .net de Microsoft. Cette version FDI 2.0 sera, bien entendu, compatible avec FDI.



Où en sommes-nous ?