ABB
revue
3|11
Actualités technologiques
du Groupe ABB

L'onduleur solaire se domestique 13
Transfert d'énergie par pompage : montée en puissance 26
Architecture logicielle : faites le bon choix 41
L'intelligence artificielle protège l'environnement 58

Technologies au sommet

Power and productivity
for a better world™
ABB

Notre photo de couverture a été prise dans le silo de stockage de minerai d'une centrale au charbon « propre ». ABB est un grand fournisseur de matériels électriques et d'automatismes permettant d'accroître l'efficacité énergétique et la productivité de ce type de site.

Son riche portefeuille de produits est également à l'ouvrage au terminal de gaz naturel liquéfié du Norvégien Statoil, sur l'île de Melkoya, en mer de Barents.

Sommaire

Efficacité

7 **Sobriété énergétique**
1re partie : industrie et efficacité énergétique

13 **Le soleil au zénith**
Nouvel onduleur *string* ABB pour systèmes photovoltaïques

Puissance

19 **Des lignes haute tension sous bonne garde**
La nouvelle génération de téléprotections NSD570 d'ABB

26 **Réserve d'énergie**
Commande en vitesse variable des stations de transfert d'énergie par pompage

32 **Intelligence collective**
ABB met l'intelligence au service des distributeurs et consommateurs d'électricité.

Productivité

41 **Bâtir pour durer**
Des architectures qui valorisent et protègent durablement vos investissements logiciels.

51 **Intégrer pour optimiser**
L'intégration des opérations garantit la sécurité et la rentabilité des champs pétroliers et gaziers.

58 **Émissions sous surveillance**
Un contrôle prédictif « intelligent » pour réduire l'impact environnemental des industries de transformation.

64 **Le bon tuyau de la boucle 4-20 mA**
L'adaptateur FieldKey d'ABB trace la voie du sans-fil WirelessHART basse consommation.

Édito

Revue de technologies

Claes Rytoft
Directeur des technologies
ABB Ltd.

Chers lecteurs,

L'offre fournie de produits et systèmes ABB ne cesse de croître en se diversifiant : des tout petits interrupteurs aux plates-formes de contrôle-commande et installations électriques d'envergure, elle s'étend aujourd'hui à l'ingénierie des systèmes, au diagnostic, au service et à l'assistance technique. Prolongement éditorial de nos activités de Recherche et Développement, la *Revue ABB* rend compte des réalisations et innovations de toutes les divisions du Groupe. Ce numéro met à l'honneur les progrès accomplis au service d'applications variées.

Prenons la filière photovoltaïque, qui a beaucoup évolué ces dernières années. Bénéficiant de la conjonction de subventions massives et de politiques tarifaires avantageuses, d'engouement pour l'écologie et de baisse des prix, les panneaux solaires séduisent de plus en plus les clients résidentiels. Le petit photovoltaïque offre un encombrement réduit et de faibles puissances, mais il a ses impératifs : son utilisateur n'est pas technicien et son interface se doit d'être intuitive. C'est chose faite avec notre nouvel onduleur *string* !

La *Revue ABB* a déjà abordé les réseaux électriques « intelligents » et leur capacité à s'adapter aux nouvelles exigences du transport et de la distribution. Dans ce numéro, nous nous intéressons à l'enjeu prioritaire du stockage pour franchir les pics de consommation. Seule technologie d'envergure à l'œuvre : les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP), auxquelles nos solutions de pilotage en vitesse variable ouvrent de nouvelles perspectives, comme à Avče, à l'ouest de la Slovénie.

Nous verrons aussi comment les technologies mises en œuvre dans ces réseaux du futur peuvent également s'appliquer en aval, au niveau de la distribution. Le projet d'écoquartier *Stockholm Royal Seaport* est l'une des premières illustrations des atouts du matériel basse tension « intelligent » pour accroître la fiabilité de la fourniture électrique.

Nous rebondirons sur cet aménagement urbain pour évoquer l'architecture logicielle, discipline souvent assimilée à l'urbanisme, et les méthodes et outils ABB favorisant la durabilité et la maintenabilité des systèmes industriels. Ces deux critères gagneront en importance avec la richesse fonctionnelle et la sophistication croissante des logiciels embarqués dans nos produits.

Dans ce même domaine, un système de surveillance fait appel à l'intelligence artificielle pour prédire les émissions polluantes et réduire leur empreinte écologique. Une avancée qui profite à l'un des plus grands complexes gaziers au monde.

En communication industrielle, la tendance est à la simplification et à la réduction du câblage. Lorsque capteurs et actionneurs investissent en masse le carreau de l'usine, le câblage devient source d'erreurs et de surcoûts. Les transmissions sans fil sont bien déployées dans le *process* mais ABB en repousse les limites avec son adaptateur WirelessHART auto-alimenté FieldKey.

Bienvenue dans les coulisses de l'édifice technologique ABB !

Bonne lecture,

Claes Rytoft
Directeur des technologies
ABB Ltd.

ABB

Sobriété énergétique

1re partie : industrie et efficacité énergétique

CHRISTOPHER WATTS – Après des siècles d'abondance énergétique, notre monde entre dans une ère de restrictions. Les pouvoirs publics, les entreprises et la société doivent résoudre des équations complexes, notamment la contradiction entre la hausse du niveau de vie des régions en développement, par la poursuite de leur industrialisation, et la baisse de l'empreinte écologique des activités manufacturières dans le monde. Dans ce contexte, améliorer l'efficacité énergétique des équipements et procédés de production est une des solutions envisageables.

En janvier et février 2011, l'institut de recherche *The Economist Intelligence Unit* (EIU) a mené une enquête auprès de 348 hauts responsables industriels, principalement en Amérique du Nord, en Asie-Pacifique et en Europe occidentale. Le but était de connaître leurs projets d'investissement en vue d'améliorer l'efficacité énergétique de leurs procédés de production, les questions que soulèvent ces investissements et les facteurs susceptibles de peser sur la performance énergétique de l'industrie au cours des prochaines années. La *Revue ABB* publie dans ce numéro le premier de trois articles qui analysent les résultats de cette enquête et les réponses à plusieurs entretiens approfondis, complétés par un travail de recherche documentaire sur l'efficacité énergétique dans l'industrie. En outre, l'étude s'appuie sur une analyse distincte et complète des usages énergétiques mondiaux de sept secteurs industriels gros consommateurs d'énergie, réalisée par l'agence de veille économique et technologique en énergies Enerdata.

Plus des deux tiers des personnes interrogées sont des cadres dirigeants assumant des responsabilités dans différents domaines : stratégie et développement, finance, direction générale, exploitation et production. Environ 58 % sont issus d'entreprises réalisant un chiffre d'affaires annuel de 500 millions de dollars ou plus,

Photo ci-contre
L'usine de dessalement et d'épuration d'eau de mer de Palmachim, très énergivore, est équipée d'entraînements à haut rendement ABB. Le numéro 4/2011 de la *Revue ABB* traitera en grande partie des solutions ABB pour la filière eau.

1 82 % des dirigeants d'entreprises manufacturières énergivores sont d'avis que l'efficacité énergétique est un facteur clé de rentabilité. Cette cimenterie du groupe Qassim Cement Company améliore son bilan énergétique grâce aux matériels électriques, entraînements et automatismes ABB.

Dans bien des secteurs industriels, le bilan énergétique est loin d'être optimal et le potentiel d'amélioration immense.

au niveau mondial. L'enquête portait exclusivement sur l'industrie manufacturière et le secteur de l'énergie, avec une majorité de représentants de la première.

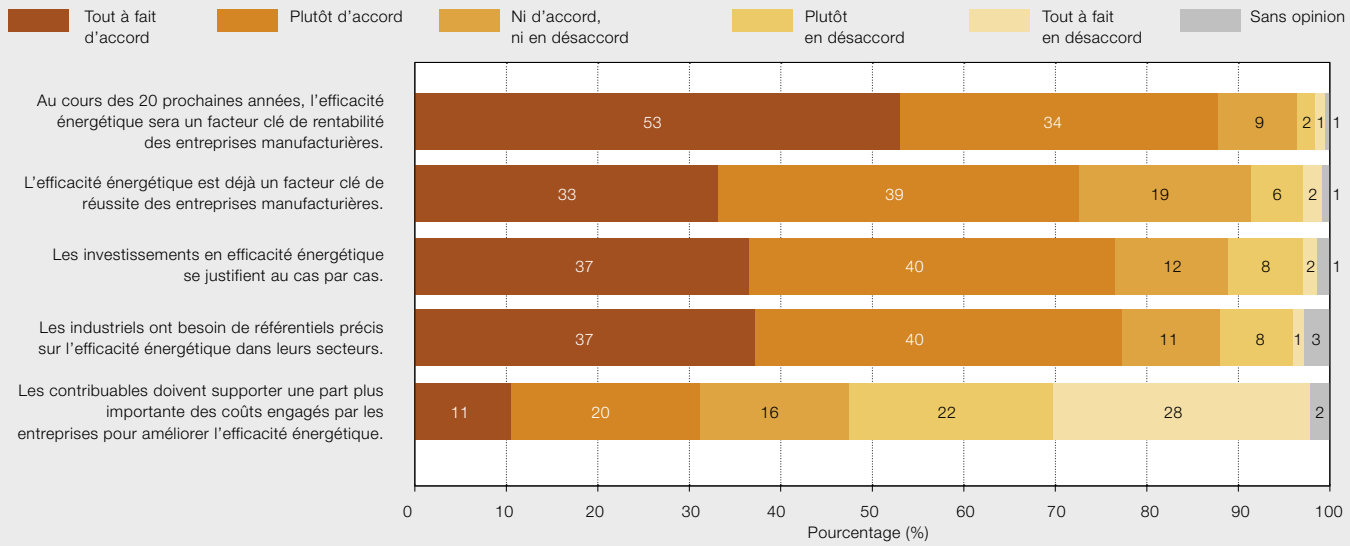
En plus de l'enquête en ligne, l'EIU a réalisé 15 entretiens approfondis avec des cadres dirigeants, des responsables politiques et des experts en efficacité énergétique dans l'industrie. Leurs points de vue sont repris dans les trois articles.

L'industrie mondiale absorbe environ un tiers de l'énergie finale, dont près de 60 % dans les pays en voie de développement. L'usage industriel de cette énergie progressera du fait de la demande en produits manufacturés, une tendance qui devrait se poursuivre au cours des prochaines décennies avec la hausse du niveau de vie dans les pays émergents. Dans le même temps, de nombreux secteurs industriels à travers le monde recèlent d'énormes gisements d'économies d'énergie.

Dans ce contexte, le futur énergétique des entreprises sera fait de restrictions avec l'obligation supplémentaire de réduire leurs émissions de dioxyde de carbone. Améliorer l'efficacité énergétique de l'outil industriel n'est plus une possibilité, mais une condition préalable à leur développement financier. Les industriels qui ne se préoccuperont pas de performance énergétique verront probablement leurs résultats financiers en pâtir sur le long terme, alors que ceux qui amélioreront en permanence leur bilan énergétique ont toutes les chances de doubler leurs concurrents.

Globalement, 88 % des industriels affirment que l'efficacité énergétique sera pour eux un facteur de réussite déterminant au cours des vingt prochaines années. Les enjeux sont largement économiques, surtout pour les secteurs manufacturiers à haut contenu énergétique. Les investissements consentis en efficacité énergétique doivent avant tout se traduire par un gain financier. Dans bon nombre de secteurs, le bilan énergétique des sites industriels est loin d'être optimal et le potentiel d'amélioration est énorme. À la fois pour les responsables financiers et opérationnels, le prix de l'énergie est, pour 59 % des interrogés, l'un des critères majeurs qui justifient leur décision d'investir.

2 Perception des besoins en efficacité énergétique du secteur industriel (résultats de l'enquête, 348 personnes interrogées)



«*Dans nos usines indiennes, la part de l'énergie dans les coûts directs de transformation des matières premières en produits finis tourne autour de 50 à 55 %*», souligne Satish Agarwal, directeur général industriel du fabricant de pneus Apollo Tyres, situé à Gurgaon dans le nord de l'Inde. C'est une des raisons pour lesquelles, ces trois dernières années ou presque, l'entreprise a investi quelque 12 millions de dollars pour améliorer la performance énergétique de ses sites, notamment en installant des échangeurs thermiques pour ses chaudières, des systèmes de vaporisation éclair pour récupérer et utiliser la chaleur des procédés, et des matériaux isolants pour réduire les pertes thermiques. Ces derniers investissements s'inscrivent dans une démarche continue qui a permis, à ce jour, de réduire de 40 % l'intensité énergétique de l'entreprise.

Dans un environnement de concurrence intense, de renchérissement de l'énergie et de pression réglementaire, M. Agarwal n'est pas le seul à mesurer l'importance de l'efficacité énergétique dans la réussite d'une entreprise industrielle. En effet, parmi les responsables de sites manufacturiers qui ont répondu à l'enquête, 72 % sont «*tout à fait d'accord*» ou «*plutôt d'accord*» avec le fait que l'efficacité énergétique constitue aujourd'hui un facteur de réussite décisif pour le secteur. À l'horizon des vingt prochaines années, 88 % des personnes interrogées pensent que l'efficacité énergétique sera un facteur clé de rentabilité de leur entreprise.

La différence entre les taux de réponse s'explique par la diversité des entreprises sondées. Par exemple, 82 % des cadres dirigeants des entreprises grosses consommatrices d'énergie (sidérurgie, chimie et pétrochimie, ciment, papier et aluminium) affirment que l'efficacité énergétique industrielle est un facteur clé de leur rentabilité actuelle ➔ 1 (contre 67 % pour les activités moins énergivores). Cette prise de conscience plus marquée du rôle de l'efficacité énergétique est spécifique aux secteurs à fort contenu énergétique ; elle est probablement due à la part élevée des coûts énergétiques dans les dépenses globales, à la volatilité et la hausse récentes des prix de l'énergie, et aux marges bénéficiaires relativement étroites ➔ 2.

> L'industrie mondiale absorbe environ un tiers de l'énergie finale, dont près de 60 % dans les pays en voie de développement.

En termes de répartition géographique, les industriels des pays émergents sont plus enclins à considérer l'efficacité énergétique comme un facteur clé de réussite (82 %) que ceux des pays développés (67 %). «*Les ressources limitées en énergie expliquent en partie ce point de vue*», note Pradeep Monga, directeur du Service de l'énergie et du changement climatique de l'Organisation des Nations Unies pour le Développement industriel (ONUDI). En effet, les résultats de l'enquête semblent confirmer que les économies qui consomment le plus d'énergie sont plus ouvertes à l'efficacité énergétique ➔ 3, 4.

Pourquoi l'amélioration de l'efficacité énergétique est-elle déterminante pour la rentabilité à long terme ? D'abord parce qu'elle permet de valoriser les formidables potentiels d'économie. Doug May, vice-président du Service de l'énergie et du changement climatique du chimiste américain Dow Chemical, explique que les efforts de son entreprise en matière d'efficacité énergétique depuis 1994 ont permis d'économiser au total quelque 9,4 milliards de dollars. «*L'efficacité énergétique est un investissement qui ne cesse de rapporter*», dit-il.

Avantages collatéraux

Pour autant, la réduction des coûts n'est qu'un argument parmi d'autres ! En fait, au-delà des économies réalisées par une entreprise comme Dow Chemical, l'amélioration de l'efficacité énergétique des activités industrielles offre d'autres avantages qui conditionnent la performance financière sur le long terme. Ainsi, en

Les champions industriels passent au crible la performance énergétique de leurs procédés.

3 Évolution de la consommation énergétique dans le monde

Ces dernières décennies, la structure économique des pays développés a progressivement évolué d'une production industrielle vers des activités de services. De nos jours, le secteur des services dans la plupart de ces pays pèse nettement plus lourd que le secteur manufacturier et croît également plus rapidement. Bien évidemment, les services consomment beaucoup moins d'énergie par point de croissance économique que le manufacturier. L'intensité énergétique des économies développées tend donc à baisser.

Aujourd'hui, l'industrie des pays en développement absorbe la majeure partie de l'énergie disponible pour plusieurs raisons. Tout d'abord, leurs économies agricoles ont récemment basculé vers la production industrielle. Ensuite, leur développement économique a accru la demande en infrastructures et bâtiments, nécessitant de grandes quantités de ciment, d'acier et autres matériaux à fort contenu énergétique. Enfin, ces pays regroupent près de 80 % de la population mondiale.

Ces tendances de base se reflètent dans les chiffres de la croissance économique et de la demande d'énergie industrielle de l'Agence internationale de l'Énergie (AIE) ci-dessous et en → 4.

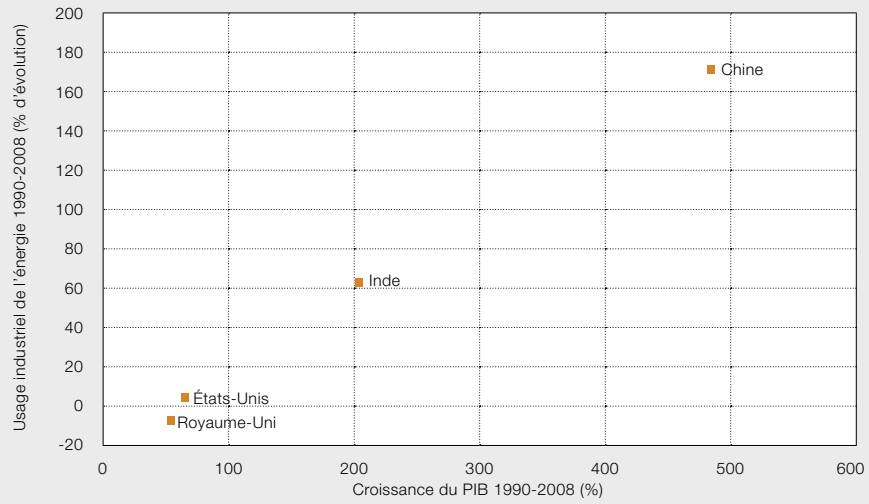
	Croissance PIB 1990–2008 (%)	Usage industriel de l'énergie 1990–2008 (%)
Royaume-Uni	54	-7
États-Unis	66	4
Inde	205	63
Chine	485	172

consommant moins, les industriels peuvent supporter des prix énergétiques relativement plus élevés sans trop souffrir, un atout concurrentiel évident. « *[Améliorer] son bilan énergétique est une des meilleures mesures de gestion des risques qu'une entreprise manufacturière peut adopter dans le contexte actuel du marché* », affirme Neal Elliott, directeur adjoint pour la Recherche à l'ACEEE (*American Council for an Energy-Efficient Economy*). Luis Farías, vice-président du Service de l'énergie et du changement climatique du cimentier mexicain CEMEX confirme : « *Dans le ciment, l'énergie constitue un gros poste de dépenses. L'efficacité énergétique nous confère donc une plus grande visibilité sur nos résultats et nos flux de trésorerie* ». Parmi les avantages supplémentaires, citons la disponibilité accrue des équipements et l'allongement des intervalles de maintenance, les gains de productivité et de qualité, la conformité aux obligations en matière de construction, d'environnement, de santé et de sécurité des employés, les bénéfices pour la recherche et l'innovation. Tous ces avantages « collatéraux » sont loin d'être négligeables car, comme le précise M. Elliott, « *en moyenne, les économies indirectes s'élèvent à trois à cinq fois la valeur des économies d'énergie directes* ».

Quand bien même les industriels sont sensibles à la contribution importante des mesures d'efficacité énergétique à leur rentabilité à long terme, les procédés de production relativement peu efficaces sur le plan énergétique semblent demeurer la norme dans nombre de secteurs. Parfois, ce sont les modes opératoires qui sont inefficaces, l'exemple le plus flagrant venant des moteurs électriques qui tournent inutilement en continu. Dans d'autres cas, ce sont les équipements eux-mêmes qui sont peu économes en énergie. Terry McCallion, directeur du Service de l'efficacité énergétique et du changement climatique à la Banque européenne de Reconstruction et de Développement (BERD) à Londres, l'explique en termes simples : « *Dans certains domaines industriels, les pompes et les moteurs ne semblent pouvoir fonctionner qu'en tout-ou-rien !* ». Les experts estiment que près des deux tiers de l'électricité industrielle dans le monde sont consommés par les moteurs électriques. Pourtant, une étude du cabinet Frost & Sullivan révèle qu'en 2009, seuls 13 % des moteurs industriels en Europe étaient équipés de variateurs de vitesse moyenne tension, alors même que ces derniers réduisent la consommation énergétique des moteurs de 40 à 60 % en adaptant leur vitesse aux besoins réels de chaque application.

Rien de surprenant, dans ces conditions, que l'industrie recèle de tels gisements d'économies d'énergie. Selon une analyse de l'ONUDI, les gains énergétiques potentiels dans les procédés de fabrication pourraient atteindre 50 % de la consommation actuelle dans certains secteurs industriels → 5. L'un dans l'autre,

4 La consommation d'énergie industrielle croît plus fortement dans les économies émergentes que dans les pays développés.



Source : Agence internationale de l'Énergie (AIE)

la réalisation de ces potentiels déboucherait sur des économies annuelles estimées de 230 à 260 milliards de dollars soit, pour l'ONUDI, une baisse des coûts globaux de production de l'ordre de 3 à 4 %.

Gains financiers

Face à ces gains potentiels, vous ne serez pas étonnés d'apprendre que, pour la majorité des cadres dirigeants interrogés, la rentabilité d'un projet d'efficacité énergétique doit avant toute chose être démontrée. En règle générale, ils mesurent cette rentabilité à l'aune du temps de retour sur investissement (montant de l'investissement divisé par les économies annuelles) ou du taux de rendement interne. Par exemple, en mars 2011, le cimentier indien UltraTech Cement investissait 90 millions de dollars dans des systèmes de récupération de chaleur. L. Rajasekar, son président-directeur général pense récupérer l'intégralité des sommes investies au bout de six à huit ans. Dans bien des cas, l'investissement dans un projet d'efficacité énergétique est rentabilisé en à peine six mois !

Tout industriel qui calcule la rentabilité financière d'un tel projet tient compte de plusieurs facteurs externes importants, notamment le prix de l'énergie. Les experts estiment que plus les dépenses énergétiques pèsent lourd dans les coûts globaux de production, plus l'investissement financier visant à améliorer l'efficacité énergétique se justifie. Interrogés sur les principaux facteurs influençant leur décision d'investir, 59 % des personnes citent le prix de l'énergie. Pour les industriels énergivores, ce chiffre atteint 67 % alors que pour ceux consommant moins d'énergie, il est de 57 % → 6.

Les investissements engagés par Apollo Tyres en sont l'illustration probante. Ajay Mathur, directeur général du Bureau de l'efficacité énergétique, organisme public indien, explique : « *L'industrie indienne paie très cher l'énergie livrée et, pour notre pays, les tensions énergétiques ne peuvent que croître. Par conséquent, pour les industriels dont la part de la facture énergétique dans les coûts est importante, une gestion efficace de l'énergie conditionne fortement leur compétitivité* ». La volatilité des prix et leur évolution à long terme, tout autant que les prix actuels, sont pris en compte par les entreprises industrielles dans leurs décisions d'investissement. « *La flambée actuelle des prix est certes*

> En 2009, seuls 13 % des moteurs industriels en Europe étaient équipés de variateurs de vitesse moyenne tension.

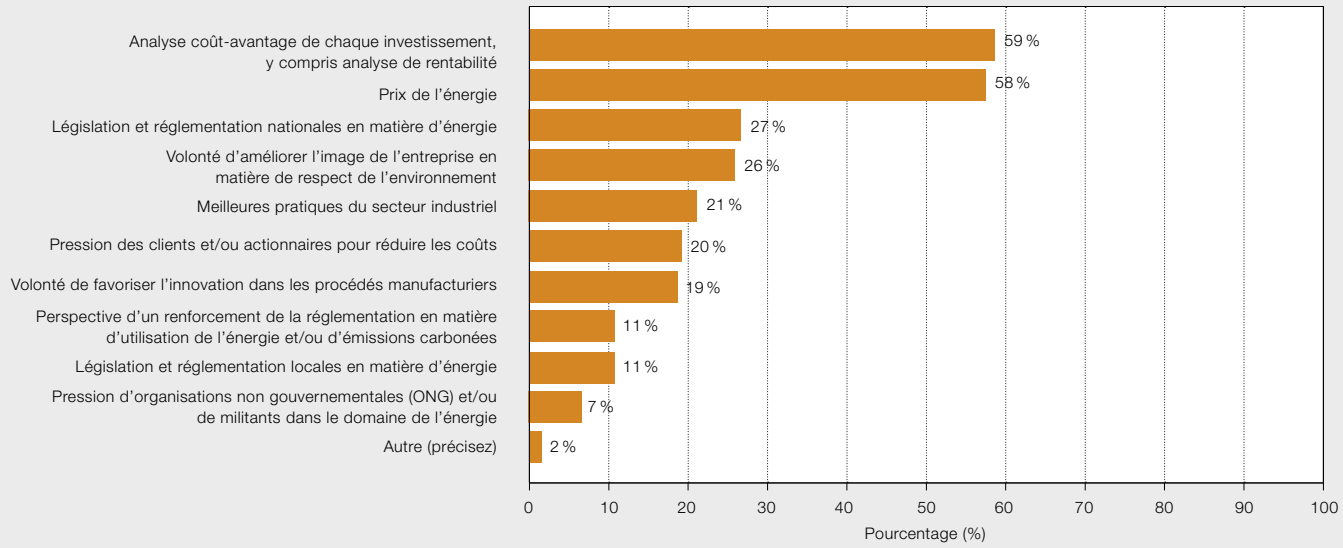
5 Où sont les gains potentiels ?

Dans un document de travail publié en novembre 2010 *(Global Energy Efficiency Benchmarking – An Energy Policy Tool)*, l'ONUDI estimait que le potentiel actuel d'économies d'énergie dans l'industrie manufacturière et les raffineries de pétrole se situait entre 23 et 26 % de la demande d'énergie industrielle mondiale.

Si les gisements d'efficacité énergétique dans les pays développés atteignent 15–20 %, ceux des pays en développement s'élèvent à 30–35 %. Selon le rapport, les économies industrielles peuvent potentiellement réduire leur facture énergétique d'au moins 65 milliards de dollars ; pour les pays en développement, les gains potentiels atteignent 165 milliards de dollars ou plus.

Dans le monde, les plus gros potentiels de gains se situent, en valeur absolue, dans les secteurs les plus énergivores comme la métallurgie, le papier, la chimie et la production de ciment. Cela dit, en pourcentage, on les retrouve dans les secteurs moins consommateurs d'énergie. Dans certains cas, étant donné la prédominance des petites entreprises équipées de technologies anciennes, le potentiel d'économies peut atteindre 40–50 %.

6 Principaux facteurs qui influenceront les investissements en efficacité énergétique industrielle, au cours des 3 prochaines années (348 personnes interrogées, 3 réponses maxi par personne).



préoccupante », explique Steve Schultz, responsable mondial de l'énergie pour la multinationale américaine 3M, « *mais le fait que la tendance soit, et ait toujours été, à la hausse contribue à justifier une partie des efforts* ».

Outre les prix de l'énergie, l'enquête révèle d'autres facteurs entrant dans la décision d'investir dans un projet d'efficacité énergétique, notamment les politiques nationales en matière d'énergie, citées par 27 % des dirigeants, certaines s'appliquant directement ou indirectement aux usages énergétiques industriels. Autre raison : la volonté d'améliorer l'image de l'entreprise (26 % des interrogés), ce qui semble prendre de l'importance face à la montée des enjeux du développement durable. Beaucoup de ces facteurs varient d'un continent, d'une région et d'un site à l'autre, ce qui explique que, pour 76 % des personnes consultées, les investissements en efficacité énergétique doivent être évalués au cas par cas. Andreas Genz, vice-président directeur des services énergétiques du papetier finlandais Stora Enso, partage cet avis : « *Si toutes nos machines se ressemblent, elles sont chacune différentes et nécessitent donc des actions spécifiques d'amélioration de l'efficacité énergétique* ».

Un autre facteur joue dans la décision d'investir en efficacité énergétique : la volonté d'améliorer l'image de l'entreprise.

Alors que l'industrie doit s'adapter à une ère de frugalité énergétique, les champions industriels passent au crible la performance énergétique de leurs sites manufacturiers. Si leurs efforts pour mesurer, gérer et renforcer en permanence leur bilan énergétique améliorent leur trésorerie à court terme, sur la durée, ils gagnent en compétitivité, favorisent l'innovation et s'engagent sur la voie de la protection de l'environnement et du développement durable. En d'autres termes, ils investissent pour l'avenir. Malgré l'expérience et l'avis des dirigeants, des décideurs et des experts interrogés dans le cadre de cette enquête, l'efficacité énergétique reste largement sous-optimisée alors qu'elle est synonyme de réduction des coûts et de compétitivité. Face à la volatilité et à la hausse constante des prix mondiaux de l'énergie, elle est capitale pour les entreprises industrielles énergivores fortement exposées à la fluctuation des coûts et aux faibles marges bénéficiaires. Même si celles-ci sont réceptives à ces arguments, beaucoup continuent d'exploiter des équipements au rendement énergétique médiocre ou les font fonctionner de manière peu efficace. Le décalage entre cette prise de conscience et le niveau d'investissement s'explique majoritairement par un manque d'informations sur les technologies les plus récentes et les solutions d'amélioration de l'efficacité énergétique, par l'absence de référentiels ainsi que par l'insuffisance des informations sur le retour d'investissement de projets spécifiques.

Cet article présente les conclusions du premier tiers du rapport « The frugal manufacturer : Using energy sparingly » préparé et rédigé par *The Economist Intelligence Unit* (EIU), à la demande d'ABB. Notre prochain article se penchera sur les raisons de la faiblesse de la mobilisation industrielle en faveur de l'efficacité énergétique.

L'EIU assume l'entière responsabilité du contenu de ce rapport. Les résultats et les avis exprimés ne reflètent pas nécessairement ceux d'ABB.

Pour en savoir plus sur l'efficacité énergétique dans l'industrie, l'énergie, le bâtiment et les transports, rendez-vous sur www.abb.com/energyefficiency.

L'EIU remercie tous ceux qui ont participé à l'enquête ainsi que les personnes citées dans le rapport.

Christopher Watts (auteur)
Aviva Freudmann (rédactrice)
The Economist Intelligence Unit

Merci d'adresser vos questions et commentaires à Mark Curtis :
ABB Corporate Communication
Zurich (Suisse)
mark.curtis@ch.abb.com

Le soleil au zénith

ABB présente son nouvel onduleur *string* pour systèmes photovoltaïques

JUKKA NURMI – Le réchauffement climatique et l'envolée des prix du pétrole et du gaz poussent au développement des sources renouvelables pour satisfaire aux besoins énergétiques mondiaux croissants. De tout temps, le soleil a fourni à la Terre une énergie inépuisable. Actuellement, le moyen le plus simple d'exploiter le gisement solaire consiste à utiliser des cellules photovoltaïques qui produisent du courant continu (CC), converti en courant alternatif (CA) par des onduleurs. Pour les installations photovoltaïques de faible puissance situées principalement sur les immeubles résidentiels et les bâtiments tertiaires, ABB a conçu les onduleurs *string* PVS300. La nouvelle gamme intègre directement les fonctions de protection qui évitent aux utilisateurs de certains pays d'installer des dispositifs externes couteux et encombrants.

1 Onduleur *string* PVS300 d'ABB

Le progrès technologique améliore sans cesse le rendement et la rentabilité des systèmes photovoltaïques (PV). Depuis longtemps, ABB, leader de la technologie des onduleurs et des convertisseurs de puissance, s'appuie sur son savoir-faire et son expérience pour développer des solutions de qualité et innovantes pour la filière photovoltaïque. Son offre d'onduleurs solaires s'étend des petits onduleurs *string* monophasés aux gros onduleurs centraux de plusieurs centaines de kilowatts (kW). Le tout nouveau PVS300 → 1, qui couvre des puissances de 3,3 à 8 kW, est destiné aux immeubles résidentiels ainsi qu'aux petites et moyennes installations des bâtiments tertiaires et industriels. Cet onduleur « tout en un » est un appareil fiable, sûr et extrêmement économique, en particulier pour les configurations multi-onduleurs.

Le PVS300 est doté d'une interface utilisateur intuitive à écran graphique multi-affichages très simple d'utilisation. Un premier affichage symbolise l'intensité du rayonnement solaire, 10 rayons colorés indiquant un ensoleillement maximal, un seul rayon signalant la pluie → 2. La nuit, l'onduleur passe en veille et consomme alors moins de 1 W. Un deuxième affichage informe sur la production d'énergie photovoltaïque ; il s'adresse plus particulièrement à ceux qui veulent connaître le détail des tarifs de rachat préférentiels [1] pratiqués par de nombreux pays pour favoriser l'essor des énergies « vertes », notamment l'électricité solaire → 3. La pile de données de l'onduleur conserve les valeurs pendant 24 ans maximum et affiche la production quotidienne, hebdomadaire, mensuelle et annuelle exacte. De plus, l'appareil calcule les émissions de CO_2 évitées. Enfin, des données techniques plus poussées peuvent être consultées par les personnes désirant en savoir davantage.

Une touche « Aide » ainsi qu'un manuel utilisateur intégré décrivent les différents affichages et valeurs de réglage. Toutes ces informations sont consultables en 24 langues.

La mise en route de l'onduleur se fait en quatre étapes, l'utilisateur étant guidé par un assistant activé à la toute première mise sous tension de l'appareil. Les réglages sont faciles à modifier grâce à des menus dont la présentation est identique à celle d'appareils courants comme les téléphones mobiles.

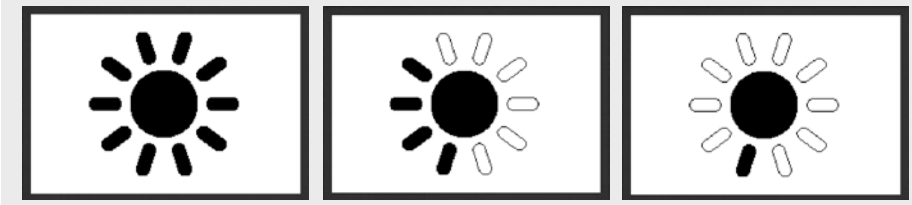
L'interface utilisateur peut être débrochée de l'onduleur → 4, 5 et fixée au mur pour suivre à distance les performances de l'appareil. Elle peut aussi communi-

L'offre ABB d'onduleurs solaires s'étend des petits onduleurs *string* monophasés aux gros onduleurs centraux de plusieurs centaines de kilowatts.

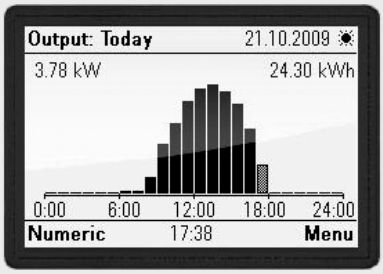
Photo p. 13
Le nouvel onduleur *string* d'ABB, destiné aux systèmes PV des immeubles résidentiels et des petites et moyennes installations tertiaires, intègre aujourd'hui les fonctions de protection.

Note
1 Mécanisme d'incitation financière à la production d'électricité d'origine renouvelable, destiné à accélérer la parité avec le réseau. L'électricité « propre » produite par les particuliers et professionnels éligibles est rachetée à un prix avantageux.

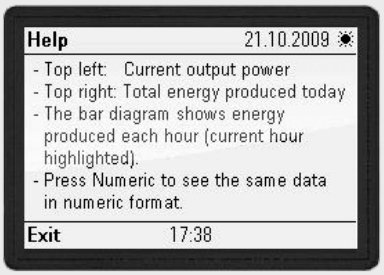
2 L’interface utilisateur ? Une symbolique enfantine !



3 Des données techniques détaillées sont accessibles aux personnes désirant suivre leur production d’énergie solaire.



3a Données de production d’énergie solaire



3b Informations descriptives du menu Aide

quer sans fil avec l’onduleur ; l’émetteur et le récepteur étant préconfigurés en usine, l’utilisateur est affranchi des réglages complexes souvent liés aux transmissions sans fil. La technologie et la bande de fréquence sont identiques à celles des capteurs météo sans fil mais couvrent des distances plus longues que Bluetooth et consomment beaucoup moins d’énergie que Wifi.

Protection intégrée

Pour simplifier la tâche des intégrateurs et des installateurs de systèmes photovoltaïques, ABB a soigné l’esthétique, la conception et l’agencement interne de son onduleur. En particulier, l’intégration directe de toutes les protections dans le coffret dispense, dans certains pays, de l’installation de dispositifs externes exigés par la plupart des systèmes PV traditionnels.

Citons, pour commencer, les courants de défaut apparaissant dans un système isolé de la terre et provoqués par deux défauts à la terre ou un défaut phase-phase. Ils peuvent endommager les modules PV ou provoquer un échauffement excessif dans une partie du système. On protège les systèmes de ce type de défaut, certes rare, en plaçant des fusibles à la fois dans les branches négative et positive du câblage des strings PV.

De même, les panneaux solaires sont soumis aux phénomènes atmosphériques et peuvent être endommagés par les impacts de foudre. Pour minimiser ces risques, des dispositifs de protection contre les surtensions doivent être installés sur chaque polarité. Leur impédance varie en fonction de la tension appliquée ; par exemple, en conditions normales, elle est extrêmement élevée et ne peut

L’intégration directe de toutes les protections dans le coffret dispense, dans certains pays, de l’installation de dispositifs externes exigés par la plupart des systèmes PV traditionnels.

être réduite – dans le cas d’une surtension – qu’en déchargeant le courant associé à la terre. Malheureusement, les dispositifs standard de protection contre les surtensions ne fonctionnent pas cor-

Couvrant des puissances de 3,3 à 8 kW, l’onduleur PVS300 « tout en un » est un appareil fiable et sûr, en particulier pour les configurations multi-onduleurs.

La topologie à neutre « clampé » et la technologie ABB de modulation (brevet en cours) confèrent un très haut rendement, des courants de fuite minimum et une tension CC autorisée maxi.

4 Le PVS300 séduira aussi bien les professionnels que les particuliers.

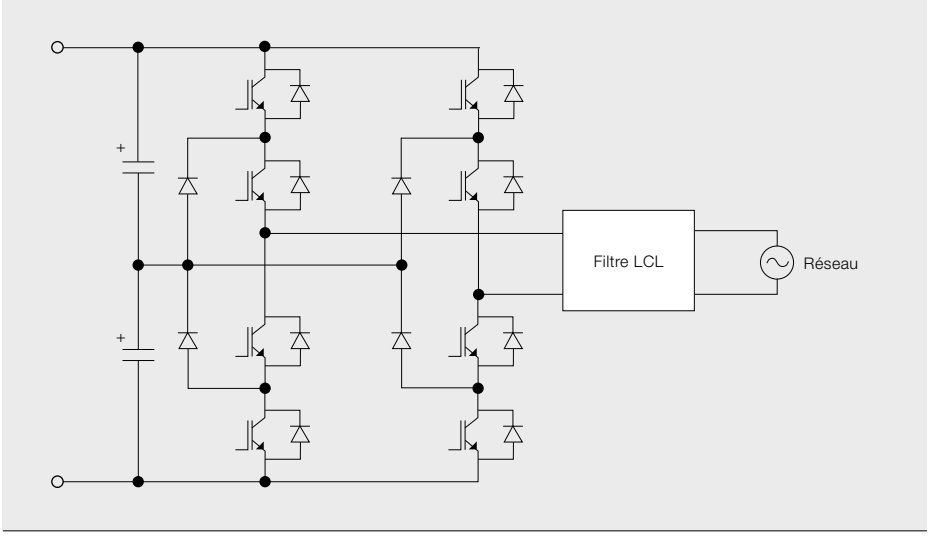
5 L'interface peut être débrochée pour suivre à distance les performances de l'onduleur.

6 Les fonctions et dispositifs de protection sont intégrés au coffret.

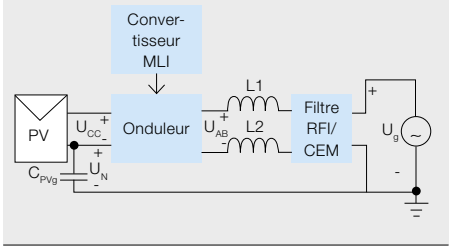
rectement dans les systèmes PV. Il faut donc concevoir des dispositifs spéciaux de tension CC nominale élevée et de faible tenue aux courants de court-circuit. Ces protections sont habituellement logées dans un boîtier à part, placé entre les modules PV et l'onduleur.

En intégrant directement les protections dans son onduleur PVS300, ABB fait gagner du temps et de l'argent à ses clients qui ne doivent plus sélectionner, élaborer et installer des coffrets de protection externes → 6. Pour les installateurs et intégrateurs, une solution compacte et intégrée permet de mieux utiliser l'espace, atout non négligeable dans les installations multi-onduleurs. Pour l'exploitant, la configuration interne de l'onduleur raccourcit considérablement la localisation des défauts et les temps de réparation. Par exemple, un microprocesseur embarqué surveille les protections internes (fusibles et dispositifs de protection contre les surtensions, par exemple) et, en cas de problème, affiche immédiatement un message d'erreur ou des informations sur l'interface utilisateur, ou encore envoie un courriel sur Internet. Des composants comme les fusibles à cartouches sont faciles à remplacer en toute sécurité. Enfin, la

7 Topologie du PVS300 à pont tout IGBT et point neutre « clampé »



8 Système PV à capacité parasite



moindre quantité de matériaux utilisés est un facteur important de minimisation des émissions de CO_2 sur le cycle de vie des produits.

Une technologie performante

L'onduleur string PVS300 associe un pont tout IGBT à point neutre « clampé » ➔ 7 et la technologie ABB de modulation (brevet en cours) pour offrir un très haut rendement, des courants de fuite minimum et une tension CC maxi autorisée élevée.

Le haut rendement du PVS300 découle de sa simplicité de conception, évidente lorsqu'on le compare aux onduleurs solaires traditionnels. Ainsi, ces derniers utilisent un convertisseur de tension supplémentaire côté entrée ou un transformateur élévateur côté sortie, alors que l'onduleur string ABB n'utilise qu'un seul étage de conversion CC-CA. La suppression des étages supplémentaires accroît le rendement mais également la fiabilité du système. D'autres points de rendement sont gagnés en utilisant une logique intelligente de mise en veille et des matériaux avancés comme des noyaux en alliage amorphe dans le filtre LCL de sortie.

Un système PV type isolé de la terre est illustré en ➔ 8. Les modules PV sont toujours reliés à la terre par une capacité parasite (C_{PVg}). Toute composante CA présente dans la tension U_N créera un courant à la terre par l'intermédiaire de cette capacité. Si la tension aux bornes du condensateur contient des composantes de fréquence extrêmement élevées, elle peut produire des courants à la terre de fréquence également trop élevée, qui risquent de poser des problèmes de compatibilité électromagnétique ou de dégrader ou encore endommager les modules PV avec le temps. La technologie ABB de modulation supprime les composantes haute fréquence de U_N introduites par certains onduleurs du marché.

La tension CC du système PV varie selon sa configuration, la température et le rayonnement solaire. Du fait de sa large plage de tension CC d'entrée, le PVS300 peut aisément fonctionner avec une grande variété d'installations en série et en parallèle, et différents types de modules PV. Sa tension CC maxi élevée permet de raccorder en série davantage de modules, réduisant les coûts de câblage et les pertes dans les câbles CC.

L'onduleur string PVS300 fut présenté pour la première fois au salon Intersolar 2010 de Munich, un des plus grands salons professionnels au monde consacrés à la filière solaire. Il prend la suite du lancement réussi de la gamme d'onduleurs centraux ABB, l'année précédente.

Jukka Nurmi
ABB Solar Inverters
Helsinki (Finlande)
jukka.nurmi@fi.abb.com

La tension CC maxi permet de raccorder en série davantage de modules, réduisant les coûts de câblage et les pertes dans les câbles CC.

ABB
ABB

Des lignes haute tension sous bonne garde

Nouvelle génération de téléprotections NSD570 d'ABB

ROMEO COMINO,
MICHAEL STRITTMATTER –

La téléprotection est vitale pour les systèmes électriques modernes dont elle assure le fonctionnement fiable, sûr et rentable, grâce à des signalisations de protection qui isolent et éliminent rapidement, de façon sélective, les défauts de ligne. Or cette sûreté de fonctionnement pourrait être remise en cause par le déploiement récent des réseaux de communication étendus sur Ethernet/IP, par nature « non déterministes ». ABB jouit d'une longue expérience de la téléprotection et des communications au sein des systèmes électriques, qui en fait un acteur de premier plan dans le développement de nouvelles interfaces de téléprotection sur réseaux Ethernet/IP pour sa plate-forme NSD570.

Les perturbations et défauts des systèmes électriques peuvent engendrer de graves incidents et pannes affectant des régions entières, voire tout un pays. Ces pertes de réseau ainsi que leurs retombées sur la continuité de la fourniture ou sur l'économie sont inacceptables pour notre société, très tributaire de son alimentation électrique. Il est donc primordial de les éviter coûte que coûte ; à cette fin, l'isolement et l'élimination rapide des défauts sont des exigences fondamentales de tout schéma de protection d'un réseau électrique.

> Les protections doivent satisfaire aux exigences de sensibilité, de réactivité, de sélectivité et de fiabilité pour éliminer les défauts du système électrique.

Les protections doivent pour cela satisfaire à quatre critères : sensibilité, réactivité, sélectivité et fiabilité. Les plans de protection, en particulier pour les lignes de transport à haute tension (HT), remplissent rarement la totalité de ces conditions sans faire appel aux télécommunications.

L'architecture type d'un système de protection de ligne HT se décompose en relais de protection, équipements de téléprotection et réseau de télécommunication → 1. La téléprotection, qui assure l'interface physique entre l'infrastructure télécoms et les relais de protection, est le passage obligé des signaux ou « commandes de déclenchement » émis par les relais de protection ; elle garantit également le respect des critères de réactivité et de sélectivité, en cas de défaut dans le système électrique.

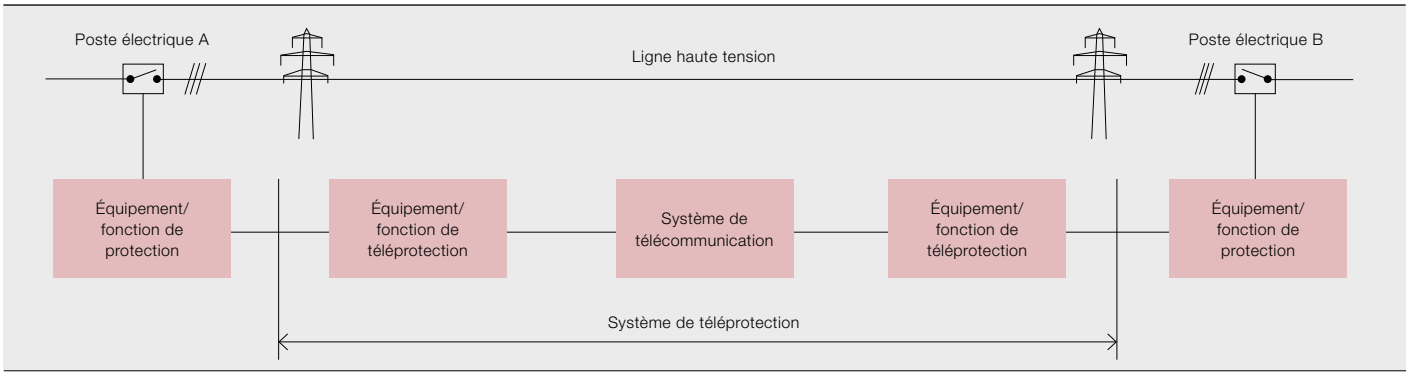
À nouvelles menaces, nouvelles parades

Aucun système de télécommunication n'étant à l'abri de perturbations et de dégradations de toutes sortes (gigue et erreurs sur les bits en transmission

Photo ci-contre
Les fournisseurs d'énergie s'inquiètent du manque de déterminisme d'Ethernet qui peut pénaliser la transmission des signaux de protection dans les postes électriques.

Pour le système de protection, les perturbations du canal de télécommunication ne doivent jamais simuler de commande, côté réception, quand aucun signal de commande n'a été transmis (*sécurité*), ni retarder indûment ou même supprimer une commande bel et bien transmise (*fiabilité*).

1 Architecture type d'un système de protection



numérique, effet de couronne et affaiblissement du signal sur liaison à courants porteurs), la performance de la téléprotection s'exprime dans ces conditions en trois termes : *sécurité, fiabilité* et *temps de transmission*.

Un critère primordial est la « bande passante » en analogique ou le « débit » sur les liaisons numériques ou Ethernet : l'augmentation de cette caractéristique écourte proportionnellement le temps de transmission assuré par l'équipement de téléprotection.

Pour le système de protection, les perturbations du canal de télécommunication ne doivent en aucun cas simuler de commande, côté réception, quand aucun signal de commande n'a été transmis (*sécurité*), ni retarder indûment ou même supprimer une commande bel et bien transmise (*fiabilité*).

À cet égard, tout équipement de téléprotection se pliera aux exigences de sécurité, fiabilité et temps de transmission de la norme CEI 60834-1 [1].

Ces trois paramètres, auxquels s'ajoute le débit (aussi appelé « bande passante » par abus de langage), sont interdépendants. Or une sécurité et une fiabilité élevées sont antinomiques avec un temps de transmission court et un faible débit (bande de fréquence étroite). Il faut donc trouver un compromis entre sécurité, fiabilité et temps de transmission, suivant le schéma de protection mis en œuvre (déclenchement à autorisation, déclenchement direct ou blocage).

La nouvelle génération d'équipements de téléprotection NSD570 d'ABB est prête à transmettre sur Ethernet avec une interface à 10/100 Mbit/s.

2 Interface NSD570 type G3LE pour réseau étendu sur Ethernet

Autre critère d'importance : la disponibilité du canal de transmission pour exécuter à tout moment la fonction requise, dans l'intervalle de temps spécifié [2]. Le taux de disponibilité du système de télécommunication d'une téléprotection doit être d'au moins 99,99 %. Atteindre cet objectif stratégique ne va pas sans une connaissance approfondie des techniques de télécommunication utilisées. Il est en outre essentiel de bien concevoir le réseau et de le doter de mécanismes d'autocicatrisation ou de reprise d'activité, ainsi que des modes de redondance et plans de secours nécessaires.

Au-delà de cette exigence, la compatibilité électromagnétique (CEM) du système de téléprotection et son immunité aux transitoires rapides et autres parasites environnants sont cruciales. Toute la téléprotection et son matériel doivent être conçus pour résister à ces perturbations quand survient un défaut dans le système électrique, c'est-à-dire au moment précis où leur fiabilité de transmission des commandes est capitale.

Téléprotection multisupport

La téléprotection emprunte plusieurs types de support de transmission, le plus souvent sur liaisons point à point :

- Courants porteurs sur ligne d'énergie (CPL) ;
- Fibres optiques ;
- Câbles cuivre/pilotes ;
- Liaisons radioélectriques.

L'interface physique entre équipements de téléprotection et terminal de transmission est soit un circuit analogique à fréquences vocales, soit un circuit numérique/optique à 64 kbit/s, par exemple ➔ 3.

La nouvelle génération de téléprotection NSD570 d'ABB intègre tout un ensemble d'interfaces avec ce système de télécommunication et peut dès aujourd'hui assurer également la connectivité Ethernet avec une interface à 10/100 Mbit/s (cf. *infra*).

Téléprotection et réseaux Ethernet/IP : liaison dangereuse ?

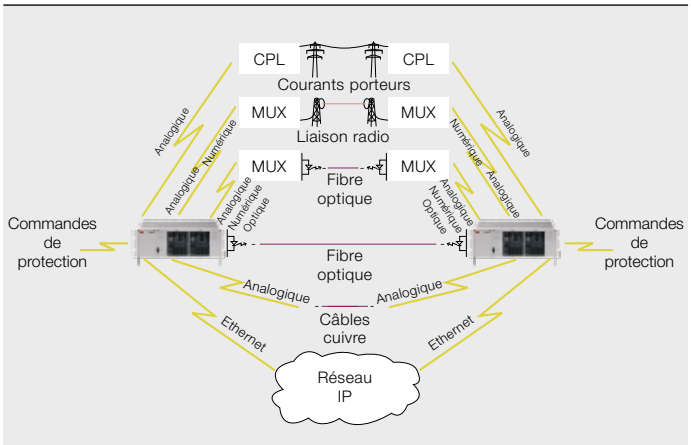
Les systèmes de téléprotection s'appuient normalement sur des canaux de communication « déterministes » (temps de transmission des données borné et garanti) avec une bande passante ou un débit binaire constant dans le temps, sans variation des délais. Les techniques de multiplexage statique, en transmission PDH[1] et SDH (cf. « Acronymes » p. 25),

Les systèmes de téléprotection s'appuient sur des canaux de communication « déterministes » (temps de transmission connu à l'avance), à bande passante constante.

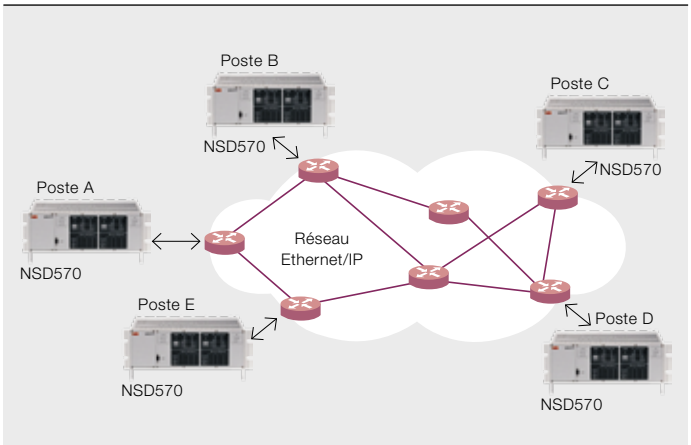
Note

1 Réseau dans lequel les flux de données sont quasiment, mais imparfaitement synchronisés (du grec *plesio* signifiant *presque*).

3 Supports et canaux de transmission avec l'interface NSD570



4 Téléprotection NSD570 G3LE sur Ethernet/IP



ABB, acteur majeur de la téléprotection, a développé pour sa plate-forme NSD570 une nouvelle gamme d'interfaces destinées à la signalisation de protection et à la télégestion sur réseaux Ethernet/IP.

satisfont à cette exigence et sont employées depuis des décennies dans les réseaux de communication longue distance des fournisseurs d'énergie.

Le récent déploiement du multiplexage statistique, qui met en œuvre de nouvelles techniques d'allocation de bande passante à la demande ou du « meilleur effort », compromet l'aptitude des systèmes de téléprotection de réseaux d'énergie à respecter les strictes exigences de performance. C'est surtout le cas lorsque les énergéticiens s'en remettent à des services de télécommunication tiers, dont ils ne maîtrisent pas les liaisons de transmission.

Ainsi, quand la signalisation de protection transite sur des réseaux Ethernet/IP, il faut une solution capable de surveiller la disponibilité et la qualité du canal de communication longue distance, et d'émettre une alarme si la transmission fiable de commandes à l'extrémité distante ne peut être garantie ➔ 4.

Innovations ABB

ABB, acteur majeur du marché de la téléprotection, a développé pour sa plate-forme NSD570 deux nouvelles interfaces destinées à la signalisation de protection et à la télégestion sur réseaux Ethernet/IP.

– Interface pour réseau étendu (WAN) sur Ethernet type G3LE ➔ 2 ;
– Interface pour réseau local (LAN) de gestion type G3LM.

Interface Réseau étendu Ethernet : NSD570 type G3LE

– Cette nouvelle interface de ligne peut transférer en simultané jusqu'à 8 commandes indépendantes sur réseaux Ethernet/IP ➔ 3.
– Elle remplit des fonctions de surveillance de canal et de traitement d'alarmes similaires aux interfaces de ligne NSD570 existantes (qualité et disponibilité du canal, délai de bout en bout, adressage de terminal).

Interface Réseau local Gestion : NSD570 type G3LM

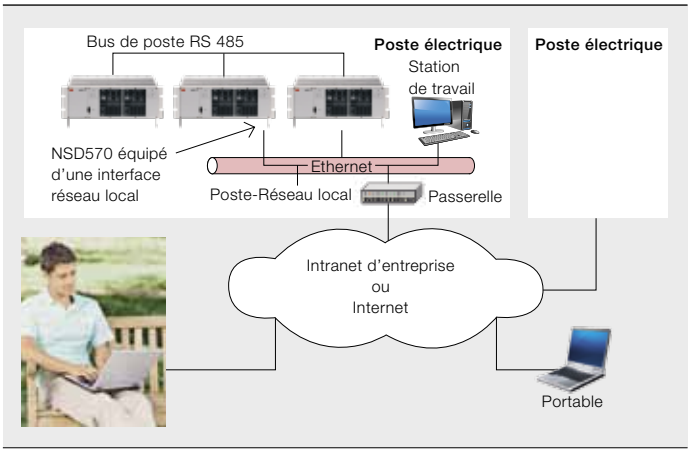
– Elle succède à l'interface de gestion d'accès à distance existante, qu'elle enrichit de fonctions comme le support du protocole de gestion de réseau SNMP et des réseaux locaux virtuels, ainsi que de mesures de cybersécurité renforcées (authentification des utilisateurs et journalisation des événements).
– Elle assure la télésurveillance et la télégestion des unités de téléprotection en châssis et d'autres unités accessibles par le bus de poste RS 485 ➔ 5 qui permet l'interconnexion de plusieurs châssis.

Ces deux modules enfichables ➔ 6 offrent un port de transmission électrique (10/100 Mbit/s) et un port de transmission fibre optique (100 Mbit/s) doté d'émetteurs-récepteurs compacts et permutables pour la connexion au réseau Ethernet/IP.

NSD570 G3LE : fiabiliser la signalisation de protection sur réseaux Ethernet/IP

Au lieu de convertir simplement le canal synchrone existant (à 64 kbit/s) de la protection NSD570 en paquets Ethernet, un protocole a été développé pour alléger les contraintes de latence et de bande passante.

5 Accès à distance sécurisé NSD570 G3LM



6 Nouveau module enfichable G3LE/G3LM pour plate-forme de téléprotection NSD570 d'ABB

Outre les commandes de téléprotection, la charge utile du paquet Ethernet se décompose en plusieurs champs de données qui permettent de mesurer des paramètres clés de performance, dont le temps de transmission et le taux de perte de paquets.

La totalité de la charge utile est protégée par un algorithme d'authentification (brevet en cours) qui règle plusieurs problèmes de cybersécurité.

Surveillance continue de la qualité et de la disponibilité du canal

Plusieurs facteurs dégradent le temps de transmission d'un canal dans un réseau à commutation de paquets.

L'interface NSD570 G3LE surveille en permanence la disponibilité et la qualité du canal, à l'aide de paquets « de garde » émis à intervalles réguliers paramétrables. Des alarmes sont déclenchées si le temps de transmission ou le taux de perte de paquets mesurés sont supérieurs aux seuils configurés par l'utilisateur, ou encore en cas de perte totale du canal.

Fiabilité de la transmission

Dès que l'interface NSD570 G3LE reçoit une commande du relais de protection, elle commence à envoyer de nombreux paquets « de déclenchement » à intervalles rapprochés. Cela garantit une réception rapide des paquets, même quand le canal est très dégradé et affiche un taux de perte de paquets élevé. Après cette séquence initiale, l'interface continue d'envoyer des paquets de déclenchement, mais au rythme des paquets de garde. Si le relais de protection retire sa commande, la transmission des paquets de garde reprend son cours.

La réception d'un seul paquet de déclenchement correct par la NSD570 distante active les sorties configurées de l'interface relais, en fonction des commandes véhiculées par le paquet.

Priorité des commandes de téléprotection à temps critique

Ces commandes doivent par définition être transmises le plus vite possible sur le réseau. Les protocoles IP et Ethernet permettent de gérer les priorités de transfert. L'interface NSD570 G3LE assure ces réglages avec l'octet « Type de service » de l'entête IP (niveau 3), qui renseigne sur la qualité de service, et le mécanisme *VLAN tagging* qui insère un numéro d'identification du réseau virtuel dans la trame Ethernet (niveau 2).

Garantie de performance sur réseau Ethernet/IP dégradé

La transmission numérique de commandes de déclenchement est soumise à une exigence de sécurité, appelée « probabilité de commande indésirable ». Dans le pire des cas, elle est fixée par la norme CEI 60834-1 à une valeur P_{uc} inférieure à 1E-08. Pour le nouveau protocole de l'interface NSD570, des P_{uc} inférieures à 1E-18 sont prouvées mathématiquement.

Des tests poussés ont été effectués sur la NSD570 G3LE dans un réseau comprenant un commutateur Ethernet de la gamme AFS d'ABB. Résultat : même en simulant un trafic par rafales de paquets de longueurs variables, sur certains segments de réseau surchargés, le temps de transmission reste inférieur à 4 ms pour avoisiner en moyenne 2,5 ms.

Vérifier la fiabilité de la transmission, même sur un réseau Ethernet/IP très perturbé accusant des taux de perte de paquets (PLR) supérieurs ou égaux à 10 %, revient à mesurer la « probabilité de commande manquante », notée P_{cm} → 7. Pour cela, un grand nombre de commandes de déclenchement sont envoyées, à plusieurs taux PLR, puis le nombre de commandes non reçues dans un délai donné T_{max} est enregistré pour en déduire la P_{cm}. Aux fins de comparaison, la mesure de la fiabilité est calculée d'après le taux d'erreur sur les bits (BER), que l'on peut déduire du PLR correspondant.

Les résultats de ces tests ainsi que d'autres essais en vraie grandeur réalisés sur les réseaux Ethernet/IP de sociétés d'énergie ont confirmé que la nouvelle interface NSD570 G3LE d'ABB

Toutes les activités des utilisateurs sont enregistrées pour détecter très tôt les manipulations du système touchant à la sécurité.

Il faut bien concevoir le réseau Ethernet/IP pour ne pas dépasser le taux de perte de paquets et la latence spécifiés.

7 Quelques résultats de tests (interface NSD570 G3LE)

Fiabilité	P_{cm} <	1E-02	1E-02	1E-03	1E-03	1E-04
État du canal : taux de perte de paquets	PLR <	1 %	2 %	3 %	10 %	10 %
État du canal : taux d'erreur sur les bits	BER <	1.1E-05	2.3E-05	3.5E-05	1.2E-04	1.2E-04
Délai de transmission maxi	T_{max} ≤	4 ms	5 ms	6 ms	8 ms	10 ms

respecte et même dépasse les prescriptions CEI 60834-1.

Pour fiabiliser la transmission de commandes, il est indispensable de bien concevoir et configurer le réseau Ethernet/IP de façon à ne pas dépasser le taux de perte de paquets et la latence spécifiés entre les deux extrémités NSD570. À défaut, l'interface NSD570 signalera immédiatement une dégradation des performances du réseau.

NSD570 G3LM : sécuriser l'accès distant et la télésurveillance

Cette nouvelle interface autorise l'accès distant aux équipements de téléprotection NSD570 sur réseaux Ethernet/IP, par protocole SNMP. Un serveur intégré (agent SNMP) fournit aux stations d'administration du réseau (clients) des alarmes et informations sur les équipements, à l'aide de l'interface ouverte SNMP.

De même, plusieurs fonctions ont été ajoutées pour optimiser la cybersécurité du réseau et permettre ainsi à nos clients d'exploiter la NSD570 en conformité avec, notamment, les nouvelles normes de protection des infrastructures essentielles CIP du NERC. Le protocole sécurisé SSL se charge du chiffrement et de l'authentification de l'accès utilisateur. Qui plus est, un nouveau système d'administration permet de paramétrer chaque compte utilisateur et de lui attribuer des droits d'accès individuels. Toutes les activités des utilisateurs sont enregistrées afin de détecter le plus tôt possible les manipulations du système touchant à la sécurité.

L'interface NSD570, parée pour la CEI 61850

Les réseaux locaux sur Ethernet investissent de plus en plus les postes électriques, sous l'impulsion de la norme internationale CEI 61850 [2].

Pour l'heure, dans chaque poste électrique, le bus Ethernet CEI 61850 ne véhicule que les signaux de contrôle-commande et d'automatisme ; les signaux de protection acheminés de relais à relais ou de relais à téléprotection sont encore câblés en fil à fil. Pour autant, la nouvelle interface Ethernet NSD570 G3LS est prête à accepter les messages GOOSE [3] conformes CEI 61850-8-1, en provenance des relais de protection qui seront équipés d'interface GOOSE.

Totalement intégrée, la solution se passe de dispositifs externes nécessitant leur propre alimentation électrique et leur interface utilisateur et de gestion.

En outre, des groupes de travail CEI ont été constitués pour étudier l'extension de la CEI 61850 à la communication longue distance entre postes, donnant lieu, en mars 2010, à la publication du rapport technique CEI 61850-90-1 [3].

Suivant « l'approche passerelle » décrite dans ce rapport, les signaux de protection GOOSE du réseau étendu peuvent être transférés à la NSD570 distante par n'importe quel canal analogique, numérique/optique ou Ethernet → 3.

L'interface G3LS permet de mixer les relais de protection classiques et les relais conformes CEI 61850 ; les commandes GOOSE et à contacts peuvent

Acronymes

BER	*Bit Error Rate*
CEI	Commission électrotechnique internationale
CIP	*Critical Infrastructure Protection*
CPL	Courants porteurs en ligne
GOOSE	*Generic Object Oriented Substation Events*
IP	*Internet Protocol*
LAN	*Local Area Network*
MUX	Multiplexeur
NERC	*North American Electric Reliability Corporation*
PDH	*Plesiochronous Digital Hierarchy*
PLR	*Packet Loss Rate*
SDH	*Synchronous Digital Hierarchy*
SNMP	*Simple Network Management Protocol*
SSL	*Secure Socket Layer*
VLAN	*Virtual Local Area Network*
WAN	*Wide Area Network*

alors transiter en parallèle sur une même liaison NSD570, tout comme les messages GOOSE d'un poste peuvent être émis par le biais des sorties à contacts du poste électrique distant.

L'architecture ouverte de l'interface NSD570 d'ABB lui garantit une évolution en phase avec la normalisation CEI 61850 sur les communications intra-postes et inter-postes.

Bilan

Ces toutes dernières innovations ABB font de l'offre NSD570 une plate-forme évolutive, qui peut s'intégrer dans des réseaux étendus Ethernet/IP ou un réseau local de poste par simple remplacement ou ajout de module. C'est là un véritable système « tout en un » répondant aux exigences des lignes de transmission et interfaces de protection.

Totalement intégrée, la solution se passe de dispositifs externes nécessitant leur propre alimentation électrique et une interface utilisateur et de gestion dédiée.

Le parc installé de relais de protection classiques, dotés d'entrées/sorties à contacts, peut être utilisé sur tous les supports de transmission existants, même en parallèle avec les nouveaux relais CEI 61850 gérant la messagerie GOOSE, sur une même liaison NSD570. Dans cette optique, l'interface NSD570 assure aussi l'adaptation progressive des postes à la normalisation CEI 61850, en autorisant l'interconnexion des postes « patrimoniaux » d'un réseau et des postes CEI 61850, par les canaux de téléprotection NSD570 existants.

Les clients qui projettent de porter leur infrastructure de réseau étendu sur Ethernet/IP sont bien épaulés par l'architecture NSD570 : ils peuvent utiliser les interfaces de ligne numériques et Ethernet en parallèle, par exemple, afin de se roder au nouveau support. Il est pour cela prévu un mode de fonctionnement économique à chemin « 1 + 1 », qui évite de dupliquer les interfaces relais avec les équipements de protection ; il suffit d'enficher dans le même châssis une seconde interface de ligne destinée au chemin redondant.

Ces toutes dernières innovations ABB font de l'offre NSD570 une plate-forme évolutive, qui peut s'intégrer dans des réseaux étendus Ethernet/IP ou un réseau local de poste par simple remplacement ou ajout de module.

Romeo Comino
Michael Strittmatter
ABB Power Systems
System Group Utility Communications
Baden (Suisse)
romeo.comino@ch.abb.com
michael.strittmatter@ch.abb.com

Bibliographie

[1] Norme CEI 60834-1, *Matériel de téléprotection des réseaux d'énergie électrique – Performances et essais – Partie 1 : systèmes de commande*, 1999.
[2] *Protection using Telecommunications*, Groupe de travail Cigré JWG 34/35.11, août 2001.
[3] Norme CEI 61850-90-1, *Communication networks and systems for power utility automation – Part 90-1 : Use of IEC 61850 for the communication between substations*, [Utiliser la CEI 61850 pour la communication entre postes], disponible uniquement en anglais, mars 2010.

Notes

2 Lire notre « Spécial CEI 61850 », téléchargeable sur www.abb.com/abbreview (en anglais).
3 Modèle de transfert de données événementielles, normalisé CEI 61850.

Réserve d’énergie

Une solution ABB pour la commande en vitesse variable des stations de transfert d’énergie par pompage

STEVE AUBERT – Les derniers progrès en électronique de puissance et commande des machines tournantes ouvrent de nouvelles perspectives aux stations de transfert d’énergie par pompage (STEP) de grandes puissances. Leur pilotage en vitesse variable présente plusieurs avantages sur le fonctionnement classique à vitesse constante. ABB a équipé la STEP d’Avče, en Slovénie, de machines asynchrones à double alimentation commandées par des systèmes d’excitation en courant alternatif. Ces derniers alimentent en courants triphasés basse fréquence le rotor des machines et régulent leur vitesse ou leurs puissances active et réactive. Avče est la première STEP en Europe à être pilotée en vitesse variable par des convertisseurs à source de tension 3 niveaux de dernière génération, intégrant des semi-conducteurs de puissance IGCT (*Integrated Gate-Commutated Thyristors*). Les études électriques et mécaniques ainsi que l’installation et la mise en service du système d’excitation PCS 8000, y compris un transformateur d’excitation, ont été réalisées par le département Systèmes de conversion de puissance moyenne tension d’ABB Suisse. Une fois la mise en service réussie, ABB a transféré le système au client qui assure son exploitation commerciale depuis avril 2010.

Le parc de production électrique slovène se compose pour près des deux tiers de centrales nucléaires et au charbon, et pour un tiers de centrales hydrauliques, principalement au fil de l'eau, qui assurent la consommation de base et intermédiaire. Or l'absence de capacités mobilisables pour répondre rapidement aux pics de consommation rend difficile le contrôle de l'équilibre offre-demande, alors même que le pays dispose d'un surplus de capacités en périodes creuses (nuit et week-end principalement). L'écart de prix de l'électricité entre heures creuses et de pointe étant considérable, cette situation a un impact négatif sur le prix global de l'énergie. Dans le même temps, la Slovénie compte des liaisons transfrontalières avec l'Italie, la Croatie et l'Autriche, et se trouve au croisement des transferts d'énergie internationaux du nouveau « super-réseau » européen de transport. Le réseau électrique slovène doit donc assumer sa part de responsabilité dans les échanges d'énergie internationaux. Afin de répondre aux besoins et attentes des consommateurs, les différentes régions doivent être interconnectées de façon appropriée et dotées de capacités de production suffisantes. Enfin, pour assurer la continuité de service et prévenir les pannes générales, les règles de raccordement au réseau de transport doivent être respectées.

C'est dans ce contexte que la société *Soške Elektrarne Nova Gorica* (SENG), filiale du groupe énergétique slovène *Holdinga Slovenske Elektrarne* (HSE), a décidé de construire la première STEP du pays. Ce type d'ouvrage permet de constituer une réserve d'électricité sous forme d'énergie intermédiaire (eau). De grandes quantités d'eau sont pompées dans un bassin en altitude lorsque l'électricité est bon marché, surtout la nuit et le week-end. Lors des pics de consommation, au moment où les tarifs sont élevés, les turbines restituent l'énergie accumulée. Grâce à ce mode de stockage indirect de l'électricité, les centrales nucléaires et au charbon peuvent être maintenues en permanence à leur point de fonctionnement optimal, même en périodes creuses. Les STEP contribuent également à limiter les variations coûteuses et inefficaces des points de consigne de production des turbines à vapeur.

> Le principal avantage de la solution à vitesse variable est la régulation de la puissance active absorbée au pompage.

Photo ci-dessus
Bassin supérieur de la STEP d'Avče, à l'ouest de la Slovénie

De grandes quantités d'eau sont pompées lorsque l'électricité est bon marché ; lors des pics de consommation, au moment où les tarifs sont élevés, les turbines restituent l'énergie accumulée.

1 La STEP d'Avče, sur les bords de la Soča, surplombe le bassin inférieur.

Le site d'Avče, à proximité de la ville de Nova Gorica, à l'ouest du pays, offre un double avantage : d'une part des retenues d'eau sur la rivière Soča et, d'autre part, un relief accidenté → 1. Qui plus est, le poste de commutation de la STEP débite sur la boucle 110 kV existante de Primorska Nord, elle-même couplée à une liaison transfrontalière avec l'Italie, à quelques kilomètres de là. La STEP s'inscrit dans le plan de développement d'ouvrages hydroélectriques de la région. Elle a nécessité la construction d'un bassin supérieur, d'un canal d'amenée, d'une cheminée d'équilibre, d'une conduite forcée et d'une usine électrique. Implantée sur la rive de la Soča, celle-ci comprend une ligne d'arbre de 80 m de hauteur ainsi qu'une section surélevée pour le système réversible pompe-turbine et le moteur-générateur avec leurs auxiliaires. Le bâtiment abrite également le système d'excitation, les disjoncteurs, les transformateurs, le groupe diesel, les batteries, les ponts roulants, etc.

Optimiser le pompage

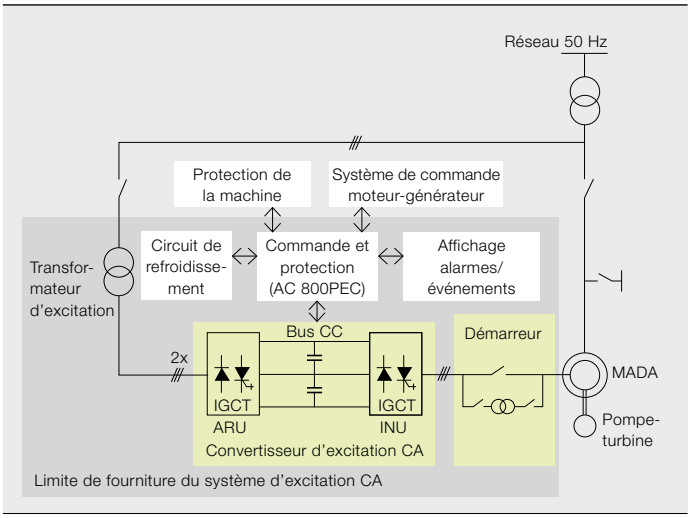
En vue d'optimiser le rendement de la STEP, la société SENG a décidé d'installer un système réversible à vitesse variable de 195 MVA, plus avantageux que les solutions classiques à vitesse constante. En effet, lorsque celles-ci sont équipées de machines synchrones, l'excitatrice ne peut régler que la puissance réactive ; pendant le « turbinage » (production d'électricité), la puissance active doit être régulée mécaniquement, par vannage. En phase de pompage, il est totalement impossible d'ajuster la puissance active absorbée. Avče la solution à vitesse variable, les puissances active et réactive de la machine sont régulées par le système d'excitation en courant alternatif (CA) pendant le pompage et le turbinage, un avantage technique qui se traduit par des économies.

Les pompes-turbines Francis réversibles sont en général conçues pour une hauteur de chute fixe et une puissance machine assignée. La hauteur de chute réelle variant en continu, le fonctionnement à vitesse constante reste voisin du point nominal, sans jamais l'atteindre exactement. La plupart du temps, ces pompes-turbines fonctionnent donc sous leur rendement optimal. En phase de turbinage, ce rendement peut être amélioré en régime à charge partielle, en faisant varier la vitesse selon la puissance requise et la hauteur de chute réelle ; en pompage, les pompes-turbines peuvent fonctionner soit à leur rendement optimal selon la hauteur de chute réelle, soit en fonction de la puissance disponible. On élargit ainsi la plage de fonctionnement en pompage-turbinage. Dans le cas de la STEP d'Avče, le rendement des cycles de pompage/turbinage a été amélioré de plus de 77 %.

Les algorithmes de contrôle-commande utilisés pour les convertisseurs de fréquence rotatifs ont constamment progressé depuis plus 30 ans.

Le principal avantage de la solution à vitesse variable est la régulation de la puissance active absorbée au pompage, dans la plage de 65 à 100 % de la puissance assignée à Avče. Cette possibilité confère de la souplesse au stockage d'énergie, au vu de la puissance disponible sur le réseau électrique, même si celle-ci fluctue en fonction de l'écart production-consommation. Cette souplesse est un facteur d'optimisation car elle augmente la quantité d'énergie stockée en un temps donné tout en réduisant considérablement le nombre de séquences de démarrage/arrêt par rapport aux solutions à vitesse constante. De plus, la régulation de puissance active participe au réglage primaire de la fréquence réseau (service système), même en pompage. Avec les solutions à vitesse constante, ce service ne peut être fourni que séparément en faisant tourner une génératrice pendant les périodes creuses où l'électricité est bon marché. À l'évidence, turbiner lorsque l'électricité est moins chère ne se justifie pas financièrement. Les STEP pilotées en vitesse variable permettent donc de maximiser les avantages économiques : augmenter les recettes en optimisant les cycles pompage-turbinage et les services fournis au réseau.

2 Synoptique du système d'excitation CA



3 Le système d'excitation PCS 8000 d'ABB, en conteneur

La possibilité de réguler la puissance des machines commandées en vitesse variable favorisera également l'intégration de la production éolienne et d'autres sources d'énergie renouvelables. Même quand cette production est prévisible, elle ne peut être allouée en fonction de la demande. Les STEP constituent, à cet égard, la solution à grande échelle la plus économique pour intégrer les sources intermittentes dans le réseau électrique existant. De surcroît, elles évitent les gaz à effet de serre émis lors des pics de production des centrales à turbines à gaz.

Système d'excitation ABB

La STEP slovène met en œuvre une machine asynchrone à double alimentation (MADA) et bagues triphasées reliées au rotor bobiné. Sa vitesse est régulée en appliquant au rotor des courants alternatifs basse fréquence fournis par le système d'excitation CA. La fréquence des courants rotoriques varie selon l'écart entre la vitesse de rotation réelle et la vitesse de synchronisme qui dépend de la fréquence réseau. L'excitation CA PCS 8000 contrôle en réalité le glissement du rotor par rapport à la vitesse de synchronisme. Simultanément, le contrôle vectoriel des courants d'excitation permet non seulement la régulation vitesse/puissance active, mais également la régulation tension/puissance réactive de la machine. Cette dernière se fait comme avec un système d'excitation en courant continu classique (Unitrol® d'ABB, par exemple) d'une machine synchrone. La séquence démarrage/freinage de la machine est réalisée par le même système d'excitation CA PCS 8000. Aucun démarreur supplémentaire n'est requis.

Les STEP à vitesse variable régulant séparément les puissances active et réactive, elles contribuent à stabiliser le réseau électrique et n'ont donc pas besoin de fonctions de stabilisation supplémentaires. La régulation de puissance active permet aussi de réagir rapidement aux perturbations du réseau. Pour l'ensemble du réseau, les STEP jouent le rôle d'amortisseur en absorbant les oscillations de puissance créées par les génératrices synchrones. La régulation électronique de vitesse raccourcit considérablement le temps de réponse par rapport à une régulation mécanique par vannage. La vitesse de la machine n'ayant pas besoin d'être en synchronisme avec le réseau, une STEP à vitesse variable peut également s'apparenter à un système de stockage inertiel pour des phénomènes de courte durée. Autant d'atouts qui servent à stabiliser les longues lignes de transport électrique.

Excitation PCS 8000 d'ABB

Pour Avče, ABB a fourni le convertisseur d'excitation CA avec sa commande et ses protections, le transformateur d'excitation et le démarreur → 2. Il a également assumé les études techniques, la gestion de projet, la fabrication et les essais de réception en usine, de même que l'installation et la mise en service sur site. L'ensemble du projet fut géré par l'usine de la division Produits d'automatisation d'ABB, à Turgi en Suisse, responsable au niveau mondial des systèmes d'excitation CA PCS 8000.

Le système, livré en conteneur, inclut le convertisseur, l'armoire de commande et de protection ainsi que les circuits de refroidissement à l'eau → 3, 4, 5. La structure complète fut assemblée et intégralement prétestée chez ABB afin de limiter les temps d'installation et de mise en service sur site. Le logiciel de contrôle-commande, avec les fonctions de protection du convertisseur et du transformateur d'excitation, fut vérifié en usine avant la mise en service sur un simulateur temps réel HIL (*Hardware-In-the-Loop*), ce qui, là encore, permit d'écourter notablement le temps de mise en service sur site en évitant les temps morts entre les essais.

Les STEP réduisent les gaz à effet de serre émis lors des pics de production des centrales à turbines à gaz.

Le système d'excitation CA d'ABB met en œuvre un convertisseur à source de tension 3 niveaux de dernière génération. ABB s'enorgueillit d'une longue tradition de la fabrication de convertisseurs de fréquence à électronique de puissance, la première génération d'appareils remontant aux années 1970. Les

4 L'intérieur du bâtiment électrique abritant le PCS 8000 d'ABB.

6 Le convertisseur d'excitation CA PCS 8000 et ses assemblages d'IGCT, dans le conteneur

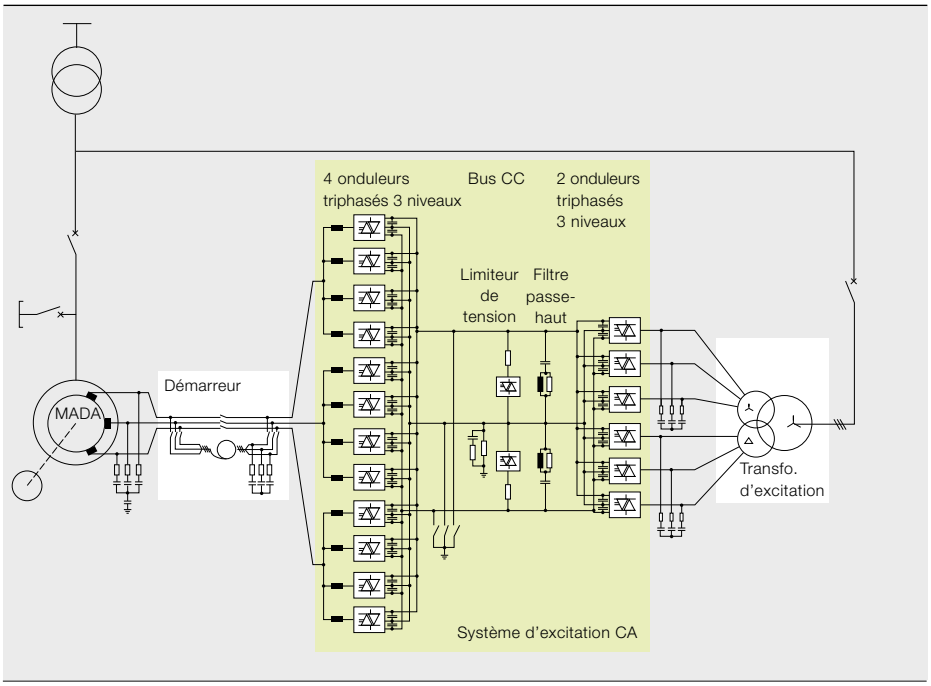
5 Transformateur d'excitation CA avec les 3 jeux de barres sous gaine (jaunes, à gauche) pour l'alimentation des enroulements primaires et les 6 jeux de barres du redresseur actif 12 pulses

convertisseurs à source de tension sont utilisés par ABB dans plusieurs domaines : interconnexion des réseaux électriques ferroviaires, compensation statique de puissance réactive (STATCOM), conversion statique de fréquence pour les applications de fourniture d'énergie et, depuis le début des années 1990, excitation CA des machines asynchrones à double alimentation pour les convertisseurs de fréquence rotatifs. Avec un parc installé de plus d'une vingtaine de convertisseurs d'excitation CA, ABB bénéficie d'une expérience considérable dans ces derniers domaines d'application. Les algorithmes de contrôle-commande utilisés pour les convertisseurs de fréquence rotatifs ont fait l'objet de développements constants depuis plus de trois décennies. Cette expérience du terrain nous a permis de cerner les exigences spécifiques des STEP et de garantir un haut niveau de fiabilité et de sécurité dans la réalisation et l'exploitation des machines.

Le convertisseur à source de tension ABB embarque des modules électroniques PEBB (*Power Electronic Building Blocks*) à 3 niveaux de tension, constitués d'assemblages d'IGCT → 6. Pour les besoins du projet Avče, le PCS 8000 comprend deux modules triphasés dans le redresseur actif ARU (*Active Rectifier Unit*) et un module triphasé dans l'onduleur INU (*INverter Unit*), reliés par un seul bus continu (bus CC) → 7. La topologie « 12 pulses » du redresseur ARU limite tout particulièrement les harmoniques. L'onduleur INU possède quatre bras en parallèle pour fournir les courants rotoriques indispensables au fonctionnement en régime nominal, y compris une marge pour les régimes transitoires. Le couplage des deux onduleurs de tension par un bus CC offre une très grande souplesse opérationnelle. La fréquence, la tension et le facteur de puissance peuvent être régulés de manière indépendante des deux côtés et aucune puissance réactive ne doit être fournie au système d'excitation. Le bus CC est équipé d'un limiteur de tension qui maintient sa tension dans les limites définies.

Les semi-conducteurs IGCT, technologie reine dans les convertisseurs de forte puissance, conjuguent les faibles pertes à l'état passant des composants GTO (*Gate Turn-Off*) et les changements d'état rapides des IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistors*). Du fait de leur structure monolithique, les IGCT offrent la même tenue aux surcharges que les thyristors et les GTO. Lors de la défaillance d'un semi-conducteur, le courant empruntera un canal conducteur dans la tranche de silicium. En régime de défaut, ce comportement garantit l'intégrité mécanique du boîtier du semi-conducteur de même que le parcours de conduction pour le circuit rotorique dans les applications à vitesse variable, évitant les dangereuses surtensions dans le rotor. Les autres types de semi-conducteurs du marché n'affichent pas tous la même sécurité intrinsèque.

7 Détail du PCS 8000 : son unique bus continu permet de stabiliser le système tout en gagnant de la place.



8 Le barrage de la STEP d'Avče, devenu site touristique.

L'excitation CA est pilotée par la plateforme de contrôle-commande avancée AC 800PEC d'ABB, conçue spécialement pour la commande ultrarapide des semi-conducteurs de puissance. L'automate programmable AC 800PEC est logé dans l'armoire de commande avec toutes les entrées/sorties (E/S) du système de commande moteur-générateur, du convertisseur d'excitation CA, du transformateur d'excitation, du circuit de refroidissement et des transformateurs de tension/courant. L'AC 800PEC fait partie de la gamme phare d'automatismes 800xA d'ABB. Il associe une unité centrale très puissante et des circuits logiques programmables pour la commande de systèmes complexes à électronique de puissance.

Les algorithmes de régulation ABB incluent des boucles de vitesse/puissance active et de tension/puissance réactive, de réglage de la tension du bus CC, de commande des séquences de démarrage/freinage et synchronisation ainsi que de commande des auxiliaires comme les circuits de refroidissement à l'eau, les ventilateurs, etc. De plus, l'AC 800PEC qui joue le rôle d'automate de régulation gère la communication avec le système de contrôle-commande de la STEP et la commande de l'excitation/régulateur, fournissant les consignes d'exploitation. La surveillance et la protection du convertisseur et du transformateur d'excitation sont programmées dans un autre AC 800PEC (automate de protection). Néanmoins, pour la sécurisation des équipements, les principales fonctions de protection sont aussi programmées en secours dans l'automate de régulation à des fins de redondance.

Toutes les tâches logicielles de maintenance et de diagnostic peuvent être réalisées sur PC en local, par le personnel d'ABB, ou à distance, avec une connexion Internet appropriée. C'est par ce biais que les équipes ABB ont pu suivre activement, depuis leur bureau, les essais sur site de la machine asynchrone à double alimentation pendant la mise en service du moteur-générateur. Elles ont ainsi fixé les consignes de puissance et de vitesse en fonction des exigences des essais, et les ont simplement transmises par téléphone. Le petit nombre de spécialistes ABB sur place a réduit le coût de la mise en service. Les séquences de démarrage/freinage de la machine sont assurées par le même système d'excitation CA PCS 8000, sans autre démarreur. La fonction de démarrage en mode moteur est totalement intégrée au logiciel PCS 8000, tout comme les séquences de synchronisation et de freinage. Un démarreur augmente la tension rotorique au démarrage ; il permet à la machine de démarrer et de se synchroniser en moins de quatre minutes et demie pour le cycle de pompage. Pour le turbinage, le fonctionnement est identique à celui des machines synchrones. Toutefois, dans les deux cas, le moteur-générateur étant une machine asynchrone, la synchronisation de l'équipement ne doit pas se faire à la vitesse de synchronisme. Seule la tension statorique et la différence d'angle de phase des deux côtés du disjoncteur d'alternateur doivent être prises en compte.

Paysage préservé

La STEP d'Avče, avec son convertisseur à source de tension et son excitation CA PCS 8000, confère des avantages très importants à l'exploitant SENG et à l'opérateur du réseau électrique. Elle se plie aux contraintes du réseau et aux exigences économiques tout en se fondant dans le paysage. Elle produit de l'énergie chère en périodes creuses, apporte une souplesse d'exploitation sur le marché ouvert de l'électricité et constitue une réserve primaire pour la régulation du réseau tout en stabilisant les lignes de transport électrique autour du site. Grâce à son démarrage rapide en pompage-turbinage, la machine asynchrone à double alimentation constitue, même hors ligne, une génératrice de secours, prête à démarrer instantanément en cas de brusque déséquilibre du réseau. Autre avantage, cette fois difficilement chiffrable : l'attrait touristique du bassin supérieur → 8, parfaitement intégré dans les paysages magnifiques de cette région de Slovénie.

Steve Aubert
ABB Automation Products
Turgi (Suisse)
steve.aubert@ch.abb.com

Intelligence collective

ABB met l'intelligence au service des distributeurs et des consommateurs d'électricité

PETR GURYEV, ENRICO RAGAINI – Le projet *Stockholm Royal Seaport* est l'une des premières grandes applications de «réseau électrique du futur» en Suède. Une zone couvrant trois secteurs urbains, dont le port, va ainsi être reconstruite pour créer un écoquartier utilisant les technologies les plus «vertes»: production locale d'énergie renouvelable, domotique, véhicules électriques, etc. ABB et Fortum, l'un des *leaders* scandinaves de la production et de la distribution d'électricité et de chaleur, collaborent à la définition d'une nouvelle approche de la distribution électrique. En règle générale, un projet de ce type fait l'objet d'une analyse coûts-avantages: il s'agit d'évaluer l'apport des technologies des réseaux «intelligents» à l'amélioration de leur fiabilité et à la réduction des interruptions de service. Cette analyse doit démontrer les avantages des équipements intelligents et justifier les investissements en termes d'économies et de baisse des pénalités.

L'évolution de la législation suédoise et le renforcement des réglementations à travers l'Europe obligent désormais les distributeurs d'électricité à réagir plus rapidement aux problèmes de qualité de service et de fourniture de leurs réseaux. La fréquence et la durée des coupures électriques sont généralement mesurées par deux indicateurs de fiabilité utilisés en régulation tarifaire: le nombre moyen d'interruptions du système «SAIFI» (*System Average Interruption Frequency Index*) et la durée moyenne d'interruption du système «SAIDI» (*System Average Interruption Duration Index*). Plus ces interruptions sont rares et courtes, plus la valeur de ces indicateurs est faible et les pénalités et indemnités à payer par le distributeur sont réduites.

Le cahier des charges du projet *Stockholm Royal Seaport* impose une amélioration de la qualité de la fourniture électrique et une diminution des interruptions d'alimentation. Pour ce faire, les exigences suivantes ont été définies:

Photo ci-contre
Vue conceptuelle du projet d'écoquartier (avec l'aimable autorisation de la ville de Stockholm et de Aaro Designsystem)

1 Comparaison des différentes solutions de poste basse tension

Facteurs	Solution traditionnelle (sans supervision ni redondance)	Appareils de coupure avec surveillance/ conduite	Lignes redondantes avec sélectivité avancée et surveillance/conduite
Simplicité	+	-	-
Investissement de départ	Très faible	Moyen	Élevé
Temps de détection des défauts	Long	Court	Court
Temps de réalimentation	Très long	Long*	Très court
Télésurveillance	–	+	+
Téléconduite	–	+	+

* variable selon la configuration du disjoncteur, l'utilisation de disjoncteurs parallèles et le type d'interruption

La télésurveillance et la téléconduite des équipements réduisent sensiblement la durée de bon nombre de coupures de courant.

– Délestage pour éviter les pannes générales lorsque le système électrique est dans un état critique ;
– Mesures visant à éviter les coupures dues aux surcharges ;
– Impact minimal des coupures dues aux courts-circuits ;
– Faible coût global de possession (dont achat des équipements, exploitation, maintenance et indemnisation pour incidents) ;
– Retour sur investissement rapide.

Améliorer les technologies traditionnelles

Les configurations traditionnelles de postes électriques basse tension (BT) et moyenne tension (MT) ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients. Les postes alimentant les clients non industriels et dotés le plus souvent de fusibles sur chacun des départs BT offrent une protection économique et fiable contre les courts-circuits et les surcharges. Revers de la médaille : en cas de coupure d'alimentation, l'absence de moyens de télésurveillance et de téléconduite oblige à intervenir manuellement pour rétablir le courant, opération qui peut prendre du temps. En fait, plusieurs minutes, voire plusieurs heures, peuvent s'écouler avant que l'opérateur ne prenne conscience du problème !

D'autres conceptions de poste remplacent les fusibles par des disjoncteurs électromécaniques avec, dans certains cas, une meilleure coordination des protections. Les plus gros postes utilisent même deux transformateurs au lieu d'un. Il n'en reste pas moins que, sans télésurveillance, toutes ces conceptions exigent le déplacement d'un agent pour rétablir l'électricité.

Pour autant, ces postes traditionnels peuvent tirer profit du progrès technologique, en particulier dans les domaines de l'électronique et de la communication. Dans les projets comme celui du Stockholm Royal Seaport, le réseau intelligent de distribution BT utilise un appareillage de coupure doté de fonctionnalités de télésurveillance et de téléconduite. Qui plus est, le système est basé sur des lignes électriques redondantes bénéficiant d'une coordination avancée des protections.

La télésurveillance et la téléconduite des équipements réduisent sensiblement la durée de bon nombre de coupures. Ainsi, lors d'un court-circuit, les informations sur le défaut sont immédiatement transmises à l'opérateur qui peut réagir en conséquence. Elles peuvent inclure les valeurs de courant et de tension, très utiles pour localiser le défaut. Par ailleurs, la télésurveillance contribue à optimiser le fonctionnement du système électrique. En cas de surcharge ou de risque de panne générale, lorsque le niveau de consommation est trop élevé, certaines charges peuvent être débranchées. Enfin, les sources de production renouvelables comme les panneaux solaires sont surveillées en temps réel.

La télésurveillance optimise le fonctionnement du système électrique.

2 Le disjoncteur Tmax XT4 d'ABB, conçu pour les réseaux électriques du futur.

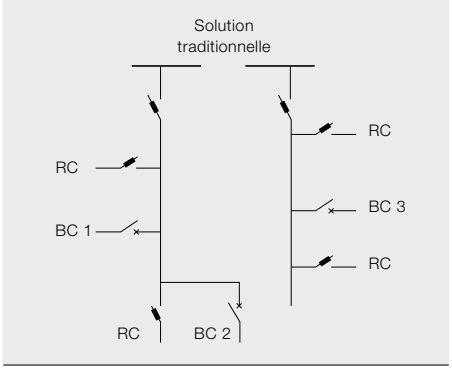
ABB propose un large éventail de produits pour la téléconduite et la télésurveillance des réseaux BT, notamment des compteurs communicants à installer avec les disjoncteurs électromécaniques ou les coupe-circuits à fusibles. Il s'agit d'une solution particulièrement avantageuse pour moderniser les postes existants. Un produit à la fois innovant et compact est le disjoncteur « tout en un » qui embarque le compteur et les fonctions de protection, mesure et communication.

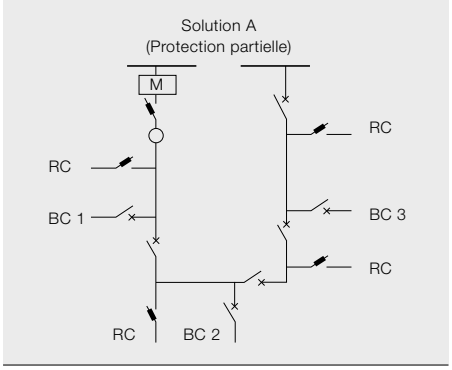
La télésurveillance accélère la détection des défauts et le rétablissement du courant. Néanmoins, lorsqu'un court-circuit se produit, il n'est pas toujours possible de réalimenter les clients tant qu'une équipe d'intervention n'a pas identifié et supprimé la cause du défaut. Dans un réseau de distribution radial classique, le courant ne peut pas emprunter des chemins redondants ; si un défaut se produit sur un segment de ligne, puis est éliminé par la protection qui lui est rattachée, toute la partie aval de la ligne est déconnectée, risquant de paralyser plusieurs clients. L'obligation de limiter désormais au minimum le nombre de clients touchés par le défaut donne lieu à une stratégie spécifique fondée sur de nouveaux principes et techniques (redondance des lignes, protection évoluée des disjoncteurs). De gros progrès peuvent être accomplis en équipant le réseau BT de lignes redondantes qui offriront deux chemins possibles pour raccorder n'importe quel client au système électrique. Qui plus est, chaque ligne est divisée en tronçons séparés par des disjoncteurs ou des interrupteurs. Seuls les tronçons en défaut sont déconnectés. Conjuguée aux schémas de sélectivité évolués mis en œuvre par les disjoncteurs intelligents, cette redondance autorise le rétablissement du courant de toutes les charges qui ne sont pas directement concernées, en un temps très court → 1.

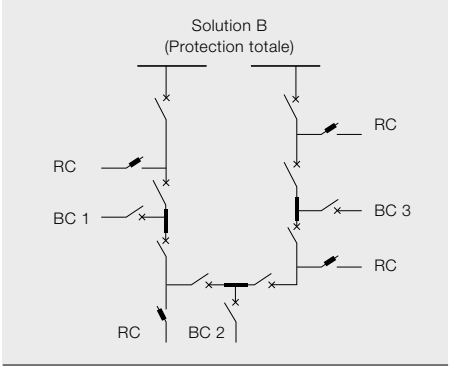
Les lignes redondantes sont normalement utilisées sur des réseaux de distribution MT souvent bouclés, ce qui permet de les alimenter par les deux extrémités. Elles peuvent fonctionner en boucle fermée (tous les disjoncteurs fermés) ou en boucle ouverte (un des disjoncteurs ouvert), créant ainsi deux lignes en antenne, chacune alimentée par un des postes d'extrémité. Quand un court-circuit survient, selon l'endroit du défaut, seul un groupe précis de disjoncteurs s'ouvre pour déconnecter le tronçon défectueux du système électrique, tout en continuant d'alimenter les autres charges.

De gros progrès sont envisageables si le réseau BT est équipé de lignes redondantes.

3 Solutions traditionnelle et préconisées pour poste et réseau de distribution BT







4 Pourcentage des indemnités à verser avec les différentes solutions

Type de défaut	Dépenses en cas d'interruption	Solution traditionnelle	Solution A	Solution B
Surcharge	Indemnisation des clients particuliers	50 %	0 %	0 %
	Indemnisation des clients professionnels	50 %	0 %	0 %
	Déplacement du personnel d'intervention	100%	0 %	0 %
Court-circuit	Indemnisation des clients particuliers	50 %	33 %	33 %
	Indemnisation des clients professionnels	50 %	33 %	0 %
	Déplacement du personnel d'intervention	100 %	100 %	100 %

Les disjoncteurs sont capables de localiser un défaut et de ne déconnecter que la partie concernée du réseau.

Le fonctionnement en boucle fermée est celui qui réduit le plus la durée d'interruption car il identifie et débranche automatiquement le tronçon en défaut de la ligne sans couper l'alimentation des autres tronçons. Il nécessite des protections à détection directionnelle, de plus en plus répandues dans les installations MT.

Pour disposer des mêmes avantages dans les lignes BT, on peut recourir à des disjoncteurs à protection directionnelle et interverrouillage logique. Chaque disjoncteur reconnaît le sens du courant de défaut et envoie un signal de non-déclenchement (« ne pas s'ouvrir ») au disjoncteur amont. Ce signal passe d'un disjoncteur à l'autre jusqu'au poste d'alimentation ; le disjoncteur au plus près du défaut ne le reçoit pas et déclenche. Si la ligne est alimentée par les deux extrémités, la même chose se produit dans les deux sens. Au final, seuls les deux disjoncteurs les plus proches du défaut s'ouvrent, alors que les autres restent fermés ; toutes les charges qui ne sont pas directement touchées par le déclenchement restent alimentées. La technologie des disjoncteurs BT à protection directionnelle et interverrouillage logique est une exclusivité ABB. Conçue à l'origine pour les installations électriques critiques comme, par exemple, celles des navires, elle élargit dorénavant son champ d'application pour devenir une des pierres de l'édifice des réseaux électriques du futur. La protection directionnelle est intégrée à tous les disjoncteurs BT à coupure dans l'air ABB, notamment les modèles Emax E1 à E6 et X1, de courant assigné mini de 630 A [1].

La « sélectivité » (aptitude des disjoncteurs à identifier l'origine d'un défaut et à ne déconnecter que la partie concernée du réseau) constitue la plus lourde exigence pour réduire les pannes générales et limiter les effets des défauts de tous types. La difficulté se corse pour les lignes plus courtes qui privilégient généralement les disjoncteurs en boîtier moulé pour leur compacité, leur durée de coupure réduite et leur meilleure limitation des courants de défaut. Jusqu'à une date récente, ces appareils ne disposaient d'aucun système de sélectivité de zone. Pour prévenir leur déclenchement, la détection des défauts et le traitement des signaux devaient se faire en moins d'une milliseconde (ms), exigence impossible à satisfaire par les protections intégrées existantes.

ABB franchit un palier technologique en basse tension avec la mise au point d'un système de protection dédié à interverrouillage rapide, qui permet aux disjoncteurs d'identifier et de débrancher auto-

matiquement le tronçon défectueux en moins de 5 ms. Cette protection ultra-rapide « EFDP » (*Early Fault Detection Protection*) est disponible sur les disjoncteurs en boîtier moulé Tmax T4 à T6, calibrés 250 A à 1000 A ➔ 2. Leur emploi garantit la sélectivité de zone : chaque disjoncteur détectant un court-circuit envoie un signal de non-déclenchement aux disjoncteurs amont afin que seul le disjoncteur confronté directement au défaut s'ouvre, ce qui réduit autant que possible la portion de réseau exclue du système électrique.

Analyse de rentabilité et temps de retour sur investissement

En phase de pré-étude du projet d'écoquartier de Stockholm, ABB élabora plusieurs scénarios pour analyser la rentabilité des solutions d'automatisation de ligne, en fonction des profils clients et des fonctionnalités requises.

Pour illustrer l'un de ces scénarios, démontrer ses avantages et évaluer son temps de retour sur investissement, les hypothèses suivantes furent retenues concernant les indemnités pour interruption de service que la solution éviterait en partie ou totalement au distributeur.

Indemnisation des professionnels

En supposant que le client professionnel est un petit commerce ou restaurant ouvert au moins 12 heures par jour, les indemnités quotidiennes maximales liées aux interruptions équivaudraient à 12 heures. L'indemnisation des professionnels représente pour le distributeur une des plus grosses dépenses que la solution permettrait d'éviter partiellement ou totalement.

Indemnisation des particuliers

On part du principe que certains résidents pourront être indemnisés, au titre de la législation suédoise, en cas d'interruption de fourniture supérieure à 12 heures. Le montant de l'indemnité est fixe et représente une part modique des économies potentielles.

Déplacement du personnel d'intervention

Toute interruption de courant évitée induit des économies en évitant le déplacement de personnel. Ces frais d'intervention sont faibles mais augmentent chaque heure que dure la coupure ; c'est le deuxième poste d'économies potentielles.

Solutions d'automatisation avancée de ligne pour poste et réseau de distribution BT

Pour répondre au cahier des charges du projet, deux solutions économiques (A et B) furent proposées ➔ 3, qui satisfont aux exigences fixées.

La solution traditionnelle sert ici de point de comparaison pour les solutions d'automatisation avancée A et B. Trois clients professionnels utilisent la solution traditionnelle, sur deux lignes non redondantes. Un distributeur n'est pas tenu de verser des indemnités pour des coupures de courant provoquées par les clients, sauf si elles font suite à la rupture d'un câble électrique. En cas de court-circuit ou de surcharge dans un quelconque tronçon de ligne, l'indemnité moyenne qu'un distributeur doit payer s'élève à 50 % de l'indemnité totale à verser si les 3 clients professionnels n'étaient plus alimentés.

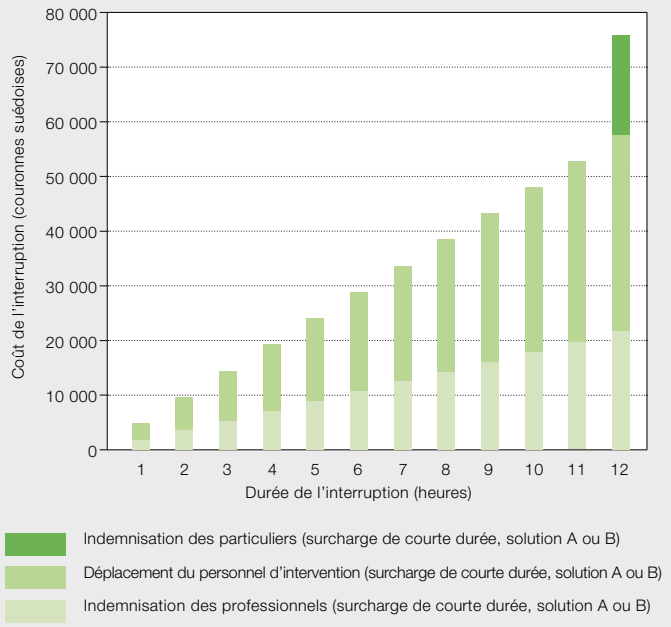
Dans la solution A à ligne redondante, des répartiteurs de puissance relient les différents tronçons. Dans ce cas, les professionnels et les particuliers sont protégés totalement des surcharges et partiellement des courts-circuits. En d'autres termes, les interruptions peuvent survenir dans un des trois tronçons de la ligne redondante et seuls les clients reliés à ce tronçon seront privés d'électricité. Par conséquent, l'indemnité moyenne versée à la fois aux particuliers et aux professionnels n'atteindra que 33 % de l'indemnité totale à payer si tous les clients étaient plongés dans le noir.

Avec la solution B, les clients professionnels sont raccordés à la ligne redondante par le biais de petites cabines à jeux de barres. Chaque cabine comporte deux disjoncteurs d'entrée, permettant à chaque jeu de barres d'être alimenté dans les deux sens. En outre, des dis-

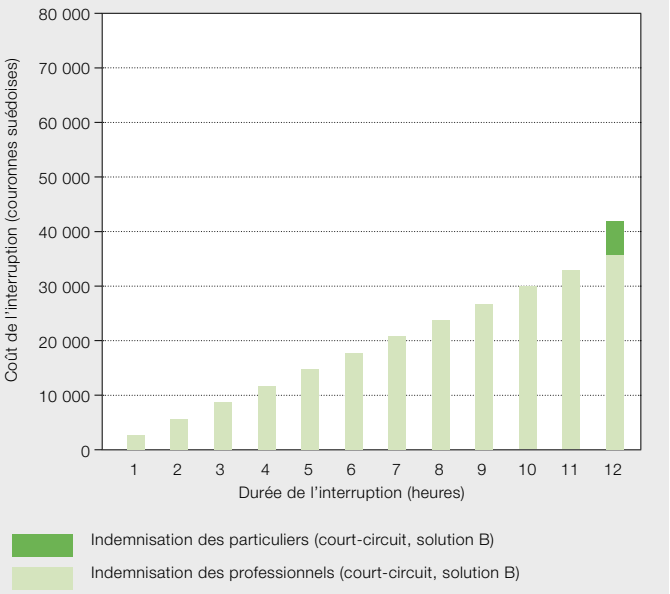
> En évitant la panne, on évite le déplacement des équipes d'intervention.

> Les disjoncteurs à protection ultra-rapide EFDP envoient un signal de non-déclenchement aux disjoncteurs amont afin que seul l'appareil confronté directement au défaut s'ouvre.

5 Cumul des économies réalisées avec la solution A ou B si l'interruption dure de 1 à 12 heures.



6 Cumul des économies réalisées avec la solution B si l'interruption dure de 1 à 12 heures.



La solution adéquate se fonde sur la probabilité d'apparition des différents types de défaut et sur le montant de l'indemnité à verser dans chaque cas.

joncteurs intelligents à protection directionnelle sont utilisés tout au long du parcours, jusqu'au poste d'alimentation. Cette solution assure une protection totale contre les surcharges ; s'agissant des courts-circuits, elle protège aussi totalement les professionnels mais partiellement les particuliers. Le risque de court-circuit sur les jeux de barres, à l'intérieur de la cabine, est généralement très faible. En cas de court-circuit dans l'un des trois tronçons de la ligne redondante, le distributeur devra verser aux particuliers 33 % des indemnités totales si tous les clients sont concernés et aucune indemnité aux professionnels.

Le tableau ➔ 4 récapitule, pour chaque type de défaut et solution, les indemnités correspondantes.

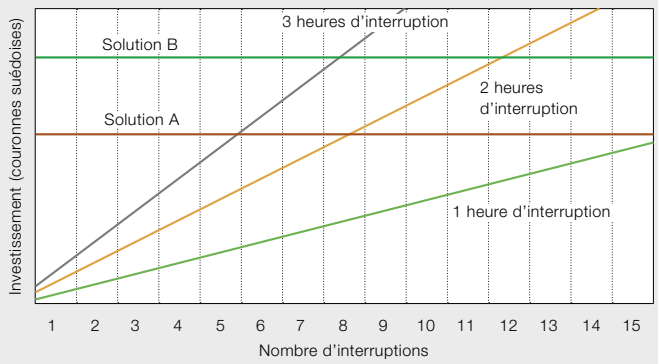
Le choix de la solution A ou B pour une installation donnée se fonde sur la probabilité d'apparition des deux types de défaut (surcharge et court-circuit) et sur le montant de l'indemnité à verser dans chaque cas. S'il y a court-circuit, la solution A allonge nettement la durée de l'interruption subie en moyenne par les clients professionnels, donnant la préférence à la solution B. En cas de surcharge, les deux solutions se valent. S'il existe une faible probabilité de court-circuit dans le réseau car, par exemple, les câbles sont protégés (gaines, chemins) et une forte probabilité de surcharge, la solution A peut être préconisée. Il faut aussi mettre dans la balance le coût de l'équipement, qui est inférieur pour la solution A.

Au vu de ces hypothèses, le cumul des indemnités qu'un distributeur peut économiser en cas de surcharge avec la solution A ou B, par rapport à la solution traditionnelle, est donné en ➔ 5. De même, les économies totales que le distributeur peut réaliser avec la solution B en cas de court-circuit, comparées à la solution traditionnelle, figurent en ➔ 6. Si le réseau ne dessert pas de clients professionnels ou s'il alimente des professionnels qui, en cas d'interruption, n'ont droit qu'à de faibles indemnités, la solution A l'emporte.

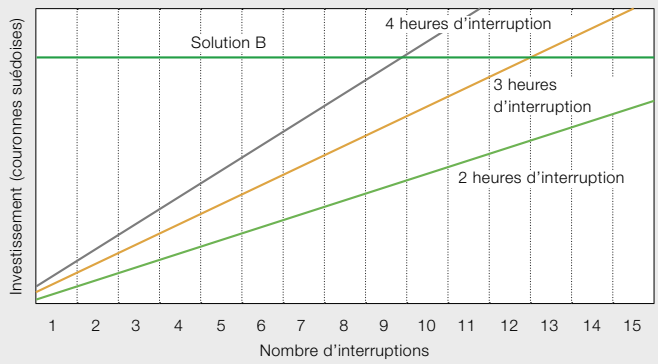
Retour sur investissement

Pour estimer le temps de retour sur investissement de l'équipement, il faut se rappeler que l'analyse de rentabilité se base sur deux facteurs de risque : la probabilité et la fréquence d'apparition d'un type de défaut. Pour les réseaux existants présentant de faibles indicateurs de qualité de l'électricité, on peut avoir recours à un historique des différents types d'interruption et de leur durée pour mieux cerner le temps de retour sur investissement attendu. Dans ce cas, en appliquant la solution A ou B, le distributeur sera certes confronté à autant de pannes que dans le passé mais il en limi-

7 Temps de retour sur investissement des solutions A et B combinées, en fonction du nombre et de la durée des surcharges évitées



8 Temps de retour sur investissement de la solution B seule, en fonction du nombre et de la durée des courts-circuits évités



tera l'incidence financière. Le temps total de retour sur investissement de l'équipement varie selon la fréquence et la durée des interruptions sur une ligne redondante donnée, en cas de surcharge. Si l'on s'en tient à la solution B, il est différent de celui obtenu avec les solutions A et B combinées ➔ 7, à cause de certaines pertes inévitables ➔ 8. Les durées reproduites sur les graphiques dependent du nombre et du type de clients raccordés à la ligne redondante ainsi que du coût de l'équipement. Les hypothèses émises sur les clients reflètent les conditions du marché suédois. Par ailleurs, elles s'appuient sur les prix « catalogue » du matériel, ce qui signifie que si le client négocie des conditions d'achat plus intéressantes, le temps total de retour sur investissement pourrait être considérablement raccourci. La décision d'appliquer la solution d'automatisation avancée de ligne A ou B se fonde toujours sur une analyse des risques d'interruption. Néanmoins, quelle que soit la solution retenue, elle offre au distributeur la « garantie » qu'en cas d'interruption de fourniture, tous types confondus, les indemnités, pénalités ou autres dédommagements lui seront soit épargnés, soit considérablement allégés.

Le choix d'une technologie intelligente pour les différentes solutions envisagées dans le cadre du projet *Stockholm Royal Seaport* est source d'économies et de fiabilité accrue pour le distributeur d'électricité.

Les solutions d'automatisation avancée proposées affichent des temps de retour sur investissement relativement courts et peuvent améliorer sensiblement les indicateurs de qualité de l'électricité des réseaux de distribution BT existants. Elles répondent parfaitement aux besoins des réseaux intelligents en autorisant la télésurveillance et la téléconduite, en renforçant leur fiabilité et en minimisant l'impact des interruptions de fourniture. Ces solutions sont préconisées pour les réseaux où les risques de surcharge tout comme les indemnités à verser aux clients professionnels en cas de coupure sont élevés. Le matériel a une durée de vie de 20 ans, ce qui présente un double avantage : amélioration notable du fonctionnement des réseaux BT et temps de retour sur investissement relativement rapide, ce qui est inhabituel pour ce type de matériel de distribution électrique. Le choix d'une technologie intelligente pour les différentes solutions envisagées dans le cadre du projet Stockholm Royal Seaport est à la fois source d'économies et de fiabilité accrue pour le distributeur d'électricité. Pour le consommateur final, elle garantit une qualité de service qu'il est en droit d'exiger pour ses activités personnelles et professionnelles.

Petr Guryev
ABB Global Trainee Program
Zurich (Suisse)
petr.guryev@ch.abb.com

Enrico Ragaini
ABB Low Voltage Products
Bergame (Italie)
enrico.ragaini@it.abb.com

Bibliographie
[1] Viaro, F., « Le disjoncteur nouveau est arrivé », *Revue ABB*, 3/2004, p. 27–31.

Lecture complémentaire
Pour en savoir plus sur la protection ultrarapide EFDP, lire « Low voltage selectivity with ABB circuit-breakers », *ABB Technical Application Paper QT1*, n° 1SDC007100G0204, mai 2008.

Bâtir pour durer

Des architectures intelligentes qui valorisent et protègent durablement vos investissements logiciels

ALDO DAGNINO, PIA STOLL, ROLAND WEISS – De nos jours, le logiciel occupe une place centrale dans la quasi-totalité des produits ABB pour accomplir des tâches cruciales, de plus en plus complexes. La tendance s'accélère au point que certains systèmes industriels ne sont plus que du logiciel. Leur maintenabilité à long terme et leur durabilité sont désormais primordiales pour garantir un bon retour sur investissement, tout au long du cycle de vie du produit : deux critères qui doivent reposer sur une architecture bien choisie et pérenne.

Notre monde est bâti sur un savant écheveau de technologies imbriquées : les réseaux d'énergie alignent un impressionnant parc d'équipements de production et de distribution pour nous garantir au quotidien la lumière, le chauffage . . . ; une succession de prodiges technologiques transporte les molécules d'or noir puisées des fonds marins à la pompe de notre station-service. Tout ce que nous achetons et consommons nous parvient par un subtil enchaînement d'actions coordonnées qui, pour la plupart, échappent au regard ; notre interaction directe se cantonne à la partie émergée de cet iceberg technologique.

ABB fournit bon nombre des produits qui sous-tendent notre société. Dans l'antre de cette infrastructure invisible, mais devenue incontournable, s'affairent des logiciels de plus en plus complexes. Et la tendance n'est pas près de s'infléchir ; bien au contraire, d'ores et déjà, certains produits ABB ne sont que logiciels.

D'autres mêlent intimement logiciel et matériel jusqu'à les confondre et enfouir le logiciel dans le matériel. Quoiqu'il en soit, ces chevilles ouvrières du monde moderne investissent presque tous les secteurs industriels : réseaux de distribution d'énergie et d'eau, procédés de transformation (papier, pétrole et gaz, pétrochimie, pharmacie, chimie, etc.), sites manufacturiers de toutes sortes.

Cette prépondérance du logiciel dote ces produits de puissantes capacités d'adaptation et de décision tout en favorisant l'autonomie des systèmes. Du coup, l'opérateur voit son rôle évoluer : plus question de se contenter de régler des consignes à la main ; à présent, il supervise, affine les paramétrages, localise les défauts. Un système industriel moderne peut aujourd'hui commander et contrôler un processus avec un minimum d'intervention humaine, en inter-

> Pour garantir le retour sur investissement, un système industriel à forte composante logicielle doit durer des décennies.

Photo ci-contre
Des logiciels sophistiqués sont au cœur d'une grande partie des technologies visibles et invisibles qui, en filigrane, tissent notre quotidien. Sous ces édifices urbains, par exemple, fourmille tout un monde de systèmes logiciels aussi complexes qu'indispensables. Qu'ils gèrent les installations techniques d'un gratte-ciel ou les cotations d'une salle de marchés, tous partagent une qualité essentielle : une architecture robuste et pérenne.

Les architectes doivent comprendre les incidences du contexte économique dans lequel évoluent les parties prenantes sur les contraintes et règles de l'architecture logicielle.

agissant de manière autonome avec des tas d'autres systèmes, sur un même site.

On peut pousser encore plus loin cette « synergie fonctionnelle » en faisant interagir les composants logiciels à un degré qu'aucun assemblage d'organes matériels ne pourrait prétendre. Bref, le logiciel constitue un immense gisement de valeurs pour les clients d'ABB.

Cette sophistication s'accompagne pourtant de deux contraintes majeures : la maintenabilité et la pérennité. Pour offrir une garantie de retour aux investisseurs, qu'ils soient clients ou développeurs, un système industriel à forte composante logicielle doit pouvoir être maintenu en condition opérationnelle de façon économique, des décennies durant : bref, être foncièrement *durable*.

Une pérennité qui ne va pas sans écueils : innovations, voire ruptures technologiques, nouvelles exigences des parties prenantes, création et restructuration des organisations, perte de compétences précieuses, changement de cap de l'entreprise. Qui plus est, les systèmes à prédominance logicielle héritent souvent d'un patrimoine qui pèse lourd sur l'architecture et les développements en cours. Si l'entreprise a, par le passé, finement anticipé les besoins des acteurs impliqués et adapté le développement en conséquence, la prise en compte des préoccupations actuelles dans le système se fait tout naturellement. De la même façon, il lui faut dès maintenant prédire les besoins futurs et sélectionner les problématiques les plus importantes.

Pour cela, les architectes doivent comprendre la manière dont le contexte organisationnel des « parties prenantes » (clients, utilisateurs, développeurs, gestionnaires de projet, chefs de produit, responsables de maintenance, etc.) peut influer sur les contraintes et règles d'architecture logicielle. C'est le cas, par exemple, lorsque, dans le cadre de fusions-acquisitions d'entreprises, plusieurs systèmes doivent ne faire plus qu'un ou partager un socle commun.

De surcroît, ces parties prenantes peuvent avoir des attentes divergentes, souvent contradictoires. L'architecte doit gommer ces disparités et trouver un juste équilibre avec les contraintes techniques et économiques.

La durabilité n'est donc pas qu'affaire de structures et d'interactions logicielles ; elle doit aussi tenir compte de leur contexte d'utilisation ou *environnement* au sein de l'entreprise : organisation, activité, tactique, champ d'action [1].

Condition *sine qua non* pour relever ces défis et préserver ainsi l'intégrité des systèmes logiciels complexes, sur plusieurs décennies : asseoir ces systèmes sur des fondations très solides. L'architecte logiciel joue ici un rôle capital.

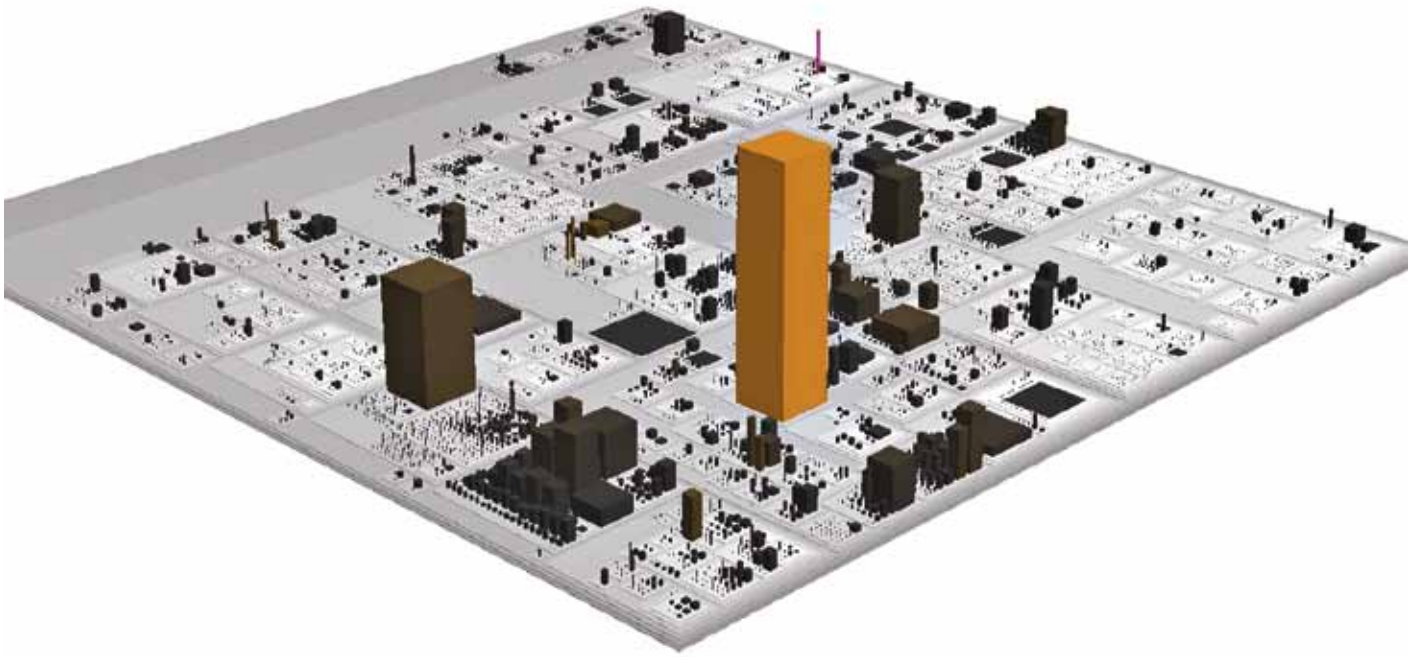
Architecture logicielle

L'étude de l'architecture logicielle porte en grande partie sur les structures du logiciel et leurs interactions. L'origine de la discipline remonte à 1968 lorsque l'informaticien néerlandais Edsger Dijkstra forge le terme *génie logiciel* pour décrire ses travaux sur son système d'exploitation « multiprogrammation THE » (*Technische Hogeschool Eindhoven*), qui autorise l'exécution de plusieurs tâches séquentielles à la fois, chacune ayant l'usage du processeur pendant une fraction de temps. Dijkstra prône une architecture en couches qui prend en charge la testabilité du logiciel (capacité à être validé par rapport au cahier des charges), liant ainsi ce critère de qualité aux structures de l'architecture logicielle [2]. Vingt ans plus tard, Mary Shaw décrit différents *patrons* ou *styles architecturaux* [3] en ces termes : « [. . .] *les grandes décisions concernent les types de modules et sous-systèmes à utiliser et la façon dont ils sont organisés. Ce niveau d'organisation nécessite de nouvelles formes d'abstraction qui caractérisent les propriétés essentielles des principaux sous-systèmes et leurs modes d'interaction* ». Shaw propose des pistes communes pour résoudre des problèmes spéci-

« Nous modelons nos bâtiments tout comme ils nous façonnent »,

WINSTON CHURCHILL, TIME (12 SEPTEMBRE 1960)

1 Architecture d'un système logiciel et représentation du code par analogie avec un plan d'urbanisme



fiques et des concepts pour trouver une solution à chaque problème. Un exemple nous est donné par le modèle architectural du *tableau noir*, qui constitue une base de connaissances commune, mise à jour de façon itérative par un groupe de spécialistes de divers horizons, la démarche débutant par un cahier des charges ou *spécification* et aboutissant à une solution. C'est notamment ce principe qui permit de résoudre les tout premiers problèmes logiciels rencontrés en reconnaissance vocale.

Selon la norme ISO/CEI 42010:2007, l'architecture système est «*l'organisation fondamentale d'un système mis en œuvre par ses composants, les relations entre ces derniers et leur lien avec leur environnement, et les principes qui régissent la conception et l'évolution du système*».

Les composantes d'une architecture logicielle peuvent être comparées aux bâtiments d'une ville. Prenons, dans le monde réel, l'exemple d'un immeuble que l'on sécurise en ne lui autorisant qu'une voie d'accès, de surcroît gardiennée et protégée par mode de passe. Le corollaire logiciel serait de ne permettre qu'une seule possibilité d'accès à un composant, à partir de sources sûres et habilitées. Les spécialistes de l'architecture logicielle sont constamment à la recherche de nouvelles méthodes pour concevoir leurs «plans d'urbanisme» en vue d'améliorer des aspects qualitatifs comme l'utilisabilité, la sécurité, la performance, la fiabilité ou l'efficacité énergétique. Cette métaphore urbaine permet en fait de décomposer l'architecture logicielle en quartiers, pour représenter les composants/paquetages (collection d'éléments de modélisation), et en bâtiments, pour visualiser les classes, dont les dimensions sont déterminées par des métriques comme la taille du code source ou la complexité cyclomatique (codecity.inf.usi.ch) ➔ 1.

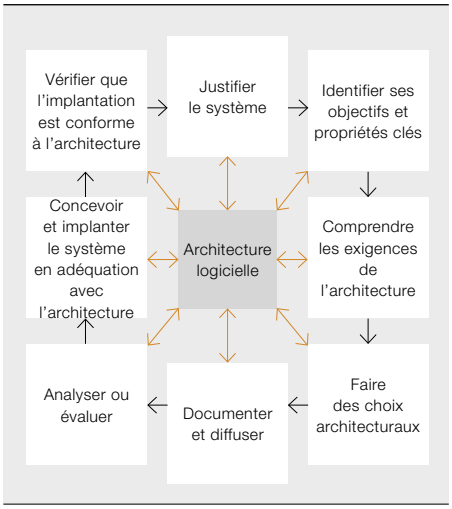
La conception architecturale d'un système est un *processus* au sens où elle prescrit une succession d'étapes pour produire ou modifier l'architecture au vu des contraintes qui pèsent sur ses éléments et leurs relations. C'est aussi une *discipline* dans la mesure où un corpus de connaissances doit renseigner les concepteurs sur le meilleur moyen d'élaborer cette architecture contrainte, en se concentrant sur les interfaces internes entre composants ou sous-systèmes, et sur l'interface externe entre le système et son environnement, en particulier l'utilisateur.

Les modèles architecturaux des logiciels industriels ABB

Chercheur en architecture du bâtiment, Christopher Alexander défend, dans son ouvrage *The Timeless Way of Building* (1979), l'idée d'une multitude de situa-

Les éléments d'une architecture logicielle peuvent être comparés aux constructions d'une ville.

2 Méthode de conception ABB



3 Interface graphique

tions socio-spatiales incluant un lieu, des événements et une occupation (activités humaines, déplacements), à différentes échelles ou unités granulaires (villes, bâtiments, intérieurs), qu'il nomme *patrons architecturaux*. Chacun de ces modèles décrit un problème récurrent dans notre environnement, puis les briques de base de la solution de façon à pouvoir utiliser cette dernière.

Cette réflexion sur les différentes formes d'un bâtiment a inspiré bon nombre d'architectes logiciels ; dans leur domaine, les modèles de conception décrivent les fondements d'une solution à des problèmes logiciels récurrents. Quand C. Alexander se polarise sur l'*utilisabilité*, à savoir les usages et pratiques collectives liés à un bâtiment, les patrons d'architecture logicielle se concentrent sur les facteurs de qualité comme la sécurité, la performance, la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité, etc.

L'étude et le développement d'une architecture logicielle au sein d'ABB obéissent à une méthodologie bien rodée.

Les systèmes logiciels industriels d'ABB s'appuient sur des catégories d'architectures courantes *(client-serveur, événementielle, multiniveau* et *centrée sur les données*), présentées ci-après.

Architecture client-serveur

Dans cette architecture, les tâches ou la charge applicative se répartissent entre des fournisseurs de services (*serveurs*) et des utilisateurs (*clients*). Sa mise en place suppose l'existence d'un réseau informatique permettant à la machine qui héberge l'application cliente de dialoguer avec le programme serveur situé sur une autre machine. Le serveur est un puissant ordinateur capable d'exécuter un ou plusieurs programmes qui mettent leurs ressources en commun avec une multitude de clients. Le client, quant à lui, ne partage rien : il sollicite le serveur à l'aide de requêtes pour accéder à son contenu ou effectuer des traitements ; il a donc l'initiative de la communication [4].

Architecture événementielle

On entend par *événement* tout changement d'état significatif d'un système comme, par exemple, des informations provenant de composants d'entrées/sorties. Cette architecture peut s'appliquer à la conception et à la réalisation de systèmes qui transmettent des événements entre des composants et services logiciels/matériels à faible couplage. Un système événementiel se compose habituellement de *producteurs* et de *consommateurs* d'événements, ces derniers ayant la responsabilité de réagir immédiatement à l'apparition d'un événement. Cette architecture favorise la réactivité car les systèmes événementiels sont naturellement conçus pour les environnements imprévisibles et asynchrones [5]. De nombreux systèmes ABB, dans le contrôle-commande de procédés ou le manufacturier, par exemple, fonctionnent sur ce principe : une entrée externe est constamment reçue et traitée, et les actions adéquates sont déclenchées.

Architecture multiniveau

Ce type d'architecture client-serveur décompose un même système ou application en trois parties logiques – présentation (interface utilisateur), traitement (services) et gestion (données) –, d'où son appellation d'*architecture à trois niveaux*. Elle est employée, par exemple, par la couche logicielle intermédiaire (*middleware*) qui traite les requêtes entre un utilisateur et une base de données. Précision sémantique : si l'on confond souvent les notions de *couche* et de *niveau*, beaucoup s'accordent à faire la distinction entre la couche, qui renvoie à l'organisation logique des éléments constitutifs de la solution logicielle, et le niveau, qui désigne la topologie physique de l'infrastructure du système [6].

Architecture centrée sur les données

Le composant central est ici un système de gestion de base de données (SGBD), encore appelé *serveur de données*, qui stocke un ensemble de procédures exécutées selon une logique gérée par tables. Cette approche tire avant tout parti des fonctions d'indexation, de traitement transactionnel, d'intégrité, de reprise et de sécurité des SGBD de pointe [7].

4 Exemple d'application vitale pour l'entreprise

Les enjeux architecturaux d'ABB

Le cycle d'évaluation et de développement d'une architecture logicielle au sein d'ABB obéit à une méthodologie en huit étapes [8] ➔ 2 :

Justifier et définir le système (*business case*)
Cette étape recense les exigences du système logiciel et fournit un guide pour en déterminer les propriétés.

Identifier les objectifs du système et ses éléments créateurs de valeur
Sur la base de l'étape précédente, il faut cerner les objectifs et éléments moteurs du système dans un « atelier de définition des attributs de qualité » (*Quality Attribute Workshop*), par exemple, dont on tient compte lors de l'analyse des exigences du système et des choix architecturaux.

Comprendre les exigences de l'architecture
On distingue deux types d'exigences, fonctionnelles et non fonctionnelles : les premières définissent les fonctionnalités de base du système et les secondes, ses besoins qualitatifs et comportementaux, comme l'utilisabilité ou la performance (*attributs de qualité*).

Choisir l'architecture
Les attributs de qualité souhaités d'un système déterminent sa forme architecturale. Le système intègre à cette fin des tactiques de conception spécifiques.

Documenter et communiquer
Pour jouer un rôle déterminant dans la conception logicielle, l'architecture doit être clairement documentée et efficacement transmise aux parties prenantes, en tenant compte de leur diversité professionnelle (développeurs, ingénieurs essais, clients, responsables…). Cette documentation doit également éclairer le processus de prise de décision qui conduit à l'architecture cible.

Analyser ou évaluer
Les qualités de l'architecture logicielle doivent être évaluées en regard des exigences définies par les parties prenantes. Des techniques à base de scénario sont pour cela des outils efficaces.

Concevoir et implanter le système en adéquation avec l'architecture
Une documentation claire et fournie est indispensable aux concepteurs et développeurs pour garantir le respect de l'architecture définie.

Vérifier que l'implantation est conforme à l'architecture définie
La culture de l'entreprise doit aider à la maintenance à la fois du code et de l'architecture, en particulier au stade de la maintenance du système.

La méthode ABB

ABB utilise la méthodologie synthétisée en ➔ 2, à différentes fins :

- Savoir si l'architecture d'un produit existant répond toujours aux exigences de qualité du marché et, en particulier, à l'évolution des attentes des clients ;
- Évaluer les technologies nouvelles et émergentes qui pourraient servir à refondre ou améliorer un produit existant ;
- Développer ou revoir une architecture produit afin de satisfaire aux attributs de qualité et aux fonctions attendues par le client ;

La culture de l'entreprise devrait dicter la maintenance du code et de l'architecture logiciels.

Le client voulait réduire les coûts de maintenance, renforcer l'évolutivité du système et accroître ses performances.

– Vérifier et valider une toute nouvelle architecture en évaluant les scénarios correspondants.

Des exemples de ces quatre finalités sont donnés ci-après, dans le cadre de projets menés par la recherche ABB avec plusieurs divisions opérationnelles du Groupe.

Évaluer l'existant

La méthode ATAM (*Architecture Tradeoff Analysis Method*), mise au point par l'institut de génie logiciel SEI (*Software Engineering Institute*) de Pittsburgh (États-Unis), est employée par ABB pour évaluer l'architecture de produits logiciels existants et nouveaux. Sa force réside dans le résultat de l'analyse qui arbitre entre les différents attributs de qualité de l'architecture (points forts et points faibles, gains et coûts…) et montre son contexte d'utilisation. Dans notre exemple, les clients participant à l'évaluation ATAM s'interrogeaient sur l'usage d'un générateur de code pour des modules embarqués ; les développeurs du moteur du générateur s'étant focalisés sur l'attribut « portabilité », rien ne leur garantissait l'attribut « performance » des modules de code produits par l'outil.

La méthode ATAM prouva au client que ce moteur produisait un code dont l'architecture pouvait légèrement gagner en efficacité, mais au prix d'une moindre portabilité. L'analyse ATAM du dossier de justification du système montra en effet que la portabilité, prioritaire au stade du développement, était passée au second rang. Preuve que l'on pouvait désormais viser l'optimisation des performances du logiciel et non plus sa portabilité, sans perte de marchés pour le client.

Jauger les technologies émergentes

Une autre évaluation porta sur les techniques logicielles émergentes, candidates à la création de la nouvelle interface graphique ➔ 3 d'un logiciel de gestion des opérations. Le client voulait remplacer son interface pour diminuer les coûts

Il était dès lors possible de viser l'optimisation des performances du logiciel et non plus sa portabilité, sans perte de marchés pour le client.

de maintenance, améliorer l'évolutivité et les performances du système : autant d'objectifs et d'avantages directement traduits en critères de qualité logicielle pour élaborer et évaluer l'architecture et les choix technologiques. On procéda à une analyse de l'architecture du système et des technologies retenues pour en déduire un ensemble d'exigences architecturales choisies en accord avec la division opérationnelle qui pilotait cette évaluation. Un sous-ensemble des exigences identifiées fut aussi sélectionné pour créer un scénario qui devait à son tour servir à évaluer ces technologies au moyen de prototypes. Il en ressortit deux technologies et les choix architecturaux correspondants, qui furent alors mis en concurrence pour ne finalement retenir qu'une solution.

Développer une nouvelle architecture

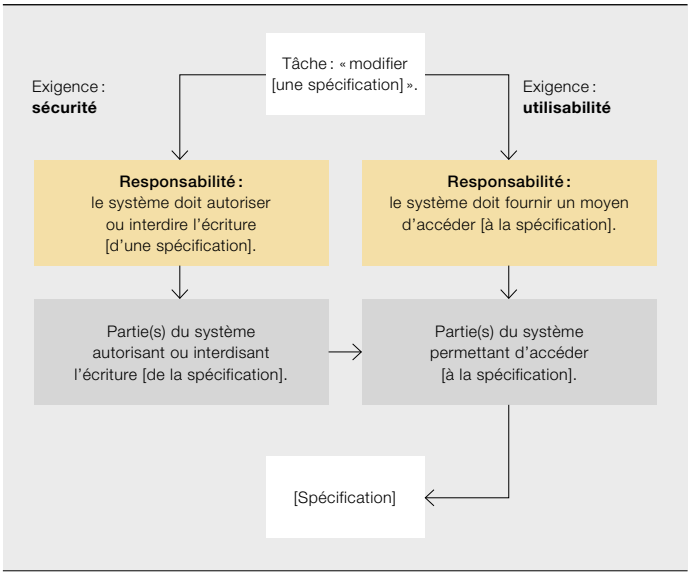
Conception basée sur les attributs (ADD)

La méthode ADD (*Attribute-Driven Design*) [9] servit à concevoir l'architecture d'un logiciel d'extraction de données intégrant un système stratégique d'ABB ➔ 4 et un large éventail d'applications tierces utilisées sur des sites clients. Ce développement posait trois exigences : la facilité d'intégration du système à une panoplie d'applications tierces, sa capacité à collecter de gros volumes de données et sa très grande vitesse d'exécution pour l'utilisateur. Ces critères permirent de définir quatre grands attributs de qualité (intégrabilité, évolutivité, performance et sécurité) pour ensuite créer les scénarios permettant d'élaborer et d'évaluer les choix architecturaux du système et d'en dégager le meilleur. Une fois l'architecture système sélectionnée, on réalisa un prototype qui fut soumis aux clients : un excellent moyen de tirer parti de leurs commentaires et suggestions pour finaliser le système.

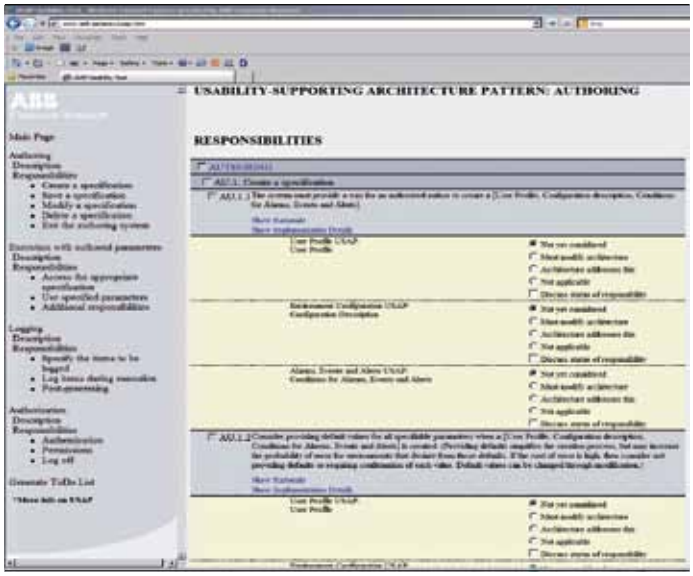
Conception orientée utilisabilité (USAP)

L'exemple suivant de développement d'une nouvelle architecture est axé sur l'utilisabilité. En logiciel, une tâche utilisateur

5 Tâche et exigences de qualité [1]



6 Écran de l'outil USAP



peut comporter de multiples exigences de qualité, encore appelées *préoccupations* ; il faut souvent trouver un compromis entre la sécurité, qui autorise ou interdit l'accès des utilisateurs habilités ou non au système, et l'utilisabilité, qui le facilite → 5. Dans la méthode USAP (*Usability-Supporting Architecture Pattern*), le terme *responsabilité* désigne les sous-tâches génériques que doit accomplir le système logiciel pour garantir l'utilisabilité de la tâche principale, chaque responsabilité étant assortie de consignes d'implantation architecturale.

ABB entreprit une étude USAP sur les logiciels industriels durables et participa au perfectionnement de la méthode et à la description d'un outil logiciel permettant de visualiser les responsabilités définies → 6.

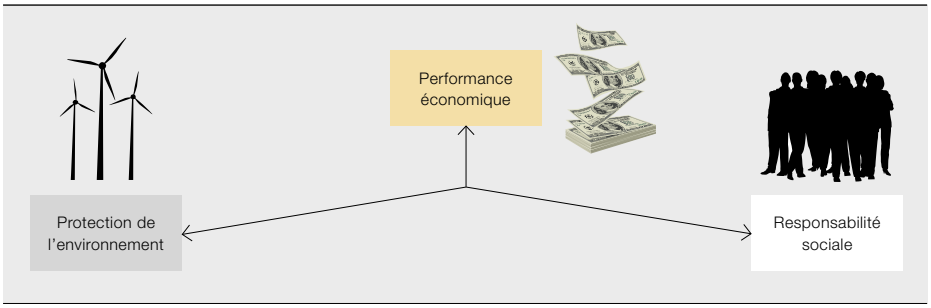
Cet outil gère une bibliothèque ou *usine d'expérience* [10] abritant un référentiel de connaissances architecturales réutilisables pour un ensemble de scénarios d'interactions avec l'environnement du système. Trois scénarios donnèrent lieu à une liste de 42 responsabilités décrivant la façon de revoir l'architecture pour satisfaire aux exigences d'utilisabilité. L'un d'eux portait sur les interactions « Alarmes et événements » entre le système et son environnement. L'outil permet d'appréhender les exigences d'utilisabilité [11] très en amont du processus de développement logiciel ; les deux architectes ABB qui l'utilisèrent pendant six heures estimèrent avoir économisé cinq semaines d'effort. Trois aspects significatifs se dégagent de l'étude :

– Les patrons orientés utilisabilité sont avant tout décrits au niveau des responsabilités. Indépendants de l'implantation, ils amènent les architectes à réfléchir sur la relation entre une responsabilité particulière et la conception présente du système ;
– L'usage de descriptions textuelles pour les consignes d'implantation, plutôt que graphiques, a été bien reçu par les architectes d'ABB. Un premier groupe d'étude avait en effet montré quelques réticences à utiliser des instructions graphiques. Avec la représentation textuelle, l'outil permet aux architectes de travailler sur un seul aspect du patron à la fois, au lieu de les obliger à superposer le graphique de la totalité du patron sur leur conception pour débusquer les lacunes.
– L'outil encourage les architectes à pointer méthodiquement chaque élément de la liste et, ce faisant, à passer en revue tous les aspects du patron.

Précisons en outre que rien dans l'outil USAP de livraison du logiciel n'est spécifique aux patrons d'utilisabilité : n'importe quel attribut de qualité, dont les exigences peuvent s'exprimer en termes de responsabilités (la sécurité, par exemple), pourrait sans doute être incorporé à l'outil, ce qui permettrait de représenter les mêmes parties d'un système sous le double prisme de l'utilisabilité et de la sécurité.

Deux architectes ABB ayant utilisé l'outil USAP pendant six heures ont estimé avoir économisé cinq semaines d'effort en appréhendant les exigences d'utilisabilité très en amont du processus de développement logiciel.

7 Les trois piliers de l'entreprise durable



« Quand nous bâtissons, c'est pour l'éternité.»

JOHN RUSKIN (1849)

Vérifier et valider une nouvelle architecture

Une importante mise à jour d'un logiciel ABB avait contraint le responsable de l'équipe de développement en charge de cette nouvelle version à travailler d'arrache-pied sur l'architecture *ad hoc*. La recherche ABB étant partie prenante du processus, c'est à une entreprise externe et indépendante que l'on confia l'évaluation de la nouvelle architecture. Elle utilisa la documentation fournie par l'équipe projet et les résultats de l'atelier de définition des attributs de qualité pour mettre à plat les exigences de qualité logicielle du système. Elle interrogea ensuite tous les acteurs impliqués, dont la direction de la division opérationnelle ABB, les responsables produits et les architectes système. La démarche permit de tirer les conclusions suivantes :

- Les principales décisions concernant cette nouvelle architecture étaient bonnes et conformes aux objectifs premiers du projet ;
- La documentation manquait de précision par endroits et devait être affinée pour éviter les erreurs de conception ;
- Le raisonnement étayant les décisions de conception ne figurait pas dans cette documentation, rendant les évolutions futures plus difficiles, avec le risque de dérives par rapport à l'architecture cible.

Cet « audit » eut le double mérite de renforcer la confiance de la division opérationnelle d'ABB dans la nouvelle architecture et de pointer les problématiques qui devaient être creusées et retravaillées.

À l'épreuve du temps

On l'aura compris, notre discipline n'a pas ménagé ses efforts pour jeter les bases d'une architecture logicielle durable ! Mais sur quels aspects particuliers devons-nous porter notre attention pour consolider cette durabilité ?

En 1849, le critique d'art anglais John Ruskin écrivait : « *Quand nous construisons, c'est pour l'éternité* ». Si ces propos s'appliquaient alors à l'architecture des bâtiments, ils sont aujourd'hui d'actualité dans l'univers du logiciel.

Les deux piliers d'une architecture durable sont le procédé de construction et le bâti ; or, si ce dernier « vieillit », le procédé demeure et peut se reproduire sans grands apports de l'extérieur. Dans le bâtiment, l'architecture durable s'appuie sur au moins cinq fondements :

- Pérennité technique : les talents de l'architecte et du constructeur peuvent-ils se concrétiser et se transmettre à autrui ? A-t-on accès aux outils indispensables ?
- Stabilité organisationnelle : existe-t-il une structure permettant de fédérer les différents acteurs impliqués sans avoir besoin, par exemple, de faire appel à chaque fois à une expertise externe ?
- Assise financière : dispose-t-on des moyens et services pour financer les travaux ?
- Durabilité écologique : la démarche évite-t-elle l'épuisement des ressources naturelles et la pollution de l'environnement ?
- Durabilité sociale : le procédé dans son entier et le produit collent-ils aux besoins de la société ?

La durabilité économique [12] est l'un des trois axes du développement durable d'une entreprise → 7. Dans les systèmes à prédominance logicielle, elle se subdivise en durabilité *technique*, *organisationnelle* et *financière*.

La première s'appuie sur le choix d'une technologie garantissant non seulement les qualités requises mais aussi une plateforme pour la maintenabilité et l'évolutivité des systèmes à longue durée de vie. La

compétence des développeurs et la compatibilité avec d'autres produits de l'entreprise sont, entre autres, cruciales. La durabilité *organisationnelle* assure la disponibilité des ressources adéquates, tant humaines que matérielles, pour conduire le développement avec le maximum d'efficacité. La durabilité *financière* s'attache à ce que le logiciel développé permette à l'entreprise d'obtenir les résultats économiques escomptés ; il importe que les bons processus soient mis en œuvre et scrutés pour réduire les coûts qui n'apportent pas de valeur ajoutée au produit (reconception, non-qualité, etc.).

Les architectures logicielles peuvent aussi contribuer à la durabilité *écologique*, elle-même tributaire des structures et interactions du système logiciel. Une architecture conçue pour limiter la consommation d'énergie d'un produit en accroît la valeur environnementale. Enfin, on peut accroître la durabilité *sociale* si l'architecture s'emploie à simplifier la tâche quotidienne des développeurs, à les stimuler et à les motiver.

Perspectives

Les équipes de développement d'ABB ont saisi l'importance d'une architecture logicielle construite avec méthode et rigueur. Elles ont pour la plupart bien défini le rôle de l'architecte logiciel et privilégié des méthodologies comme la conception par attributs ADD.

En parallèle, ABB poursuit sa démarche d'amélioration de la discipline, dans des domaines prometteurs pour le Groupe. Citons notamment :

- l'identification et l'inventaire des meilleures pratiques de développement logiciel donnant la priorité à la durabilité, comme c'est le cas des systèmes de contrôle-commande distribué d'ABB ;
- l'évaluation des avantages et du champ d'application des architectures de lignes de produits logiciels comme base de développement au sein d'ABB, de même que l'encouragement à la réutilisation systématique de logiciels « à gros grains » ;
- la mise au point de méthodes favorisant la prise de décisions en amont du développement, sans passer par un prototypage lourd. À cette fin, ABB a participé au projet de recherche de l'Union européenne Q-ImPrESS (www.q-impress.eu) sur l'évolution des attributs de qualité performance, fiabilité et maintenabilité ;
- la mise à profit de ces principes et règles de conception pour accroître la modularité, la maintenabilité, l'évolutivité et la portabilité des futurs systèmes d'automatisation.

Les unités de développement ABB ont pour la plupart défini le rôle de l'architecte logiciel et adopté des méthodologies comme la conception par attributs ADD.

Aldo Dagnino
ABB Corporate Research
Raleigh (Caroline du Nord, États-Unis)
aldo.dagnino@us.abb.com

Pia Stoll
ABB Corporate Research Center
Västerås (Suède)
pia.stoll@se.abb.com

Roland Weiss
ABB Corporate Research Center
Ladenburg (Allemagne)
roland.weiss@de.abb.com

Bibliographie

[1] Stoll, P., *Exploring Sustainable Industrial Software System Development within the Software Architecture Environment*, Mälardalen University Press, Västerås, Suède, octobre 2009.
[2] Dijkstra, E., *The Structure of the T.H.E.-Multiprogramming System*, Communications of the ACM 11, 5:341–346, 1968.
[3] Shaw, M., « Larger scale systems require higher-level abstractions », *Fifth International Workshop on Software Specification and Design*, 1989.
[4] Berson, A., *Client/server Architecture*, McGraw-Hill, New York, NY, 2e édition, 1996.
[5] Hanson, J., « Event-driven Services in SOA », *JavaWorld*, 31 janvier 2005, http://www.javaworld.com/javaworld/jw-01-2005/jw-0131-soa.html, consulté le 16 septembre 2009.
[6] Urgaonkar, B., Pacifici, G., Shenoy, P., Spreitzer, M., Tantawi, A., « An Analytical Model for Multi-tier Internet Services and Its Applications », *SIGMETRICS 2005*.
[7] Manuel, P. D., AlGhamdi, J., « A Data-centric Design for N-tier Architecture », *Information Sciences*, vol. 150, n° 3–4, p. 195–206, avril 2003.
[8] Bass, L., Clements, P., Kazman, R., *Software Architecture in Practice*, 2e édition, Addison-Wesley, Pearson Education, Boston (États-Unis), 2003.
[9] Shaw, M., Garlan, D., *Software Architecture: Perspectives on an Emerging Discipline*, Prentice Hall, 1996.
[10] Basili, V. R., Caldeira, G., Rombach, H. D., *Encyclopedia of Software Engineering*, chapitre « The Experience Factory », Wiley, 1994.
[11] Stoll, P., Bass, L., John, B. E., Golden, E., « Supporting Usability in Product Line Architectures », *13th International Software Product Line Conference (SPLC)*, San Francisco (États-Unis), août 2009.
[12] Dyllick, T., Hockerts, K., « Beyond the business case for corporate sustainability », *Business Strategy and the Environment*, n° 11, p. 130–141, 2002.

Intégrer pour optimiser

L'intégration des opérations garantit la sécurité et la rentabilité des sites pétrolifères et gaziers

KATRINE HILMEN, ESPEN STORKAAS – Les défis de l'industrie pétrogazière ne manquent pas : d'un côté, des champs en fin de production, de plus en plus difficiles à exploiter ; de l'autre, des gisements tout juste découverts mais en terrain hostile, quand ce n'est pas au beau milieu de nulle part ! Pour autant, qui dit défis dit innovations. De nouvelles tendances se dégagent dans les domaines du développement sous-marin, de l'extraction intelligente, de la télésurveillance, de la gestion des actifs et de la maintenance. Autant d'opérations que concrétise ABB avec une large panoplie de solutions et services intégrés.

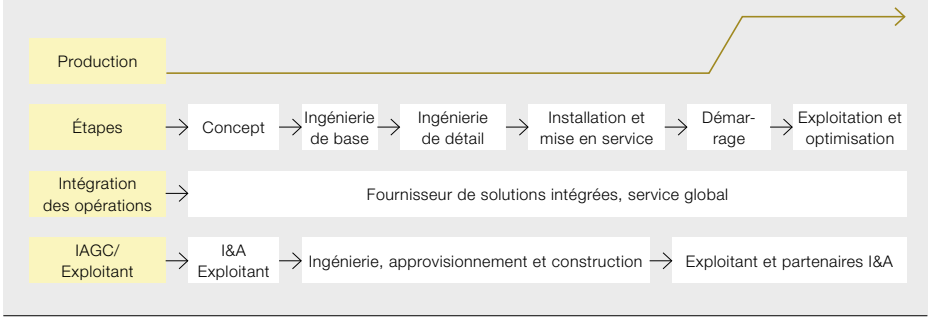
Les activités « amont » (exploration, production) de l'industrie pétrolière et gazière se heurtent toujours au même dilemme : comment sécuriser la production à grand renfort de capteurs, d'outils informatiques, de diagnostics, de techniques de communication et de processus métier sans compromettre la rentabilité des opérations ? Arrivés à maturité, les champs commencent à s'épuiser et les coûts d'extraction explosent. Les réservoirs plus récents ne sont guère mieux lotis, éloignés de tout, au fin fond des océans comme sous la glace polaire. Plusieurs facteurs de changement se profilent sur trois fronts :

- Économie : baisse des dépenses d'exploitation et hausse des taux de récupération et des capacités de production ;
- Géographie : exploitation de gisements isolés, en environnement extrême ;
- Sécurité : diminution de l'exposition aux risques environnementaux et des émissions polluantes, intégrité des opérations.

L'innovation change aussi la donne, en étendant toujours plus le champ des possibilités techniques.

Photo ci-contre
Pour rentabiliser au maximum une plate-forme pétrolière ou un complexe gazier, il est essentiel d'exploiter à bon escient toutes les données pertinentes disponibles.

1 Un projet d'optimisation de la production met en jeu plusieurs acteurs, étapes et responsabilités.



Les technologies et services ABB optimisent la production, l'exploitation et la maintenance des installations, de l'extraction à l'acheminement des hydrocarbures.

De nouvelles approches se font jour dans le développement des ressources d'hydrocarbures : exploitation de champs satellites et raccordements sous-marins, puits intelligents et interventions légères sur puits, intérêt grandissant pour la télésurveillance, modèles d'organisation associant la gestion intégrée des actifs et l'adoption de principes de maintenance mondialement reconnus.

La notion générique d'« intégration des opérations » répond en partie à ces problématiques. Reprise par les géants du pétrole et du gaz, sous diverses appellations anglo-saxonnes (*Smart Fields, Digital Oil Fields, Intelligent Energy,* etc.), elle désigne des concepts et solutions applicables sur toute la durée de vie d'un puits, du premier forage au déclin de la production.

Pour concrétiser cette démarche, ABB a mis sur pied un ensemble de solutions, de méthodologies et de services avec, en ligne de mire, la sécurité, la santé, l'environnement et l'augmentation de la production. La figure → 1 illustre les étapes, rôles et responsabilités relevant de ce dernier objectif. Au-delà de ses missions classiques, ABB intervient en qualité de fournisseur de solutions d'intégration ou de prestataire de services d'ingénierie pour accélérer le démarrage des puits, rationaliser les besoins en personnel, améliorer l'exécution et la préparation à l'exploitation. ABB peut ainsi contribuer à allonger la durée d'exploitation d'un champ, par exemple, en apportant son expérience opérationnelle à toutes les étapes, depuis le choix des concepts jusqu'à l'optimisation des opérations, en passant par les études techniques, la mise en service et le démarrage. ABB a aussi dans son portefeuille d'autres solutions créatrices de valeur, dans des domaines aussi variés que le contrôle-commande des procédés, la gestion des alarmes, la conception des salles de conduite, la simulation sur le cycle de vie, l'intégrité fonctionnelle des systèmes, la maîtrise et l'optimisation des écoulements.

Les rouages de l'intégration des opérations

ABB propose tout un éventail de technologies et de services pour optimiser la production, l'exploitation et la maintenance des équipements, du puits au terminal d'expédition. Son offre s'articule autour de quatre axes → 2 :

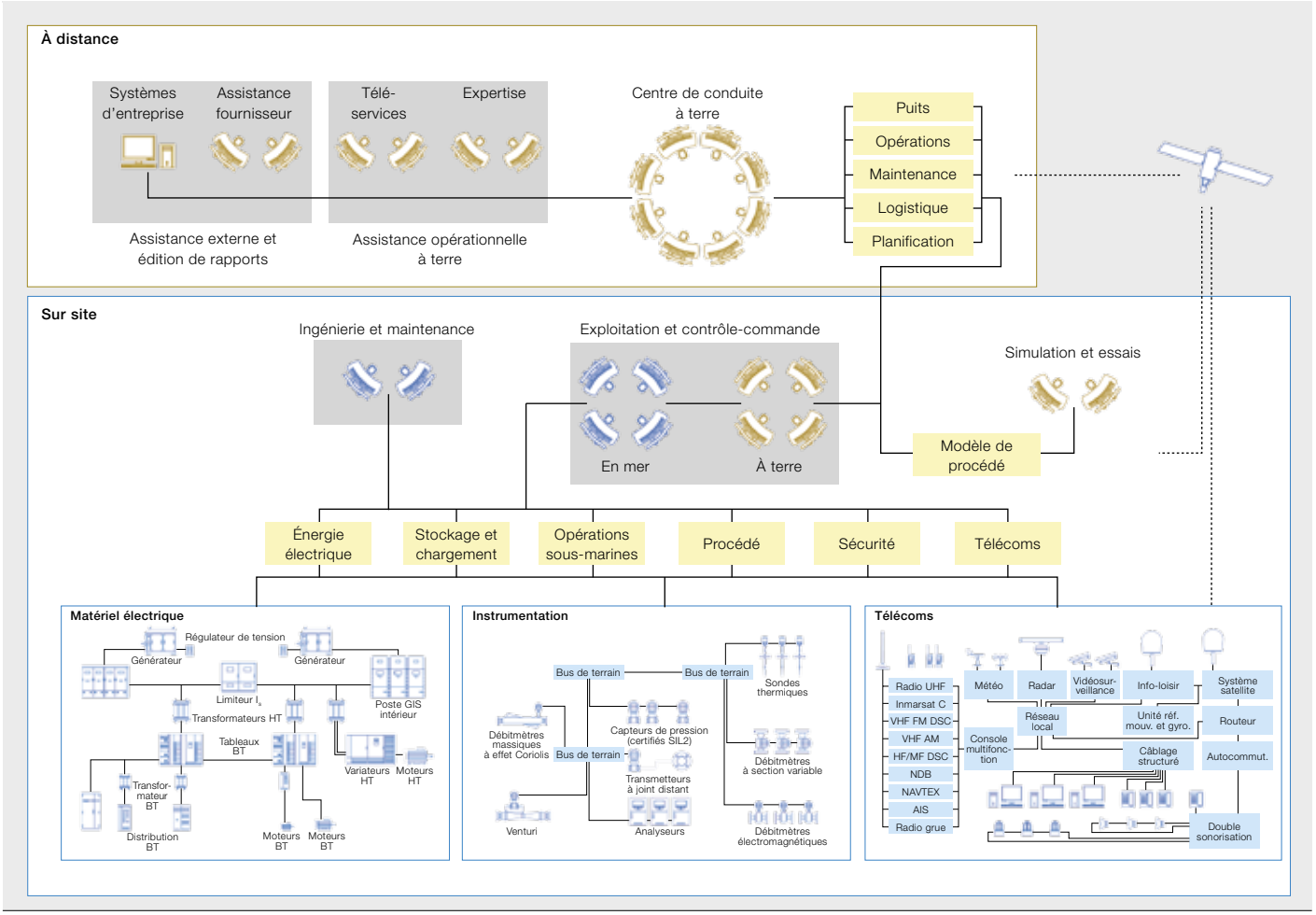
- Infrastructure informatique/télécom et sécurité ;
- Collecte et présentation des données, y compris les applications logicielles de téléassistance ;
- Gestion « intelligente » et optimisation de la production et de l'exploitation ;
- Suivi d'état, diagnostic et édition de bilans.

Dans ce contexte, ABB entend être un partenaire et un fournisseur de systèmes intégrés, sur toute la durée de vie des équipements. Son centre spécialisé dans l'intégration des opérations a mis au point des produits, solutions et offres d'assistance qui viennent compléter les technologies d'ABB et de sociétés tierces pour les activités pétrole et gaz amont, en particulier les installations offshore et sous-marines. Pour en tirer le meilleur parti, une collaboration pluridisciplinaire de même qu'un savoir-faire et une formation en technologies et exploitation de l'or noir sont indispensables.

Les solutions dédiées pétrole, gaz et pétrochimie englobent plusieurs domaines :

- Contrôle-commande et optimisation de la production et des procédés ;
- Intégrité de la sécurité et gestion des alarmes ;
- Intégration des systèmes de télé-conduite et télé-exploitation ;

2 La téléassistance et l'intégration des opérations exigent des infrastructures et des équipements bien conçus. Enjeu fondamental : l'intégration de l'instrumentation, des automatismes et des technologies de l'information et de la communication avec les systèmes de gestion des opérations et de la maintenance.



- Sécurité informatique et réseaux de communication ;
- Systèmes et services de suivi d'état ;
- Surveillance des émissions polluantes et amélioration de l'efficacité énergétique ;
- Maîtrise et optimisation des écoulements multiphasiques ;
- Gestion et surveillance des puits sous-marins intelligents ;
- Collecte et stockage des données, mise en place d'environnements de travail collaboratif ;
- Suivi des performances du contrôle-commande des procédés sur le cycle de vie ;
- Réseaux de capteurs sans fil.

Une intégration payante

Les surcoûts d'investissement en infrastructures intégrées sont en général amortis en phase d'exploitation, avec des gains quantifiables :

- Accroissement de la production (3 à 5 %) ;
- Réduction des pertes de production, report d'exploitation ou augmentation du taux de récupération (20 à 40 %) ;
- Baisse des coûts d'exploitation et de maintenance (15 à 30 %) ;
- Renforcement de la sécurité par la diminution des risques et l'amélioration de l'environnement de travail, de la logistique et du transport ;
- Réduction de la pollution, amélioration de l'efficacité énergétique, de la surveillance de l'environnement et des opérations en mer.

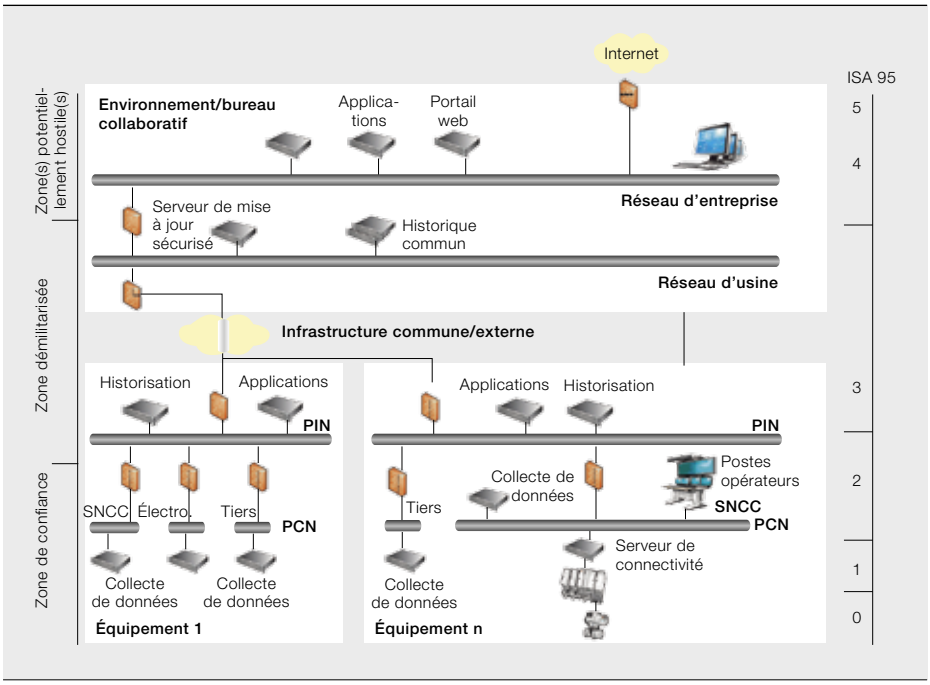
Fondements architecturaux

Les principales composantes d'un système facilitant l'intégration des opérations d'une plate-forme en mer sont conformes au niveau 5 de la norme ISA 95 → 3. On distingue :

- une architecture efficace d'intégration des données et historiques, assortie de solutions d'interfaçage et de connexion pour rassembler et diffuser toutes les informations utiles ;
- une architecture performante et sûre associant technologies de l'information et réseaux de communication pour faciliter l'accès, la surveillance et l'assistance collaborative à distance ;
- un système de gestion d'actifs complet renseignant sur la performance et la maintenance de tous les grands postes techniques et unités de traitement ;
- des applications d'optimisation et de gestion des opérations quotidiennes ;
- une interface utilisateur commune ;

Le vocable « intégration des opérations » regroupe les solutions, méthodologies et services visant à doper la production de pétrole et de gaz.

3 Principaux niveaux d'intégration des systèmes TI selon la norme ISA 95



– un environnement de travail (salles et postes de conduite) collaboratif.

Au-delà du volet technique, une intégration des opérations réussie tient à des procédures de travail, des politiques d'exploitation adéquates et une organisation entièrement acquise à la démarche. Autres ingrédients essentiels : des processus décisionnels et une collaboration multidisciplinaires et transversaux, autant internes qu'externes à l'entreprise (fournisseurs et prestataires de services).

Voyons à présent quelques éléments phares de l'offre ABB pour l'optimisation de la production, la gestion des actifs et la sécurité.

Optimisation de la production

Pour compenser le déclin des champs, l'industrie du pétrole et du gaz se tourne de plus en plus vers l'*offshore* profond et le raccordement sous-marin de champs périphériques plus petits aux infrastructures existantes. L'un des impératifs du secteur est l'optimisation de la production : un enjeu de taille quand on sait que le taux de récupération des hydrocarbures par grands fonds est généralement de 10 à 15 % inférieur à celui des puits en surface !

ABB a développé le système FAOS (*Flow Assurance and Optimization System*) pour piloter, surveiller, optimiser et réguler les écoulements d'hydrocarbures. Parmi ses fonctionnalités, citons :

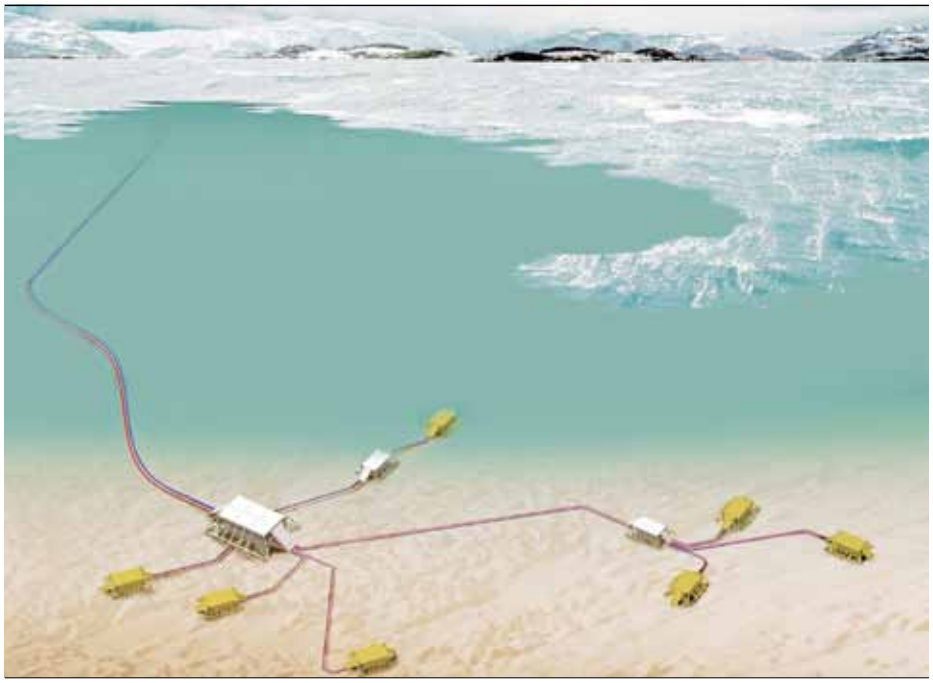
– le contrôle-commande : la solution AFC (*Active Flowline Control*), brevetée ABB, régule et stabilise les puits et les conduites pour garantir la continuité de la production. Elle intervient aussi en phase d'essais, avec une très grande précision, pour fournir de précieuses informations permettant d'optimiser la production. Enfin, elle protège les puits des brusques variations de pression au démarrage, et les équipements aval des surcharges.
– le suivi de production : la surveillance des puits et des conduites est primordiale, surtout pour prévenir leur engorgement par la formation d'hydrates (mélanges de glace et d'hydrocarbures), le dépôt de paraffine, de boue ou autres matières solides. Des modèles mathématiques en temps réel, capables de prédire nombre de ces problèmes, concourent à l'enrichissement des programmes d'optimisation de la production.

Pour les gisements simples, ABB possède son propre système de surveillance des puits WMS (*Well Monitoring System*) qui s'appuie sur des modèles en régime permanent pour calculer les taux de production sur l'ensemble du site et signaler les éventuels problèmes d'écoulement.

Pour les réservoirs plus complexes, dont le comportement dynamique peut être décisif, on utilisera la solution vedette de simulation d'écoulements multiphasiques *OLGA Online*, du groupe SPT, partenaire d'ABB. Arrêtons-nous sur deux de ses fonctions qui prennent le relais du contrôle-commande en place :

– Optimisation de la production, à l'aide de mesures primaires (physiques) et secondaires. Les stratégies d'optimisation couvrent un large spectre fonctionnel qui s'étend des solutions ciblées, telles que l'optimisation de l'extraction au gaz, aux outils génériques de commande prédictive par modèle, comme *cpmPlus Predict & Control* d'ABB. À plus longue échéance, la surveillance de la production peut fournir de précieuses informations aux logiciels de simulation (*Eclipse*) et d'optimisation de réservoirs.
– Gestion de la maintenance : au fond des mers, la moindre défaillance matérielle peut virer à la catastrophe et nécessiter l'intervention de robots téléguidés (*ROV*) ou navires de réparation hors de prix. La maintenance des équipements doit donc être soigneusement planifiée. Tout aussi cruciale est la détection opportune des défauts naissants et des besoins de maintenance. La suite FAOS dispose pour cela de nombreux outils de gestion et d'optimisation.

4 La maintenance prédictive est de plus en plus jugée indispensable pour rentabiliser les gisements complexes, comme les puits de production sous-marins.



Le système de maîtrise et d'optimisation des écoulements FAOS d'ABB exploite toutes les synergies.

FAOS regroupe ces fonctionnalités et bien d'autres dans un système intégré qui joue de toutes les synergies entre les différentes composantes de la suite : les mesures virtuelles effectuées par le système de surveillance, par exemple, peuvent servir de variables secondaires au contrôle-commande AFC, tout comme ce dernier peut faire office de plateforme de mise en œuvre des consignes envoyées par le module d'optimisation. De surcroît, l'intégration garantit une interface utilisateur unifiée, permettant aussi bien un survol rapide qu'une analyse experte des données. La suite FAOS réside dans l'infrastructure d'intégration des opérations d'ABB et toutes ses informations sont accessibles par le réseau d'entreprise du client.

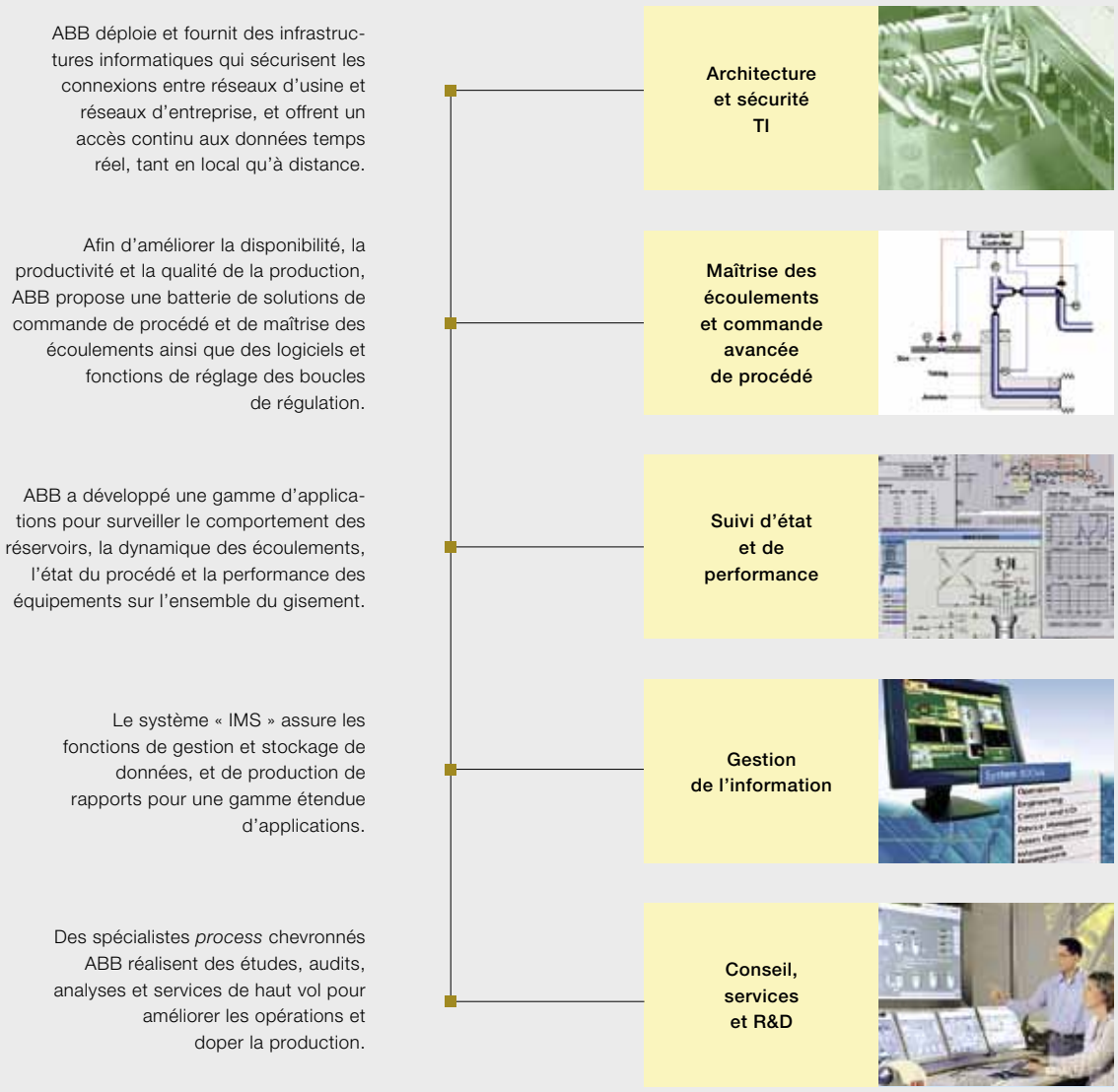
Au chapitre de la sécurité informatique, ABB propose une gamme complète de prestations de conseil visant à préserver la confidentialité, la disponibilité et l'intégrité des données industrielles (équipements et automatismes) du client. L'offre ABB respecte les normes d'entreprise, nationales et internationales, et met en œuvre des solutions et procédures techniques de qualité. Sont également au programme des solutions de sécurité prédéveloppées, qui apportent les premiers éléments de réponse aux risques inhérents aux systèmes d'automatisation industrielle.

Gestion d'actifs et services globaux

De plus en plus reconnue pour ses vertus économiques, la maintenance prédictive → 4 consiste à gérer les interventions en s'appuyant sur une prévision fiable de l'usure des équipements, tout en garantissant leur fiabilité et leur intégrité. La méthode fait recette dans les installations offshore et isolées, dont les frais de personnel et de déplacement sont considérables. Elle permet également d'alléger le budget de fonctionnement par une limitation des arrêts non programmés, une exploitation au plus près des limites assignées et une meilleure organisation du calendrier de maintenance. La maintenance conditionnelle, quant à elle, fait largement appel aux techniques de suivi et d'édition de rapports et bilans en temps réel.

Le système intégré de gestion d'actifs ABB offre une infrastructure commune pour mutualiser les données de maintenance de chaque système. Tous les grands lots techniques d'ABB (électricité, instrumentation, contrôle-commande et télécoms) sont dotés de fonctions évoluées de surveillance et de diagnostic qui peuvent facilement s'insérer dans sa gestion d'actifs. Le suivi à long terme fournit des informations importantes sur l'état des équipements, les tâches à effectuer et les potentiels d'amélioration. L'intégration de systèmes tiers est également possible. La gestion d'actifs ABB permet d'accé-

5 Vue d'ensemble de l'intégration des opérations ABB dans l'industrie pétrogazière



Les vertus économiques de la maintenance prédictive sont de plus en plus reconnues.

der en temps réel à ces données et facilite le suivi et le diagnostic, tout en intégrant la planification et la gestion de l'ensemble des ressources, flux et procédures (ERP) de l'entreprise.

Son atout maître ? La présentation de la totalité des données de maintenance pertinentes sur une interface utilisateur uniforme, qui permet de recouper et de comparer plusieurs fonctions de surveillance afin d'éclairer la prise de décisions.

Sécurité

En matière de sécurité et de gestion des alarmes, ABB offre une palette complète de solutions et services couvrant tout le cycle de vie, dans le respect des normes et meilleures pratiques industrielles : sensibilisation et formation du personnel aux problématiques de sécurité, analyse comparative de performances, projets et services d'amélioration, édition de rapports et bilans, maintenance des systèmes, intégration de la sécurité et du contrôle-commande.

Importance du secondaire

Si l'on en juge par les retours d'expérience dont nous disposons, l'intégration des opérations doit en grande partie sa réussite aux changements organisationnels de l'entreprise et à la motivation du personnel pour acquérir des connaissances et des compétences nouvelles. À vrai dire, ces facteurs « de second plan » pèsent plus de 80 % dans la démarche !

Autosuggestion

ABB n'échappe pas à la tendance : son département Services a amorcé le virage de l'intégration en déployant des partenariats avec les industriels, en repensant la notion de service et en améliorant les

produits et solutions qui favorisent cette orientation. Sont ainsi apparues de nouvelles formules de contrats, comme les contrats de performance et, en haut de l'échelle, le « service global ». Les systèmes électriques sous-marins et les technologies de puits intelligents en sont deux autres exemples.

Valorisation

L'un des pionniers de l'intégration des opérations a vu chuter les coûts d'extraction d'un petit champ pétrolifère sur le déclin, en mer du Nord. Le premier contributeur à la réduction des dépenses d'exploitation et à l'évolution des prévisions de production fut un facteur de second plan, à savoir le changement organisationnel, auquel se plia sans rechigner le personnel, motivé par l'idée de donner un second souffle au site. Partenaire de l'exploitant sur toute la durée du programme, ABB a mené des entretiens et géré la transition tout en mettant en œuvre des technologies de soutien à la télé-exploitation. Ce client majeur d'ABB a depuis capitalisé sur cette expérience

À Ormen Lange, la disponibilité des installations a augmenté de quatre à cinq jours par an.

réussie pour formaliser les procédures de travail, rôles et responsabilités, et instaurer un nouveau modèle d'organisation de l'offshore.

Plus récemment, une équipe d'*ABB Integrated Operations*, spécialiste de l'optimisation de la production et des procédés, est intervenue sur le champ gazier Shell d'Ormen Lange [1], en Norvège, pour assurer des tâches de suivi des performances du contrôle-commande, de simulation et de réglage, de mise en service et d'aide au démarrage. La mission a donné d'excellents résultats : accroissement du nombre de jours productifs, réduction des fluctuations, amélioration de l'efficacité énergétique et baisse de la pollution. Les installations ont ainsi « *gagné quatre à cinq jours de disponibilité par an.* » Pour avoir une idée des retombées économiques de l'intervention, il faut savoir qu'Ormen Lange tirera, au plus fort de sa production, quelque 20 milliards de mètres cubes de gaz par an, soit l'équivalent de la consommation totale d'énergie de la Norvège.

Autre bénéficiaire du partenariat et des développements ABB pour l'optimisation de la production, le Norvégien Statoil. À la suite d'une démarche d'intégration des opérations destinée à améliorer la gestion du sable sur le champ pétrolier de Gullfaks, l'opérateur a encaissé 300 millions de dollars supplémentaires (15 000 barils/jour) en 2003, et 190 millions de dollars de plus (3,8 millions de barils) l'année suivante. La mise en place d'un système de gestion de l'érosion, basé sur les données process et de production, et de types de duses permettant un contrôle actif du sable fut déterminante. Dans un rapport de la *Society of Petroleum Engineers* [2], Statoil fait état de « *95 millions de dollars de recettes supplémentaires (1,9 million de barils)* » pour le champ de Statfjord, en 2004. Ces sommes colossales, calculées pour un baril à 60 dollars, atteignent aujourd'hui, avec l'envolée des cours, des montants bien plus élevés. Sur le plan de la sécurité, la possibilité de surveiller la production de sable et d'évaluer l'érosion avec plus de précision, et d'adapter les volumes de sable autorisés aux conditions du puits, sont des avantages inestimables pour ces champs matures. L'exemple de Statoil illustre à merveille les gains que l'on peut escompter du mariage réussi d'une technologie innovante et d'un réel changement de stratégie organisationnelle.

Demain sera intégré

L'offre Intégration des opérations d'ABB → 5 s'emploie à doper la productivité, réduire la consommation énergétique et comprimer les coûts d'exploitation des industriels du pétrole et du gaz par une utilisation poussée des informations disponibles, telles que les données process temps réel et le suivi d'état des équipements. C'est là l'occasion d'optimiser notablement l'exploitation des réserves d'hydrocarbures. L'intérêt économique de la démarche n'est plus à démontrer ; nul doute qu'elle sera indissociable de l'avenir du secteur pétrogazier.

En 2004, le champ norvégien de Statfjord a généré 95 millions de dollars de recettes supplémentaires (1,9 million de barils).

Katrine Hilmen
Espen Storkås
ABB Integrated Operations
Products and Solutions Center
Oslo (Norvège)
katrine.hilmen@no.abb.com
espen.storkaas@no.abb.com

Bibliographie

[1] *Integrated Operations: Process control commissioning at Ormen Lange,* http://www05.abb.com/global/scot/scot267.nsf/veritydisplay/b23bba112053485585257894004ca8cf/$file/ormen_lange_mars2011.pdf.
[2] *SPE 94511, Production enhancement from sand management philosophy: A Case Study from Statfjord and Gullfaks,* Society of Petroleum Engineers, http://www02.abb.com/global/seitp/seitp161.nsf/0/66864703b31245cbc12571f70031820e/$file/SPE+94511.pdf, 2005.

Émissions sous surveillance

Un contrôle prédictif « intelligent » pour améliorer l'écobilan des sites industriels

NUNZIO BONAVITA, FEDERICO CALLERO – Connaître avec précision et fiabilité les émissions polluantes d'un procédé industriel, à tout instant, est crucial pour mettre en œuvre les actions adéquates visant à maintenir cette pollution sous le seuil légal. Les industries de *process*, de plus en plus soumises à la pression réglementaire, ont donc commencé à s'équiper de systèmes de management environnemental (SME) pour surveiller, recueillir et traiter ces données. Si l'on dénombre en théorie plusieurs types de contrôles, le plus efficace et le plus fiable est la surveillance en continu des émissions (SCE) dans laquelle des instruments à réponse rapide acquièrent et affichent en temps réel un flux ininterrompu de données. La surveillance prédictive des émissions (SPE) suscite également un intérêt croissant ; elle s'appuie sur un modèle empirique pour prédire les concentrations de substances polluantes, à partir des données du procédé. La solution a démontré sa validité dans le cadre d'un SME global mis en place dans l'un des plus grands complexes de traitement du gaz naturel au monde.

Selon la norme ISO 14001, un système de management environnemental (SME) doit permettre à une entreprise d'élaborer des procédures et d'en évaluer l'efficacité pour mettre en œuvre une politique et des objectifs environnementaux, de s'assurer de leur conformité avec cette politique et de démontrer ladite conformité [1]. Dans cette optique, un SME type remplit plusieurs fonctions :

- la collecte et le traitement des données environnementales ;
- l'élaboration d'indicateurs clés de performance environnementale ;
- la planification de l'évaluation de cette performance ;
- le calcul des émissions et l'édition de bilans ;
- l'archivage et les vérifications aux fins d'audit.

La surveillance en continu des émissions est une méthode bien connue et fiable qui s'appuie sur des instruments de collecte et de transport des échantillons, un analyseur, des matériels et logiciels d'enregistrement et de traitement des données. Elle peut être [2] → 1 :

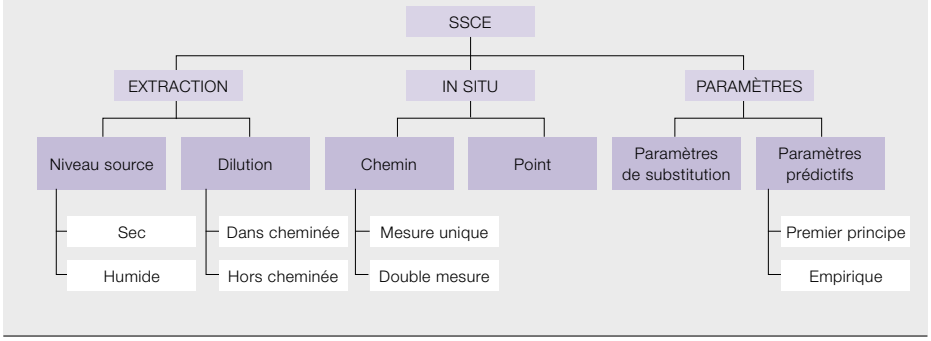
- *extractive* : prélèvement de l'échantillon au niveau de la cheminée ;
- *in situ* : détection automatisée avec mesure des émissions en continu ou à intervalles réguliers ;
- *paramétrique* : solution alternative à la mise en place d'un système de surveillance en continu des émissions (SSCE) classique.

La méthode paramétrique peut se baser sur des paramètres prédictifs ou de substitution. Ces derniers permettent de déterminer la conformité d'une source d'émission aux valeurs normalisées. L'acquisition des valeurs des paramètres passe toutefois par une phase complexe d'essais et de validation. La méthode prédictive est employée quand un seul paramètre ne suffit pas pour bien décrire la relation entre les conditions du procédé et les niveaux d'émission. La démarche fait appel à la modélisation, qui joue aujourd'hui un rôle important dans les systèmes de gestion des émissions → 2.

Un système de surveillance prédictive des émissions (SSPE), également appelé « analyseur inférentiel », ne peut pas mesurer directement les émissions ; il lui faut un modèle empirique pour prédire les concentrations à partir des données du procédé (débit de combustible, charge, pression et température ambiante). C'est en fait le seul moyen d'obtenir un flux continu de valeurs d'émission (estimées) dans des usines dépourvues de SSCE portable, qui pratiquent des mesures in situ (à intervalles réguliers) ou des campagnes de mesures. Dans ces cas, l'usine peut louer un SSCE d'appoint qui collectera une quantité suffisante de données d'émission pour bâtir et valider le modèle. Une fois ce modèle certifié, l'analyseur inférentiel prend le

Photo ci-dessus
Le terminal de gaz naturel liquéfié du Norvégien Statoil, sur l'île de Melkoya, tout près du Cap Nord, est équipé d'une gamme complète de matériels électriques et d'automatismes ABB. Le gaz du gisement de Snøhvit est puisé de plates-formes sous-marines, transporté par gazoduc jusqu'à la raffinerie où il est refroidi avant d'être liquéfié, puis exporté par bateau.

1 Configuration type d'un système de surveillance en continu des émissions (SSCE)



L'acquisition temps réel de données précises et fiables sur la pollution d'un procédé industriel est cruciale pour engager les actions visant à maintenir les taux d'émission sous le seuil réglementaire.

relais [4]. Le SSPE peut également servir de secours au SSCE en place. Quel que soit son rôle, il remplit avantageusement plusieurs fonctions → 3.

Dans de nombreuses applications, les systèmes logiciels s'avèrent tout aussi précis que les systèmes matériels comme les SSCE. De plus, les analyseurs virtuels offrent d'autres fonctionnalités [5] :
– Identification des principales variables à l'origine des émissions ;
– Validation automatique des capteurs ;
– Reconstitution des niveaux d'émission à partir des données historiques, en cas de défaillance du matériel ;
– Contribution aux stratégies d'optimisation du procédé.

La réglementation actuelle impose des mesures périodiques au niveau de la cheminée ainsi qu'une surveillance en continu des émissions pour démontrer le respect des limites légales et repérer les éventuels dépassements. Or un SSCE classique ne peut pas anticiper le franchissement des seuils d'émission. Par contre, un SSPE permet aux ingénieurs de production d'établir une corrélation directe entre divers paramètres d'exploitation, de prédire les émissions et de prendre des mesures d'ajustement pour éviter les dépassements. Les méthodes de surveillance des émissions polluantes sont différemment accueillies dans le monde : de nombreuses réglementations européennes exigent désormais explicitement des systèmes de surveillance à redondance logicielle tandis que certains États américains autorisent le recours à l'intelligence artificielle (IA) avec des modèles de type SSPE.

Technologie sous-jacente

La performance d'un SSPE, qui est avant tout un analyseur logiciel, repose sur un puissant outil d'élaboration et de mise en œuvre de modèles. Les techniques de modélisation doivent être efficaces et fiables tout en remplissant les fonctions requises d'acquisition et de traitement des données, de test des modèles, etc.

La plate-forme Optimize^{IT} IMP (*Inferential Modeling Platform*) est une suite logicielle ABB de développement et de déploiement d'applications évoluées, pilotées par les données. Deux environnements sont proposés :
– *IMP Model Builder* : conception et développement de l'application ;
– *IMP Online* : déploiement et suivi du projet en ligne.

IMP intègre des techniques ultra-modernes d'analyse de données et de modélisation (réseaux de neurones, algorithmes génétiques, régression linéaire multiple, scripts de calcul, par exemple), y compris des outils et algorithmes hérités de l'intelligence artificielle : une collection d'outils extrêmement complexes, intégrés à un espace de travail intuitif s'appuyant sur les concepts d'interface homme-machine (IHM) les plus modernes [6]. La plate-forme IMP est chargée dans un PC qui communique par protocole OPC (*OLE for Process Control*) avec le système de contrôle-commande distribué contenant les variables du procédé et les données de l'analyseur (si le SSPE est utilisé en secours). À partir des données process temps réel, le modèle produit une estimation des émissions, qui peut être surveillée sur une IHM dédiée ou renvoyée à l'interface opérateur du système de contrôle-commande.

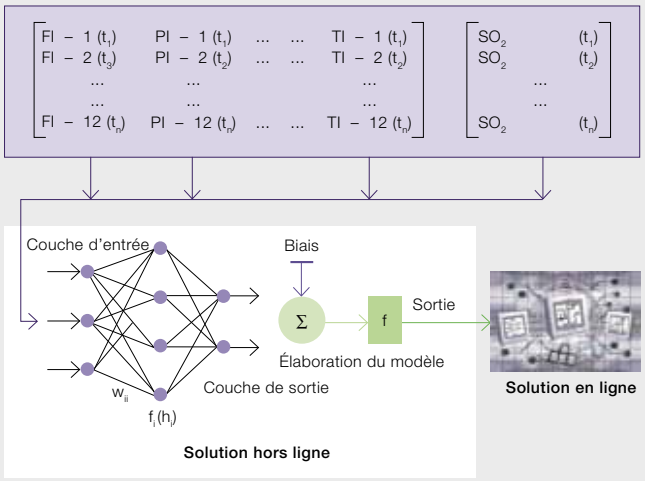
Le SSPE en action

En 2007, ABB remporta un contrat de fourniture d'un SME complet, conforme aux exigences de l'Agence de protection de l'environnement américaine EPA

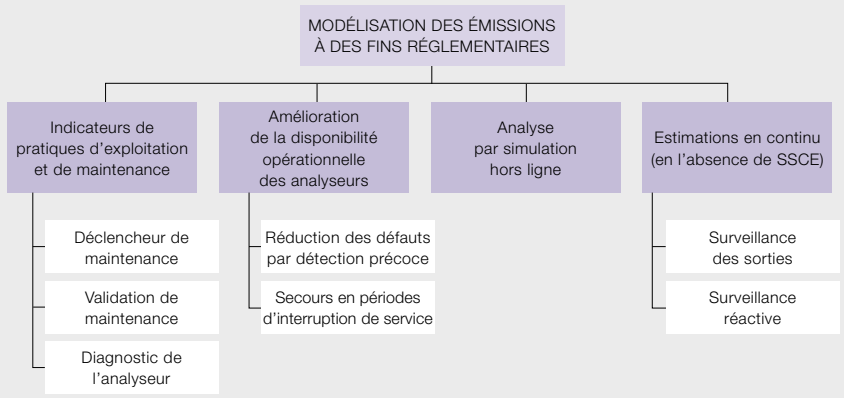
2 Le rôle clé de la modélisation dans les systèmes de gestion des émissions

La modélisation consiste à formuler des expressions mathématiques qui décrivent le comportement d'un procédé ou d'un appareil, à partir d'une approche théorique ou empirique [3]. Un modèle théorique repose sur des principes scientifiques comme la conservation de la masse et de l'énergie, ou les lois de la thermodynamique, tandis qu'un modèle empirique est élaboré à partir des données *process* du site. La modélisation donne en général une estimation précise en temps réel de grandeurs difficiles à mesurer et permet d'exploiter, entre autres, des corrélations qui, à défaut, seraient masquées ou négligées, et de mieux comprendre le procédé. Les grandeurs estimées sont souvent appelées variables « inférentielles », qualificatif qui s'applique également au modèle. Les stratégies de commande avancée des procédés reposent généralement sur des modèles inférentiels.

La relation entre les données d'entrée (variables mesurées disponibles) et les données de sortie (variable à estimer) est établie lors de la phase d'élaboration du modèle. Un logiciel spécial importe, prétraite et filtre les groupes de données historiques qui doivent inclure tous les échantillons possibles de la grandeur à estimer. Le modèle développé doit subir des essais complets et être validé sur une plage de fonctionnement aussi large que possible ; il peut ensuite être mis en ligne et alimenté avec les données process temps réel. Le prétraitement sert en général à identifier les états transitoires ainsi qu'à éliminer les valeurs aberrantes ou erronées. Il s'applique aussi à la sortie du modèle pour améliorer sa fiabilité et sa précision.



3 Domaines d'application potentiels des SSPE

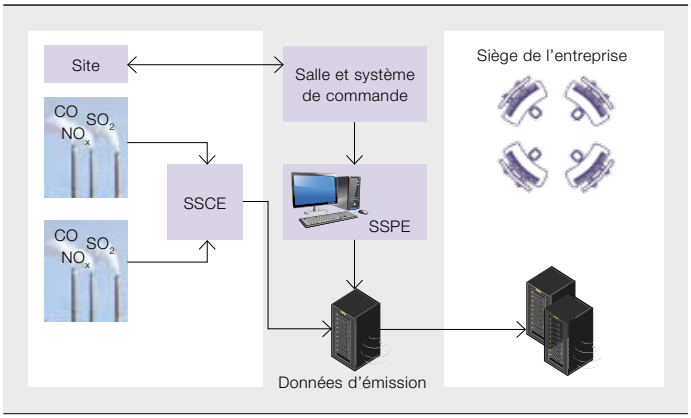


(*Environmental Protection Agency*), pour l'usine d'un géant gazier du Golfe. Ce complexe, l'un des plus grands au monde, comporte huit trains de traitement et deux trains d'injection d'une capacité de 100 milliards de mètres cubes par jour pour produire du gaz commercialisable, des liquides de gaz naturel (LGN), des condensats et du soufre. Le projet a exigé l'installation d'un SSCE (provisoire), d'un SSPE et d'un système d'acquisition des données spécifique pour mesurer les émissions en vue de la conformité aux exigences sanitaires et sécuritaires, et améliorer le procédé → 4.

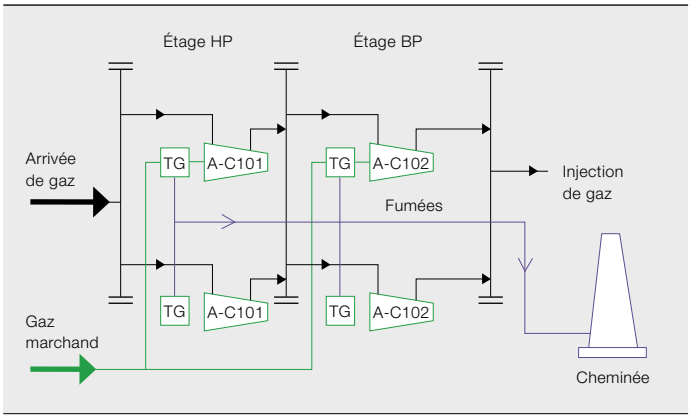
Les deux trains d'injection de gaz (A et B) sont configurés en parallèle. Chacun est équipé de deux compresseurs axiaux à deux étages (C101 et C102) → 5. Chaque compresseur est entraîné par une turbine à gaz (TG) dont le SSPE surveille les émissions. Les turbines des étages haute pression (HP) et basse pression (BP) sont alimentées en gaz marchand. Les turbines HP fonctionnent toujours à vitesse constante, à près de 100 % de leur vitesse maximale. Si la vitesse de la turbine BP peut varier selon les conditions de fonctionnement de l'usine, elle est surtout tributaire de la disponibilité du gaz marchand. La plupart du temps, les deux trains fonctionnent ensemble, proches de leur charge maximale. Cependant, lorsque la production de gaz est faible ou nulle, l'un d'eux fonctionne à vitesse ou charge réduite. En été, période de fortes chaleurs, le rendement global du sys-

Un SSPE permet aux ingénieurs de production d'établir une corrélation directe entre diverses variables d'exploitation, d'anticiper les émissions et de prendre des mesures pour éviter les dépassements.

4 Système de management environnemental (SME)



5 Configuration des turbocompresseurs



tème est restreint pour ménager le matériel.

Le SSPE joue ici un rôle clé car il surveille exclusivement les turbines à gaz. Afin de concevoir le modèle le plus satisfaisant, un analyseur SSCE temporaire fut monté dans chaque cheminée pour recueillir les données d'émission tandis que le système de contrôle-commande distribué collectait directement les données du procédé par OPC. Cette étape dura près de six semaines pour couvrir un maximum de conditions de fonctionnement. La conception et la validation du modèle, le traitement des données et la mise en œuvre sur site furent ensuite réalisés avec la plate-forme IMP d'ABB. L'étape du traitement est primordiale pendant l'élaboration d'un modèle empirique. Pour commencer, des outils mathématiques et statistiques complexes permirent de définir le jeu de variables d'entrée et le meilleur schéma de modélisation de l'usine. À cet égard, il fallait impérativement trouver le taux d'échantillonnage optimal pour identifier les conditions et la dynamique du procédé, et fournir un nombre adéquat d'ensembles de données correctes pour créer des modèles justes et précis.

> La certification de l'Agence de protection de l'environnement américaine (EPA) fut attribuée au terme de 18 essais de 30 minutes chacun, dans deux conditions d'exploitation différentes.

IMP offre un environnement convivial pour l'analyse en composantes principales (ACP) ➔ 6, puissante technique de représentation et d'analyse de la variabilité d'un système. L'ACP permet aux ingénieurs d'identifier un sous-ensemble minimal de variables les plus représentatives parmi un grand nombre de paramètres process. Autre avantage : l'ACP identifie les différents réglages du procédé et les dysfonctionnements, ainsi que les interdépendances des entrées (variables process) et sorties (émissions).

Une fois la phase de traitement terminée, quelque 1 700 enregistrements (valeurs de procédé et d'émission échantillonnées à l'heure) et 35 variables servirent de base à l'élaboration des modèles :

- Principaux paramètres du procédé (arrivées d'air et de gaz, débit d'alimentation, charge du compresseur, température entre les étages de la turbine et température des gaz de cheminée) ;
- Mesures météorologiques clés (température de l'air et hygrométrie) ;
- Mesure des polluants atmosphériques (NO_x, SO_2, CO, CO_2 et fumées).

Les réseaux de neurones artificiels à couches sans connexion arrière (*feed-forward*), puissante technique de modélisation utilisée en IA, constituèrent la meilleure solution de la plate-forme IMP pour construire les modèles les plus fiables et robustes. Chaque ensemble de modèles se caractérise par le nombre de couches masquées, de variables d'entrée (telles que les principaux paramètres du procédé mentionnés ci-dessus) et de paramètres fluctuants. Pour éviter tout sur-apprentissage et garantir la pertinence et la robustesse du modèle, les 1 700 valeurs d'entrée furent réparties en trois sous-ensembles : apprentissage (50 %), essai (25 %) et validation (25 %). Une fonction particulière de la plate-forme IMP permit de déterminer la sensibilité d'une seule variable d'entrée au type d'émission estimée.

Ce système fut intégré au contrôle-commande distribué et les valeurs d'émission estimées furent configurées pour être écrites dans le SME, par protocole série Modbus.

Franc succès

Une fois le système installé, une société indépendante américaine fut chargée d'évaluer sa conformité EPA. La certification fut attribuée au terme de 18 essais de 30 minutes chacun, pour moitié à 95 % de charge du compresseur, et pour l'autre, à 100 %.

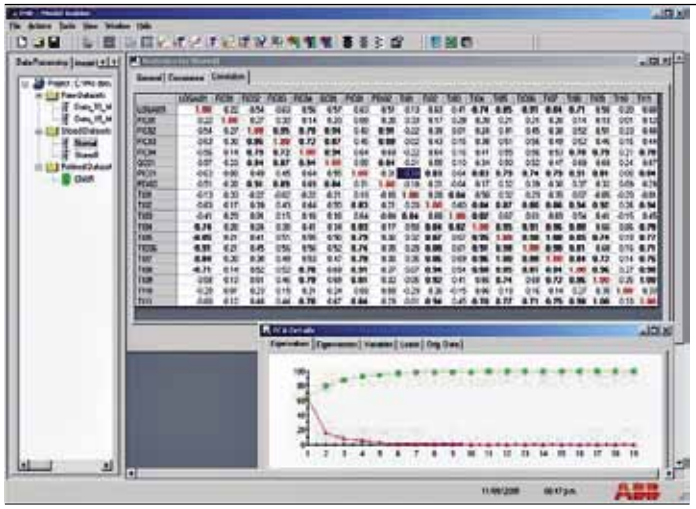
À l'issue de chaque essai, les émissions estimées par le SSPE étaient comparées à celles mesurées par le SSCE pour déterminer la précision relative[1] du SSPE. Les émissions de chaque polluant étant dans les limites fixées par l'EPA, le système fut certifié et validé par le client ➔ 7.

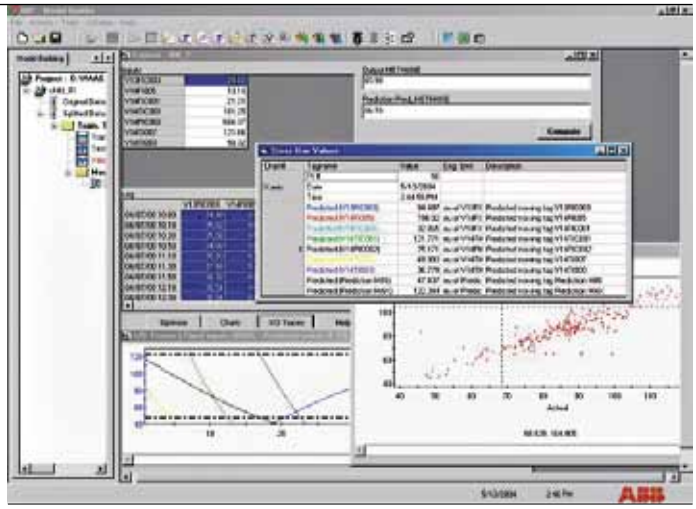
Note

1 Précision = $\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} \text{abs}\,(Y_j - Y_j^*)$

avec : Y_j = estimation SSPE, Y_j^* = composition réelle, n = nombre d'échantillons utilisés pour la comparaison.

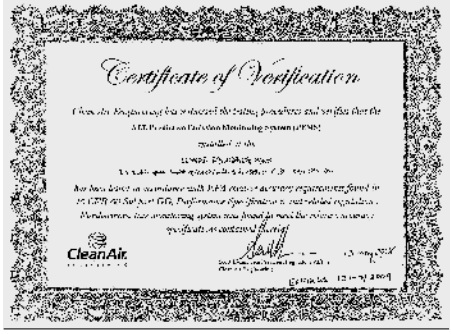
6 Élaboration du modèle Optimize^{IT} IMP d'ABB pour le traitement des données et la modélisation SSPE





7 Bilan et certificat environnemental du SSPE

Substance	À 95 % de charge	À 100 % de charge
Oxygène	< 10 %	< 10 %
NO_x	< 10 %	≈ 15 %
SO_2	Indécelable (<1 ppm)	Indécelable (<1 ppm)
CO	< 10 %	< 15 %
CO_2	< 10 %	< 10 %


Certificate of Verification

CleanAir

Cette innovation ABB est la première à être certifiée EPA dans les pays du Golfe.

Ce SSPE innovant est le premier à être certifié EPA dans les pays du Golfe. Sa réussite ouvre la voie à de futures applications dans ce domaine : pour preuve, une autre *major* du pétrole et du gaz teste actuellement cette technologie pour la déployer dans des pays du pourtour méditerranéen et du Golfe persique. Parmi les avantages d'un SSPE « intelligent » et facilement adaptable, citons :

– une performance reconnue et validée par les agences environnementales mondiales ;
– l'amélioration de la disponibilité du SSCE ;
– le remplacement des analyseurs traditionnels, lorsque le SSCE est indisponible ou inutilisable.

Outre ces atouts, les fonctions de simulation offertes par la solution d'ABB permettent aux industriels d'envisager des améliorations du procédé en environnement non intrusif, de déterminer les meilleures pratiques d'exploitation et de tester en amont les systèmes d'optimisation pour se conformer à la réglementation environnementale en vigueur.

Nunzio Bonavita
Federico Callero
ABB SpA
Gênes (Italie)
nunzio.bonavita@it.abb.com
federico.callero@it.abb.com

Bibliographie

[1] ISO 14001, http://www.iso14000-iso14001-environmental-management.com/14000.htm, consulté en août 2011.
[2] « Continuous emission monitoring systems for non-criteria pollutants », *EPA Handbook*, août 1997.
[3] Bonavita, N., Matsko, T., « Neural network technology applied to refinery inferential analyzer problems », *Hydrocarbon Engineering*, p. 33–38, décembre 1999.
[4] Samdani, G. S., « Software takes on air monitoring », *Chemical Engineering*, p. 30–33, décembre 1994.
[5] Bonavita, N., Formenton, A., Pavan, E., *Inferential Modeling for Environmental Applications: the Predictive Emission Monitoring Approach*, Livre blanc d'ABB, 2005.
[6] Bonavita, N., Martini, R., Matsko, T., « Improvement in the Performance of Online Control Application via Enhanced Modeling Techniques », *ERTC Computing Conference*, Milan, juin 2003.

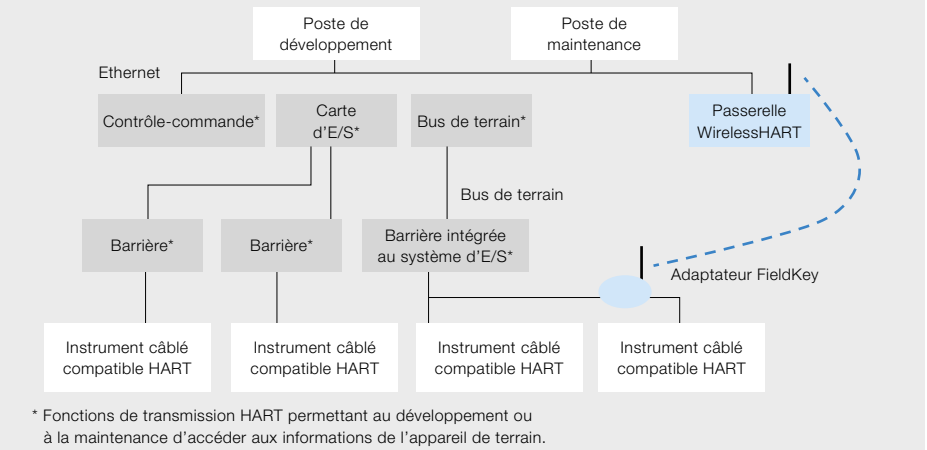
Le bon tuyau de la boucle 4-20 mA

L'adaptateur FieldKey d'ABB trace la voie du sans-fil WirelessHART basse consommation

YANNICK MARET, STEFAN U. SVENSSON, TILO MERLIN – Nombreux sont les instruments de terrain utilisant la transmission analogique 4-20 mA, en automatisation industrielle, à être dotés de capacités de communication HART (*Highway Addressable Remote Transducer*). Or ces fonctions ne servent bien souvent qu'au stade de la mise en service et les données de configuration, diagnostics ou autres mesures du *process*, pourtant utiles à l'exploitation, restent consignés dans l'instrumentation. Pour les renvoyer à un poste de développement et de maintenance sans perturber les instruments de la boucle de courant (BC) 4-20 mA, ABB a développé l'adaptateur « FieldKey » : celui-ci ajoute des fonctions de transmission sans fil aux appareils HART du réseau par l'entremise d'une passerelle sans fil, ce qui lui vaut d'être le premier adaptateur WirelessHART à être reconnu par la fondation HART. Bien qu'il tire son énergie directement de la boucle de courant, il arrive que cette « auto-alimentation » soit limitée. ABB a donc mis au point des techniques pour limiter la consommation de l'adaptateur et son impact sur la BC 4-20 mA existante.

Photo ci-contre
Les techniques d'ABB pour diminuer la consommation de son adaptateur FieldKey bénéficieront à bien d'autres secteurs industriels.

1 La communication HART dans une application de *process*



* Fonctions de transmission HART permettant au développement ou à la maintenance d'accéder aux informations de l'appareil de terrain.

Les principaux constituants d'une boucle de courant analogique sont habituellement un générateur de tension et un circuit de traitement du signal (émetteur) qui fait varier le courant de 4 à 20 mA proportionnellement à la grandeur physique mesurée ou à la donnée de contrôle-commande. Tout appareil raccordé en série à la boucle peut alors lire ce signal analogique et en transmettre la valeur. De nos jours, de nombreux instruments 4-20 mA dialoguent sous protocole HART [1].

Ce protocole met en œuvre une modulation par déplacement de fréquence qui superpose l'information numérique au 4-20 mA. Or une transmission HART complète, capable de remonter les données de terrain au système de contrôle-commande, coûte trop cher à implanter dans les zones dangereuses d'un procédé industriel → 1. C'est pourquoi elle n'entre en jeu qu'en phases de configuration et de mise en service, piégeant des données cruciales (mesures ou diagnostics) dans l'appareil de terrain. En fait, de nombreux composants, tels que des barrières, ne sont conçus que pour véhiculer le 4-20 mA vers le contrôle-commande, en phase d'exploitation.

Si des installations HART récentes possèdent un canal de retour vers les applications de suivi d'état, force est de constater que 80 % des instruments de terrain en sont encore privés. Il est vrai qu'exploiter cette information à des fins de maintenance prédictive ou de gestion des actifs industriels obligerait à remplacer ou à recâbler la majorité des blocs d'entrées/sorties ! Pour s'épargner ces travaux d'Hercule, ABB a développé l'adaptateur sans fil FieldKey qui offre un canal de retour économique et sûr vers les applications hôtes distantes sans perturber le fonctionnement de la BC 4-20mA [2], faisant office de tête de pont bidirectionnelle entre la technologie HART câblée et le sans-fil WirelessHART.

FieldKey peut se raccorder en n'importe quel point de la BC 4-20 mA. De plus, pour minimiser les frais d'installation et de maintenance, il est « auto-alimenté », c'est-à-dire qu'il s'adapte automatiquement à l'énergie disponible ; relié en série à la BC 4-20 mA installée → 2, il doit être capable de puiser assez d'énergie pour s'alimenter en créant une chute de tension sur la boucle. Pour autant, cette chute représentant une perte de tension supplémentaire pour la boucle, elle doit être assez faible pour ne pas pénaliser les autres appareils. À l'inverse, la minimiser revient à restreindre la puissance disponible. Pour y remédier, ABB a travaillé sur deux fronts : limiter l'impact de FieldKey sur la BC 4-20 mA et réduire sa consommation.

ABB a mis au point des techniques pour réduire la consommation de l'adaptateur FieldKey et limiter son impact sur la boucle 4-20 mA existante.

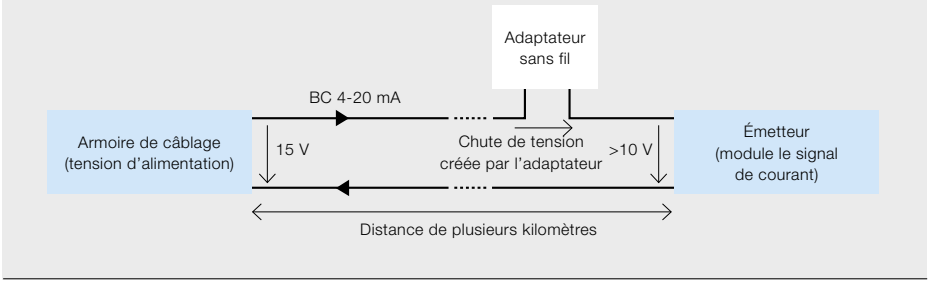
Pour le premier objectif, ABB a développé une méthode novatrice de « régulation adaptative de la chute de tension » qui utilise un nouveau circuit de blocage et permet l'insertion d'une résistance série « virtuelle ». Pour le second, il a pu optimiser la conception de l'adaptateur en termes de consommation énergétique, notamment en diminuant le courant de fuite de l'imposante batterie de condensateurs utilisée pour lisser les pointes de puissance.

Limiter l'impact sur la boucle 4-20 mA

Perte de tension optimisée

L'idée centrale de notre régulation adaptative de chute de tension est d'adapter la perte de tension occasionnée par FieldKey, en fonction du courant qui circule dans la boucle. Sachant que ce courant est déterminé par l'émetteur et que l'adaptateur a besoin d'une puissance constante d'environ 5 mW pour fonctionner, il faut en fait une tension moins élevée à de forts courants de signal qu'à des courants faibles. De plus, la perte de tension résistive induite par le câblage est maximale à des niveaux de courant plus élevés. Par conséquent, la tension disponible aux bornes de l'appareil de terrain est à son plus bas niveau à 20 mA, et à son plus haut niveau à 4 mA. Dans la pratique, le câblage étant souvent d'une longueur proche de la maximale autorisée, la tension de l'appareil s'approche du seuil minimal accepté par ce dernier. Conclusion : la chute de tension créée par

2 Insertion de l'adaptateur FieldKey dans une boucle de courant 4-20 mA existante



l'adaptateur FieldKey est plus importante à des courants faibles qu'à des courants élevés ➔ 3.

La résistance série, qui réalise la conversion du 4-20 mA en tension et inversement, contribue grandement à la perte de tension continue (CC) dans la boucle, qui peut atteindre 2,5 V. L'adaptateur FieldKey lui substitue une équivalente « virtuelle » qui fait office de résistance de 240 Ω dans la plage de fréquences HART et de 0 Ω en courant continu.

La régulation adaptative de chute de tension et la résistance virtuelle sont toutes deux obtenues par le traitement du signal analogique en vue de minimiser la consommation d'énergie. Le schéma de principe de l'électronique mise en œuvre figure en ➔ 4.

Le frontal câblé est avant tout composé d'un modulateur HART et d'un régulateur de tension continue. Le modulateur ne fait pas que moduler le signal HART ; il régule aussi la chute de tension créée par l'adaptateur. De son côté, le régulateur crée une tension continue stable qui peut alimenter le convertisseur élévateur CC/CC.

Réduire la consommation

Optimisation du courant de fuite

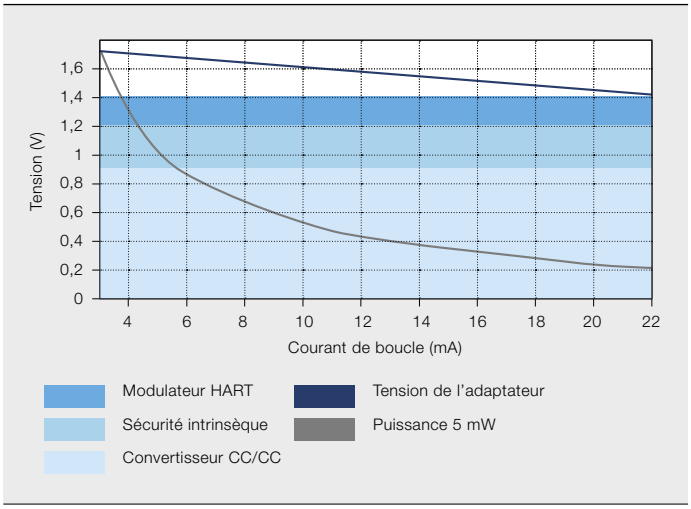
L'adaptateur FieldKey ➔ 5 n'est rien d'autre qu'un récupérateur d'énergie. Cependant, il lui faut puiser son alimentation d'un dispositif (en l'occurrence, la BC 4-20 mA) qui n'est tout bonnement pas conçu pour ! La puce WirelessHART nécessite une puissance de crête supérieure à ce qui peut être prélevé de la boucle (concrètement, jusqu'à 100 mW pour une opération d'écriture de mémoire flash d'une durée de 30 ms ou 75 mW pour un échange de données sur la liaison sans fil pendant 5 ms). La puissance réellement disponible est égale au produit du courant minimal de boucle (4 mA) et de la perte de tension engendrée par l'adaptateur : à une perte de 1,5 V correspond ainsi une puissance de 6 mW. Il en ressort que l'obligation de minimiser la chute de tension limite la puissance disponible.

Un gros tampon capacitif de 6 mF est nécessaire pour obtenir une puissance de crête moyenne mais il induit un courant de fuite à des températures élevées et, donc, des pertes en ligne. Seuls les condensateurs électrolytiques permettent d'atteindre 6 mF dans un volume raisonnable. Si certains condensateurs en aluminium affichent un très faible courant de fuite, ils sont écartés en raison des exigences de sécurité intrinsèque ➔ 6 qui interdisent les modèles à électrolyte liquide [3]. On leur préfère leurs cousins à électrolyte solide, surtout les condensateurs tantale et niobium. Néanmoins, à la différence de paramètres comme la résistance série équivalente ou la capacité, le courant de fuite direct n'est pas la priorité du marché des condensateurs électrolytiques solides en matière d'optimisation. Le plus faible courant de fuite pour le condensateur tantale est obtenu en utilisant le composant à environ 30 à 40 % de sa tension nominale [4] ; en-dessous, le courant de fuite est principalement dû à l'absorption diélectrique ; au-dessus, il est dominé par le courant de défaut. Conséquence :

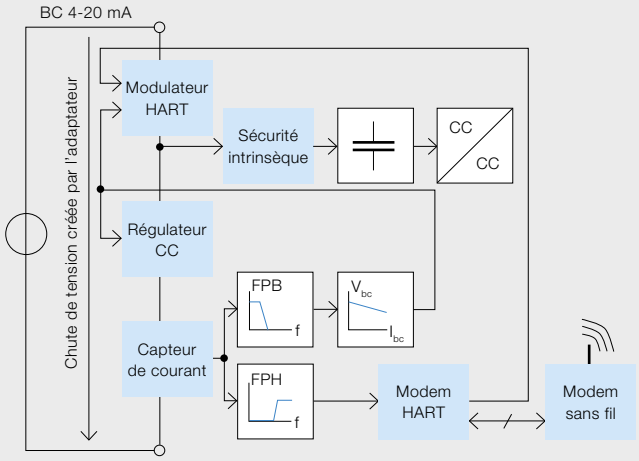
L'adaptateur FieldKey doit prélever son énergie d'un procédé qui n'est pas fait pour cela !

Un appareil conforme aux règles de la sécurité intrinsèque peut fonctionner en atmosphère explosible gazeuse sans nécessiter une coûteuse enveloppe hermétique.

3 Chute de tension créée par l'adaptateur FieldKey



4 Schéma de principe du frontal câblé



pour une tension interne de 3 V, le condensateur doit être calibré à 10 V.

La solution ? Une batterie de 12 condensateurs Kemet[1] 470 µF/10 V, dont le courant de fuite est du reste bien inférieur à ce qu'indique la documentation constructeur. Deux exemples : sous une tension de fonctionnement de 10 V, le courant de fuite est annoncé à 14 µA par condensateur à 25 °C et 5 fois plus à 85 °C ; sous 3,6 V, les courbes de déclassement indiquent un courant de fuite maxi de 8,5 µA par condensateur à 25 °C, là encore multiplié par 5 à 85 °C. Pour autant, des mesures réalisées par Kemet sur plusieurs échantillons révèlent des valeurs ne dépassant pas 5,1 µA par condensateur à 85 °C sous 3,6 V, et 55 µA sous 10 V → 7. Ces valeurs traduisent une baisse du courant de fuite d'environ 90 % à une tension de fonctionnement de 3,6 V et de seulement 20 % sous 10 V : des résultats que corroborent les valeurs données par un autre fabricant [4].

Blocage du courant inverse basse tension

Pour être conformes à la normalisation sur la sécurité intrinsèque [3], les condensateurs de forte capacité doivent être protégés par un boîtier et reliés à l'électronique externe par une barrière de blocage de courant inverse : le but est de limiter, en cas de défaillance, les transferts d'énergie thermique et électrique des condensateurs aux parties situées à l'extérieur de l'enveloppe. Selon la

Le plus faible courant de fuite pour le condensateur au tantale est obtenu en utilisant le composant à environ 30 à 40 % de sa tension nominale.

Note

1 Références B45197A2477K509.

5 Adaptateur FieldKey (NHU200-WL) sur instruments de terrain

6 Sécurité intrinsèque « i »

Un matériel à sécurité intrinsèque a le grand avantage d'être utilisable en atmosphère explosible gazeuse, sans avoir besoin d'une coûteuse protection hermétique. Pour autant, la réglementation en vigueur limite l'énergie dissipée accidentellement par l'électronique avec pour conséquence, notamment, de n'autoriser que les condensateurs relativement petits. Si la tension sur ces composants est limitée à 5 V, par exemple, la somme des condensateurs ne doit pas dépasser 100 µF pour les équipements autorisés à fonctionner en ambiance gazeuse extrêmement volatile. Il y a deux façons de limiter cette énergie : ajouter une résistance en série ou empêcher l'énergie de repartir dans la zone dangereuse à l'aide de diodes Schottky. Hélas, ces deux techniques ont leur travers : de grosses pertes résistives pour la première, une importante chute de tension pour la seconde.

Une interface BC 4-20 mA basse consommation à sécurité intrinsèque a l'inconvénient d'accroître la probabilité théorique d'interférer avec le courant de boucle en cas de défaillance d'un composant. Malgré les capacités de diagnostic étendu que confère l'adaptateur FieldKey, la baisse de fiabilité du système est inacceptable. Une analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) permet de calculer la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF) des différentes solutions.

norme, l'énergie stockée dans le tampon capacitif requis de 6 mF est trop importante et nécessite donc une barrière de sécurité.

Or les solutions traditionnelles, à diodes par exemple, induisent une forte perte de tension tandis que les composants plus complexes (circuits intégrés, par exemple) sont interdits par les organismes de certification, au double motif que les défauts sont difficiles à analyser et que le système de protection doit fonctionner, en cas d'anomalie, sans alimentation. Ces raisons ont amené ABB à proposer une nouvelle barrière de puissance quasi nulle, plus performante que la solution à diodes.

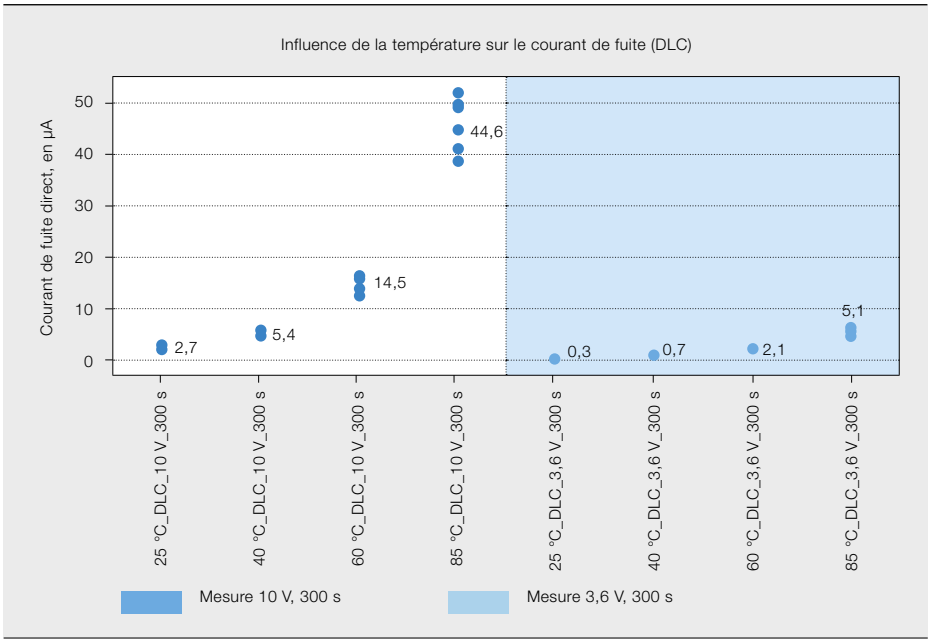
Une barrière classique se compose de plusieurs diodes au silicium en série [5]. Dans certaines régions du monde, deux suffisent ; dans d'autres, il en faut obligatoirement trois. Pour minimiser les pertes de tension, on utilise des diodes Schottky. La chute de tension totale provoquée par les trois diodes en série, à température ambiante, avoisine 0,5 V. Néanmoins, lorsque la température baisse, les porteurs de charge sont moins nombreux et la chute de tension augmente pour une valeur de courant donnée ; dans pareil cas, elle peut atteindre 1 V à –40 °C.

La solution ABB est illustrée en ➔ 8 pour trois étages de protection : en mode direct ($V_1 > V_0$), seuls les transistors et résistances du bas déterminent le comportement du circuit de protection, les transistors du haut étant polarisés en sens inverse et, donc, non conducteurs. Les transistors du bas sont polarisés dans le sens passant et saturés. La chute de tension totale provoquée par les trois transistors est par conséquent très faible, quelle que soit la valeur de température. Ces transistors étant saturés, le courant de base requis est bien plus élevé qu'en sens direct normal ; du coup, une quantité non négligeable de courant émetteur passe dans la base.

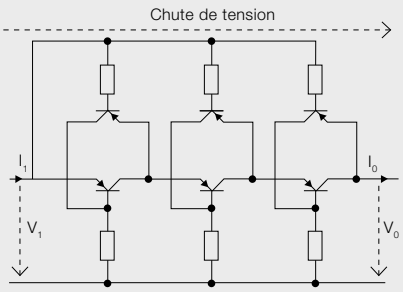
En mode inverse ($V_0 > V_1$ et $V_0 > 0{,}6$ V), les transistors du haut sont polarisés en direct et conducteurs ; ils ont pour but de rendre les trois transistors du bas non conducteurs en les polarisant en sens

L'électronique a été conçue selon une approche itérative pour distribuer au mieux la puissance disponible, en fonction des différents modes de fonctionnement et de transmission de l'appareil.

7 Mesure du courant de fuite pour 6 condensateurs 470 µF (source : Kemet)



8 Solution ABB de blocage de courant inverse



Une équipe d'ingénieurs et de chercheurs ABB a développé un adaptateur sans fil WirelessHART affichant la plus faible chute de tension du marché.

inverse, ce qu'impose la relative symétrie des transistors bipolaires. En fait, il est possible d'inverser collecteur et émetteur, le transistor continuant de fonctionner comme un transistor, en dépit de médiocres caractéristiques. Il en ressort qu'un circuit de protection composé uniquement des transistors du bas ne bloquerait pas totalement le courant.

Avec la protection classique à trois diodes Schottky série, pour une tension V_1 de 1,5 V et un courant I_1 de 4 mA, la perte de tension en mode direct à – 40 °C est d'environ 0,78 V, et le rendement énergétique aux alentours de 48 % ; avec la barrière à transistors ABB, dans les mêmes conditions, la perte de tension en mode direct avoisine 193 mV et celle de courant 69 µA, le rendement énergétique tournant autour de 85 %. Le détail de la solution est donné en [6].

Le circuit électronique a été conçu à l'aide d'une méthode itérative pour optimiser la répartition de la puissance disponible, suivant les différents modes de fonctionnement (secours, démodulation et modulation) et la nature de l'appareil (analogique, numérique). Grâce aux techniques exposées dans cet article, une équipe d'ingénieurs et de chercheurs ABB a développé un adaptateur sans fil WirelessHART garantissant la plus faible chute de tension du marché.

Pour en savoir plus, rendez-vous sur www.abb.com/fieldbus.

Yannick Maret
ABB Corporate Research
Baden-Dättwil (Suisse)
yannick.maret@ch.abb.com

Stefan U. Svensson
ABB Corporate Research
Ludvika (Suède)
stefan.u.svensson@se.abb.com

Tilo Merlin
ABB Measurement Products
Allemagne
tilo.merlin@de.abb.com

Bibliographie

[1] *FSK Physical Layer Specification*, HART Communication Foundation, août 1999.
[2] Johnston, G., « Sans-fil industriel : débloquer l'information », *Revue ABB*, 4/2009, p. 27–32.
[3] Norme CEI 60079-11, *Atmosphères explosives – Partie 11 : protection de l'équipement par sécurité intrinsèque « i »*, 5e édition, 2006–2007.
[4] Zednicek, T., et al., *Tire pressure monitoring system life time improvement by low leakage tantalum and NbO capacitors*, AVX, 2009.
[5] Gaunt, D., « Intrinsic safety-simplicity itself », *Fourth International Conference on Electrical Safety in Hazardous Areas*, p. 103–105, novembre 1988.
[6] Maret, Y., Schrag, D., Bloch, R., « On increasing the power available to an intrinsically safe wireless HART FieldKey », *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 2011.

Rédaction

Claes Rytoft
Chief Technology Officer
Group R&D and Technology

Clarissa Haller
Head of Corporate Communications

Ron Popper
Head of Corporate Responsibility

Eero Jaaskela
Head of Group Account Management

Andreas Moglestue
Chief Editor, ABB Review
andreas.moglestue@ch.abb.com

Édition
La *Revue ABB* est publiée par la direction *R&D and Technology* du Groupe ABB.

ABB Technology Ltd.
ABB Review/REV
Affolternstrasse 44
CH-8050 Zurich
Suisse

La *Revue ABB* paraît quatre fois par an en anglais, français, allemand, espagnol, chinois et russe. Elle est diffusée gratuitement à tous ceux et celles qui s'intéressent à la technologie et à la stratégie d'ABB. Pour vous abonner, contactez votre correspondant ABB ou directement la Rédaction de la revue.

La reproduction partielle d'articles est autorisée sous réserve d'en indiquer l'origine.
La reproduction d'articles complets requiert l'autorisation écrite de l'éditeur.

Édition et droits d'auteur ©2011
ABB Technology Ltd.
Zurich (Suisse)

Impression
Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH
AT-6850 Dornbirn (Autriche)

Maquette
DAVILLA AG
Zurich (Suisse)

Traduction française
Dominique Helies
dhelies@wanadoo.fr

Avertissement
Les avis exprimés dans la présente publication n'engagent que leurs auteurs et sont donnés uniquement à titre d'information. Le lecteur ne devra en aucun cas agir sur la base de ces écrits sans consulter un professionnel. Il est entendu que les auteurs ne fournissent aucun conseil ou point de vue technique ou professionnel sur aucun fait ni sujet spécifique et déclinent toute responsabilité sur leur utilisation. Les entreprises du Groupe ABB n'apportent aucune caution ou garantie, ni ne prennent aucun engagement, formel ou implicite, concernant le contenu ou l'exactitude des opinions exprimées dans la présente publication.

ISSN : 1013-3119

www.abb.com/abbreview

Dans le numéro 4|11

Partage des eaux

Source de vie et de prospérité, l'eau n'en est pas moins inégalement distribuée sur Terre, au point qu'une personne sur six n'y a pas accès et que son insalubrité reste l'une des principales causes de maladie.

Le monde en développement n'est pas le seul à chercher des solutions aux problèmes de l'approvisionnement et de la raréfaction de la ressource. Nombreuses sont les villes des pays industrialisés à disposer d'une infrastructure séculaire qu'il faut moderniser pour répondre à la demande croissante, réduire les fuites, favoriser les économies d'énergie et préserver l'environnement.

Le numéro 4/2011 de la *Revue ABB* sera consacré aux technologies hydriques et à la contribution d'ABB au domaine. Nous aborderons tour à tour les techniques de mesure, d'entraînement et de pompage, les systèmes sous-jacents de contrôle-commande et de gestion de réseau qui permettent d'accroître la productivité du secteur, ainsi que les moyens d'améliorer l'efficacité énergétique des systèmes hydrologiques. Et là où l'or bleu fait défaut, nous nous intéresserons aux usines de dessalement d'eau de mer.
Autant dire que la *Revue ABB* sera inépuisable sur le sujet !

Accroître l'efficacité énergétique de 25 % ?

Une solution complète d'ABB en matière d'énergie et d'automation a permis à la plus importante raffinerie d'Europe d'accroître son efficacité énergétique de 25 %, rehaussant du même coup sa productivité. Grâce à ses activités de recherche et développement axées sur l'amélioration de la performance et la préservation des ressources, ABB travaille sans relâche en vue d'économiser énergie et argent, et de protéger l'environnement.
www.abb.com/energyefficiency

Absolument.

Power and productivity
for a better world™

ABB