



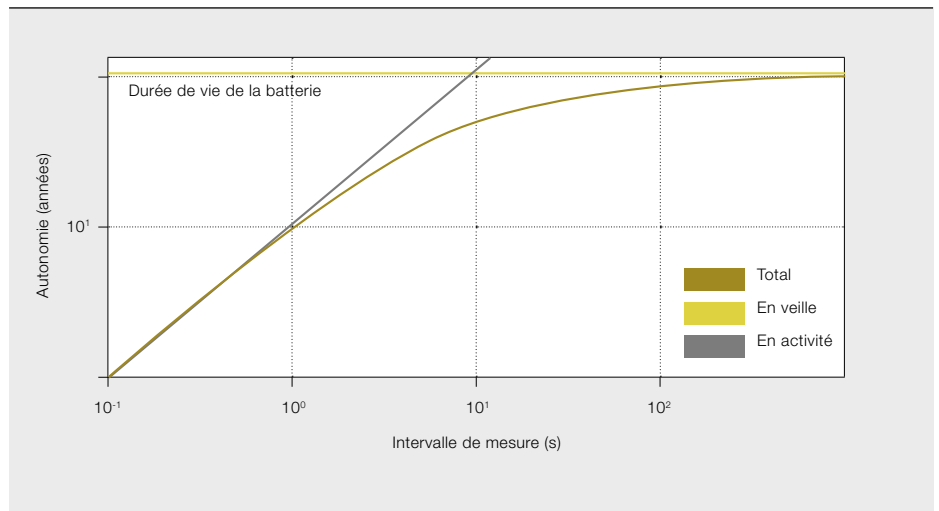
Moisson énergétique

ou l'art de glaner l'énergie ambiante
pour bâtir une usine totalement autonome

PHILIPP NENNINGER, MARCO ULRICH – Pour répondre aux besoins croissants de fiabilité et de réduction des temps improductifs, les industriels doivent en savoir plus sur l'état de santé de leurs actifs. Certes, les capteurs sont leur principale source d'informations mais les multiplier oblige à tirer toujours plus de câbles électriques et donc à accroître les coûts d'installation. À l'inverse, s'en affranchir aurait l'avantage de réduire ces frais et la complexité du procédé tout entier. La consommation d'un grand nombre de

capteurs industriels étant modique, le recours aux batteries est une solution toute trouvée. Reste que leur remplacement régulier menace de réduire à néant les économies procurées par l'instrumentation sans fil! Autre possibilité: récupérer l'énergie dissipée dans la nature par les mouvements, le vent et la lumière, et la stocker pour alimenter des produits électroniques à faible consommation. Cette énergie étant disponible en abondance dans l'industrie des procédés, c'est là que notre « moisson énergétique » trace son sillon.

1 Rapport entre l'autonomie et l'intervalle de mesure d'un capteur de température idéal



Le sans-fil a beaucoup contribué au progrès technologique de ces 15 dernières années et s'est peu à peu imposé dans le *process*, notamment pour surveiller les actifs de production.

Les usines de transformation ayant en général une durée d'exploitation d'une vingtaine d'années, il faut impérativement maximiser leur retour sur investissement durant cette période et les exploiter à leur optimum. Dans la mesure où un site n'est opérationnel que si tous ses équipements fonctionnent correctement, la fiabilité est primordiale. On y parvient en surveillant ces actifs afin d'anticiper leurs éventuels dysfonctionnements et d'en éliminer les causes. Mais pour cela, il faut obtenir davantage d'informations des capteurs. Ces données peuvent provenir soit des capteurs en place, capables de fournir les mesures requises (comme les transmetteurs de pression différentielle d'ABB utilisés pour détecter les obstructions de ligne d'impulsion), soit de capteurs supplémentaires montés en d'autres points du *process*. Dans ce dernier cas, il faut minimiser le coût d'installation de ces équipements pour maximiser les bénéfices tirés de leur emploi. Quand on sait que le câblage et l'installation peuvent représenter près de 90 % du coût total

du dispositif, on mesure l'intérêt financier et technologique de l'instrumentation sans fil.

Technologie sans fil

Les solutions sans fil se sont invitées dans l'industrie des procédés dès les années 1960. Pourtant, elles se sont cantonnées à des applications spécifiques avec des produits « métier » comme le débitmètre électronique pour la gestion d'eau potable *AquaMaster* d'ABB et les totalisateurs de débit de l'industrie pétrogazière, dont le système d'automatisation et de télémessure *Total-flow* d'ABB.

À l'instar des bus de terrain, le déploiement des protocoles sans fil passe par un référentiel mondial ralliant tous les constructeurs. C'est le cas de Wireless-HART, premier standard international de communication sans fil industrielle au niveau des instruments de terrain.

La fiabilité des transmissions est l'une des priorités de l'automatisation des procédés. Le réseau maillé répond à cette exigence : il assure un premier niveau de redondance des connexions entre deux nœuds de capteurs en faisant passer l'information par d'autres chemins pour arriver à destination. Ce maillage augmente la tolérance aux

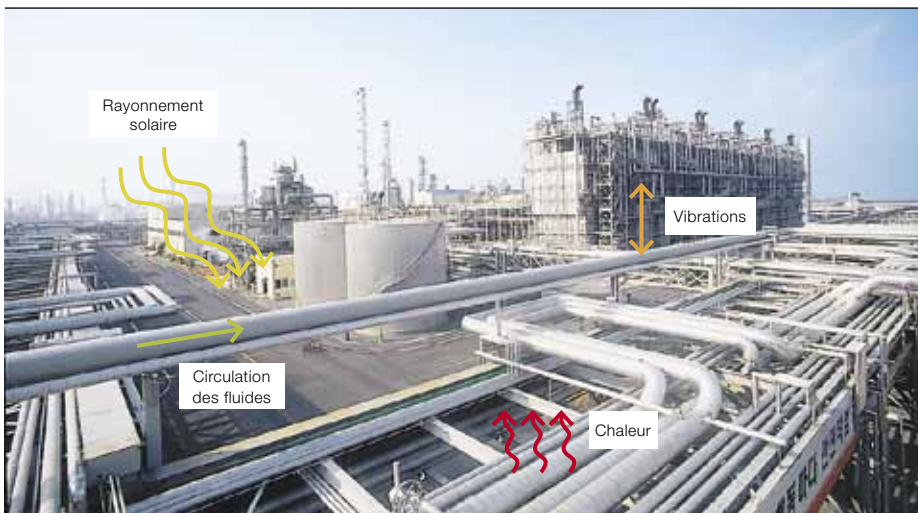
erreurs de transmission et permet à un réseau bien conçu de pallier les défaillances d'une liaison et d'un dispositif de routage. De plus, la redondance spatiale fiabilise la communication, même dans la bande de fréquences ISM (industrielle, scientifique et médicale), souvent encombrée. Rançon de l'architecture maillée, le réacheminement des messages de même que la contrainte de sécurité en continu gonflent le budget énergétique qu'il faut alors optimiser en réduisant la consommation des capteurs.

Consommer moins pour mesurer plus

Au chapitre de la consommation électrique, il existe de grandes différences entre équipements filaires et sans fil. Prenons l'exemple du transmetteur de température industriel « câblé » TTH300 d'ABB pour illustrer ce point. Alimenté par la boucle de courant 4–20 mA, le TTH300 mesure notamment la résistance d'une sonde Pt100 4 fils (et donc

Quand on sait que le câblage et l'installation peuvent représenter près de 90 % du coût total d'un capteur, on comprend l'intérêt financier et technologique de l'instrumentation sans fil.

la température à l'extrémité du capteur) à de très courts intervalles (toutes les 100 ms, par exemple, selon le type et la



configuration de l'instrument). Comme la BC 4–20 mA fournit en permanence jusqu'à 40 mW, l'appareil est limité par cette puissance, alors que sa consommation est insignifiante.

De son côté, un capteur sans fil n'a pas besoin de mesurer la température plusieurs fois par seconde car la plupart des réseaux de capteurs de process ne gère pas de boucles de régulation rapides avec de si courts intervalles de rafraîchissement. Entre les mesures, le transmetteur se contente de relayer les messages jusqu'aux autres nœuds. Le reste du temps, l'électronique peut basculer en mode faible consommation; dispensée de tout calcul ou mesure, elle n'utilise qu'une partie de la puissance débitée.

Dans ce mode, on peut estimer la consommation de l'appareil en tenant compte de la puissance utilisée en modes actif et faible consommation, et du cycle de fonctionnement de l'appareil. Pour le capteur de température de notre exemple, ce cycle est à peu près corrélé à la fréquence de scrutation. Abstraction faite de l'autodécharge de la batterie, on obtient une estimation grossière de l'autonomie d'un appareil (idéal) → 1 alimenté par batterie.

Opportunité énergétique

Remplacer les batteries à intervalles réguliers n'est donc pas la panacée; selon la configuration du site, cela risque même de réduire à néant les économies du sans-fil. La récupération de l'énergie dissipée dans notre environnement peut remédier à cet inconvénient pour créer

des équipements complètement autonomes. Le principe? Transformer en électricité l'énergie engendrée par l'activité et le milieu environnant → 2 pour alimenter des appareils sans fil. Cette énergie est puisée d'une multitude de sources comme les variations de température (procédés chauds et froids), le rayonnement solaire, les vibrations, la circulation des fluides ou les pièces en mouvement (énergie cinétique). Trois modes de conversion sont privilégiés: photovoltaïque, thermoélectrique et cinétique.

Photovoltaïque

Si le photovoltaïque a fait aujourd'hui la preuve de sa robustesse, son utilisation en intérieur est plutôt limitée. L'ensoleillement en extérieur approche certes 1 000 W/m² mais retombe en intérieur aux alentours de 1 W/m² [1]: une bien maigre « récolte » d'énergie!

Thermoélectricité

Les générateurs thermoélectriques utilisent des matériaux qui, soumis à un gradient thermique (différence de température entre procédés chauds ou froids et milieu ambiant), produisent une force électromotrice: c'est l'effet Seebeck¹ [2]. Malgré de faibles rendements de conversion (le plus souvent inférieurs à 1%), la technique a l'avantage d'être robuste et stable. De plus, l'industrie est souvent une grande dissipatrice de chaleur, notamment dans le process. L'énergie fournie par des thermogénérateurs du commerce suffit donc à maintenir en activité un grand nombre de nœuds de capteurs sans fil, dans différents contextes.



La récupération d'énergie convertit l'énergie du milieu industriel en électricité.

Note

¹ Du nom du physicien allemand, Thomas Johann Seebeck, qui découvrit en 1821 qu'une différence de température entre deux métaux différents soudés ensemble produit un courant électrique.

4 Malgré sa petite taille (8 mm² seulement), ce microgénérateur thermoélectrique peut fournir des tensions de sortie élevées.



Source : Micropelt GmbH

Conversion cinétique

La conversion directe d'énergie mécanique (vibratoire, par exemple) en électricité obéit à différents principes :

- Les convertisseurs électromagnétiques utilisent une bobine souple qui se déplace dans le champ magnétique statique d'un petit aimant permanent, générant une tension (loi de Faraday).
- La piézoélectricité fait appel aux propriétés des matériaux piézoélectriques : le déplacement d'une masse étalon en suspension exerce une contrainte mécanique sur le matériau piézoélectrique et crée un signal électrique.
- Les transducteurs électrostatiques s'appuient sur un condensateur polarisé variable : l'application de forces mécaniques empêche l'attraction des plaques de charges opposées du condensateur, induisant une variation de capacité et un courant électrique dans le circuit fermé.

En résumé, tous les principes de conversion cinétique sont basés sur un résonateur mécanique qui fait que ces systèmes ne peuvent débiter une puissance raisonnable que si la fréquence de résonance du dispositif de récupération d'énergie correspond à la fréquence d'excitation externe. L'utilisation de variateurs de fréquence dans le procédé limite la mise en œuvre de systèmes récupérateurs d'énergie vibratoire.

Constitution et architecture

La récupération d'énergie peut être un processus discontinu : dans le cas des applications photovoltaïques extérieures, par exemple, l'intermittence jour-nuit

rend cette ressource énergétique instable ; dans l'usine, les arrêts de production peuvent entraîner des écarts de température du process jouant sur la quantité d'énergie fournie par les générateurs thermoélectriques ; enfin, nous l'avons vu, les variateurs de fréquence restreignent l'intérêt de la récupération d'énergie vibratoire. En contrepartie, il peut y avoir des moments où ces systèmes délivrent plus d'énergie que nécessaire.

Le profil de consommation électrique des nœuds de capteurs sans fil est lui

ABB a développé un transmetteur de température 100 % autonome sur le principe d'une récupération d'énergie totalement intégrée.

aussi fluctuant : le cycle de fonctionnement et la vitesse de rafraîchissement variables du capteur peuvent occasionner des pointes de charge qui doivent être mises en tampon pour pallier l'incapacité de ces systèmes à supporter de forts courants de courte durée. Chaque dispositif récupérateur d'énergie a besoin d'un stockage intermédiaire permettant de suppléer les intermittences de la fourniture électrique au nœud de capteur, à savoir :

5 Simulations numériques thermiques



Distribution de la température du procédé : 80 °C (rouge)
Température ambiante : 25 °C (bleu)

- des supercondensateurs ou des condensateurs à couches hybrides spéciaux, qui tolèrent de forts courants de crête ;
- des cellules secondaires rechargeables ;
- des cellules primaires traditionnelles qui, à défaut de stocker le surplus d'énergie du système récupérateur, peuvent prendre ponctuellement le relais de l'alimentation des capteurs ;
- des cellules primaires industrielles classiques dont la grande longévité et la faible autodécharge font une solution de substitution très fiable.

Les cellules secondaires classiques au lithium-ion souffrent d'un nombre limité de cycles de décharge/charge.

La récupération d'énergie doit s'accompagner d'une gestion de l'énergie idoine pour garantir une alimentation 100 % autonome. Deux objectifs sont visés :

- Adapter les caractéristiques de tension et de courant de sortie du système récupérateur aux exigences d'entrée du consommateur électrique ;
- Basculer en douceur du stockage tampon aux différentes sources récupératrices d'énergie.

Transmetteur de température autonome d'ABB

La recherche ABB a développé un transmetteur de température totalement autonome → 3 sur le principe d'une récupération d'énergie entièrement intégrée. Le dispositif embarque des générateurs thermoélectriques qui, sans modifier la manipulation, la stabilité et l'encombrement du capteur, accroissent considéra-



blement sa longévité et sa fonctionnalité. Il intègre également une solution de stockage tampon intelligent dans les cas où la température du procédé est insuffisante pour produire l'énergie requise.

Les dimensions hors tout du composant ne permettaient pas de loger des thermo-

tionné à une distance suffisante pour autoriser des applications où les canalisations du procédé sont revêtues d'une bonne épaisseur d'isolant.

Un écart de température minimal d'environ 30 K entre procédé et air ambiant suffit pour produire assez d'énergie et

alimenter l'électronique de mesure et de transmission sans fil. Des gradients thermiques supérieurs à 30 K fournissent plus d'énergie que nécessaire, ce surplus de puissance pouvant être mis à profit, par exemple, pour augmen-

En devenant totalement autonomes, les équipements industriels nous permettront de mieux comprendre et piloter la production pour une rentabilité accrue.

générateurs classiques à l'échelle macroscopique (environ 10 à 20 cm²). ABB innova avec des « microgénérateurs » thermoélectriques réalisés par un procédé de fabrication sur tranches [4] → 4. Toute la difficulté d'intégrer ces deux dispositifs résida dans le maintien de la stabilité et de la robustesse du transmetteur.

Le plus souvent, la température du procédé est plus élevée que celle de l'air ambiant : le côté chaud des thermogénérateurs doit donc être couplé au procédé avec une conductivité thermique optimale. On procéda à des simulations numériques poussées pour maximiser le transfert de chaleur dans les générateurs → 5. Par contre, il faut refroidir leur côté froid en le couplant à l'air ambiant avec un radiateur ; ce dernier doit être posi-

tionner le rythme de lecture des données.

Perspectives d'avenir

Le transmetteur de température ABB alimenté par récupération de l'énergie ambiante lève le handicap majeur des nœuds de capteurs sans fil, à savoir le remplacement régulier des cellules primaires, et permet d'en réduire le coût global de possession. Si la récupération d'énergie ne convient pas à tous les capteurs ni à toutes les applications, c'est néanmoins une source d'énergie viable pour un large éventail d'appareils. En fonctionnant ainsi de manière totalement autonome, ces derniers nous permettront de mieux comprendre et piloter les procédés industriels pour en accroître la rentabilité.

Philipp Nenninger

Marco Ulrich

ABB Corporate Research

Ladenburg (Allemagne)

philipp.nenninger@de.abb.com

marco.ulrich@de.abb.com

Bibliographie

- [1] Müller, M., Wienold, J., Reindl, L. M., « Characterization of indoor photovoltaic devices and light », *IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, p. 738–743, 2009.
- [2] Vining, C. B., « Semiconductors are cool », *Nature*, 413 (6856), p. 577–578, 11 octobre 2001.
- [3] Nenninger, P., Ulrich, M., Kaul, H., « On the Energy Problem of Wireless Applications in Industrial Automation », *Proceedings of the IFAC Symposium on Telematics Applications*, p. 218–224, 2010.
- [4] Nurnus, J., « Thermoelectric Thin-film Power Generators – Self-sustaining power supply for smart systems », *Proceedings of Smart Sensors, Actuators and MEMS IV*, Vol. 7362-05, Dresde, 2009.