



Revue ABB

Revue de l'actualité technologique
du Groupe ABB

www.abb.com/abbreview

1 / 2009

Leviers de productivité

Les appareils de terrain découvrent
le *chat* sur Internet

page 26

Questions de fiabilité

page 34

La propulsion électrique,
vague de fond des navires méthaniers

page 74



Le symbole de la roue dentée est à l'image même de la productivité : c'est en s'engrenant minutieusement avec d'autres mécanismes tout aussi précis qu'elle fait tourner et avancer l'ensemble du procédé.

Chez ABB, la productivité est l'aboutissement d'une multitude d'innovations réalisées et relayées par un personnel motivé pour doter nos clients de produits, services et solutions performants. L'occasion pour ce numéro de la *Revue ABB* de démonter les mille et un rouages de la formidable machine industrielle.



Viser l'optimum

Dans toute l'histoire de l'industrie, il est un facteur essentiel de progrès : la quête de productivité. De l'invention de la pompe à l'avènement des outils informatiques d'optimisation, l'innovation n'a de succès que si elle permet de produire plus avec moins. C'est ainsi que les consommateurs ont pu, au fil du temps et chiffres à l'appui, acheter davantage en dépensant moins : les produits de haute qualité, naguère réservés à une minorité, sont désormais à la portée de presque toutes les bourses dans les pays développés et, bientôt, les économies émergentes.

Si industriels et consommateurs entendent poursuivre le mouvement, les ingénieurs se doivent d'identifier et d'exploiter d'autres leviers d'optimisation. Et pour cela, il leur faut prendre du recul pour embrasser tout le paysage industriel : plutôt que d'optimiser chaque étape de la fabrication, de nombreuses stratégies d'optimisation envisagent le procédé dans sa globalité et même parfois au-delà de son périmètre. Aussi tient-on compte, par exemple, de la volatilité des prix et de la qualité de l'énergie, de la performance des pratiques de maintenance et des prestations de service ou même d'une meilleure traçabilité et d'une gestion fine des données collectées. Or rien de cela ne serait possible sans la puissance de traitement des ordinateurs et systèmes de contrôle-commande modernes qui sont aujourd'hui capables de manipuler une infinité de variables sur plusieurs échelles et de résoudre des questions d'optimisation laissées sinon sans réponse.

Qu'il illustre un exemple édifiant d'amélioration du laminage de tôles ou consacre les progrès des algorithmes d'optimisation, ce numéro de la *Revue ABB* dévoile les enjeux et réussites de l'optimisation mathématique pour résoudre les problèmes du monde réel. Au demeurant, ce n'est pas seulement en vertu de l'optimisation et de la résolution que les technologies de l'information creusent la différence : dix ans en arrière, qui aurait prédit qu'un technicien pourrait ausculter un équipement et conseiller la

maintenance sans se rendre sur le site ? Bienvenue aux téléservices d'ABB ! Autre article : la *Revue ABB* montre comment l'entreprise s'affranchit de la paperasserie en misant sur la traçabilité électronique de la production pour doper le contrôle qualité. Et si vous pensiez que les communautés internet relèvent de la bagatelle, vous serez surpris de constater que cette idée séduit aussi l'industrie pour maximiser la performance opérationnelle. Quitte à voir des équipements de production se grouper en « réseaux sociaux » pour faciliter la maintenance.

La *Revue* rend également compte de plusieurs réussites d'ABB dans les domaines du service et du conseil, preuve que l'expertise du Groupe mène ses clients vers des sommets de productivité. Elle revient aussi à l'essentiel en s'interrogeant sur la « fiabilité » par une analyse propice à la réflexion qui s'attache à définir ce vocable et à cerner son impact sur la production globale.

Les robots, souvent décrits comme le prolongement de l'homme, ne cessent de faire progresser la productivité tout en honorant des exigences de précision et d'efficacité toujours plus prégnantes : ce numéro leur devait bien deux articles.

D'autres percées technologiques sont au sommaire de cette édition, comme les méthodes ABB pour garantir la propreté de l'eau ou transporter le gaz dans des conditions optimales.

La mise sous presse de ce numéro a coïncidé avec notre salon *ABB Automation and Power World 2009*, grand-messe des domaines de l'automatisation et de l'énergie, qui s'est tenu du 24 au 26 mars, en Floride. Les lecteurs qui auront participé à cet événement ne manqueront pas de reconnaître nombre de technologies et produits publiés dans notre *Revue*. Avec une mention spéciale pour le lancement d'un système optique de mesure d'épaisseur du papier.

Bonne lecture,

Peter Terwiesch

Directeur des technologies du Groupe ABB

Revue ABB 1/2009

Leviers de productivité

Partenariat et productivité

6

Télémaintenance ABB

Les robots ABB s'autodiagnostiquent et, en cas de défaillance, lancent eux-mêmes un SOS à l'ingénieur d'ABB Service.

9

Partenariats technologiques

ABB collabore avec ses clients pour faire la course en tête.

15

En finir avec le papier

A bas la paperasserie, place à la productivité avec la solution de connectivité industrielle *cpmPlus Enterprise Connectivity* d'ABB

20

Maintenance optimisée

La solution *Asset Monitor* d'ABB, championne de la surveillance et du suivi d'état des départs-moteurs intégrés

26

Les appareils de terrain dialoguent sur les forums internet

De quand date votre dernier « chat » avec la machine ?

34

Qu'est-ce que la fiabilité ?

Une mise au point terminologique et conceptuelle par une règle de trois

38

Soif d'excellence

Le site Solvay Indupa voulait de l'excellence ; avec ABB, il fut plus que servi !

43

Top modèle

ABB déroule un nouveau modèle de laminage des tôles.

49

Produire plus avec moins

La solution de maintenance et de collaboration à distance *Service Environment™* d'ABB dope la productivité et l'écopformance du secteur pétro-gazier.

54

Toujours mieux

Les industries de transformation engrangent les bénéfices de l'optimisation mathématique.

Maintenance et productivité

30

Grimper sur la plus haute marche

pour mieux identifier les risques de défaillances et réduire les coûts.

Solutions de productivité

60

Touche finale

Avec le nouveau système de mesure optique d'ABB, le papier ne manque plus d'épaisseur.

64

Robots écolos

De l'orange au vert : la robotique se pare de nouvelles couleurs pour améliorer l'efficacité énergétique de la plasturgie.

68

Télérobotique

Les robots ABB « carburent » dans le pétrole et le gaz.

74

Vogue le gaz naturel liquéfié

La propulsion électrique ABB *booste* la performance énergétique et la capacité des navires méthaniers.

80

Diagnostics non-stop

Les instruments de process multifonctions d'ABB ne font aucune pause.

86

Place nette !

La Société Cellier aide l'industrie à minimiser et à valoriser les sous-produits et effluents.

ABB, éternel pionnier

92

Compacité + fiabilité = pérennité

Une rétrospective de l'appareillage à isolation gazeuse ABB

6



34



68



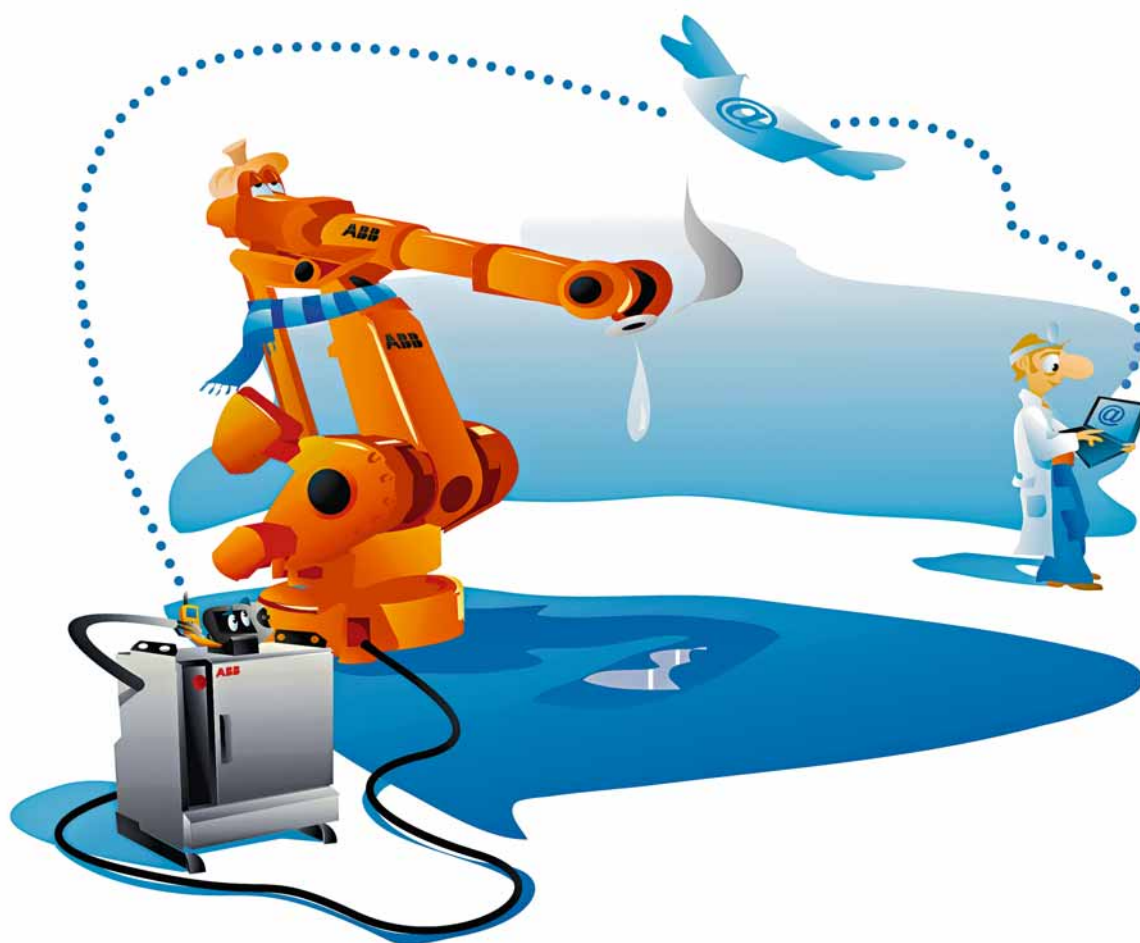
92



Service gagnant

Le concept ABB de télémaintenance révolutionne la robotique industrielle

Dominique Blanc



Les robots ABB sont partout dans les usines, exécutant des tâches de maintenance, conditionnement, ébavurage, soudage, etc. Robustes et infatigables, ils travaillent 24 h/24 et sont une pièce maîtresse de la productivité d'une entreprise. Toute baisse de forme de ces travailleurs acharnés peut avoir des conséquences dramatiques sur la production. Dans ce contexte, comment faire pour maintenir leur état de santé ?

La réponse: le nouveau concept ABB de télémaintenance où ce sont les robots eux-mêmes qui envoient un signal d'alarme en cas de problème ! Un ingénieur ABB reçoit un diagnostic complet via un réseau sans fil, analyse les données sur le Web et réagit en quelques minutes. Un service gagnant à la fois pour les clients et pour ABB, et qui sort la notion de service des sentiers battus.

Chaque minute d'arrêt de production coûte cher à l'industriel. La démarche traditionnelle de maintenance réactive est devenue inefficace car envoyer sur place un ingénieur est une perte d'argent et de temps. Or si l'industriel cherche à raccourcir les délais d'intervention, il veut également éviter de perturber la production.

En 2006, ABB lançait le développement d'un nouveau concept pour mieux répondre aux besoins des clients. En s'appuyant sur plusieurs innovations technologiques permettant d'accéder à distance aux robots installés chez des clients aux quatre coins de la planète, ABB pouvait diagnostiquer leur état en quelques minutes et ainsi éviter les déplacements sur site. Le nouveau concept de télémaintenance se concrétisa rapidement et fut commercialisé mi-2007. Les statistiques montrent qu'il permet d'éviter la plupart des arrêts de production.

Maintenance réactive

La solution ABB de télémaintenance est constituée d'un boîtier communicant dont la fonction s'apparente à celle de la «boîte noire» d'un avion ¹. Raccordé au système de commande du robot, ce boîtier lit et transmet des informations de diagnostic qui permettent non seulement de réagir immédiatement en cas de défaillance, mais également de connaître et d'analyser l'état du robot pour détecter à un stade précoce les besoins de maintenance.

En cas de panne du robot, le boîtier enregistre instantanément son état fonctionnel, son historique (fichiers journaux) et des paramètres de diagnostic comme les valeurs de température et d'alimentation électrique. Intégrant un modem et utilisant le réseau GSM, il transmet ces données à un serveur central pour analyse et affichage sur un site web spécial. Des messages d'alerte sont automatiquement envoyés au plus proche des 1 200 ingénieurs d'ABB Service qui consulte alors le détail des données et fichiers de défauts pour étudier le problème.

Un ingénieur ABB du centre de télémaintenance peut ensuite identifier rapidement l'origine du défaut et pro-

poser une assistance téléphonique. Si le problème ne peut être résolu à distance, l'ingénieur peut immédiatement obtenir les pièces détachées et se rendre sur place pour dépanner le robot. Même si ce déplacement reste nécessaire, l'intervention est plus rapide, plus efficace et de meilleure qualité.

Ce système de télémaintenance permet aux ingénieurs de dialoguer à distance avec les robots et d'utiliser des outils automatiques d'analyse temps réel. Il met en œuvre une solution de communication intermachines M2M (*Machine-to-Machine*) avec une intervention humaine uniquement pour des tâches d'analyse et de conseils personnalisés. ABB a été récompensé pour cette solution innovante en 2008 à Chicago au cours de la *M2M United Conference* **Encadré**.

Maintenance proactive

Les services de télémaintenance permettent également aux ingénieurs ABB de surveiller et de détecter des problèmes potentiels dans le système robotisé et posent ainsi de nouveaux jalons pour la maintenance proactive.

Le boîtier relève à intervalles réguliers des données d'état. En surveillant l'évolution de paramètres clés, le système peut anticiper des défaillances potentielles et, au besoin, en informer le client et l'ingénieur ABB concerné. La gestion et le stockage de sauvegardes complètes du système sont des services très utiles qui aident à récupérer de situations critiques suite, par exemple, à des erreurs humaines.

Le premier système de télémaintenance a été installé aux Etats-Unis chez un constructeur automobile et a rapidement prouvé son utilité. En effet, la

carte mère de l'armoire de commande d'un robot s'échauffait de manière anormale, ce qui déclenchait une alarme via le boîtier de télémaintenance. Cette alarme permit aux ingénieurs d'intervenir de manière anticipée en remplaçant un ventilateur défectueux, évitant ainsi un coûteux arrêt de production.

MyRobot : à l'écoute 24 h/24

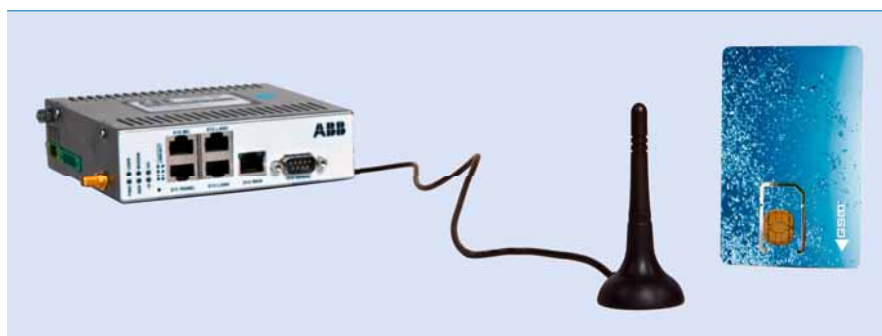
L'accès régulier aux données d'état d'un robot est également indispensable à une production en juste à temps. A tout moment et n'importe où, les clients peuvent vérifier l'état fonctionnel de leurs robots et consulter des données de maintenance et des indicateurs de performance en se connectant tout simplement au site web *MyRobot* d'ABB. Ce service leur permet de comparer facilement les performances de leurs sites, d'identifier des goulets

Encadré Bon pour le service!

En juin 2008, la solution ABB de télémaintenance a reçu le prix *Gold Value Chain* dans la catégorie *Smart Services* lors de la *M2M United Conference* de Chicago. Ce prix couronne une application de la technologie M2M et salue la convergence de plusieurs technologies pour développer des services à haute valeur ajoutée pour les clients.



¹ Le boîtier communicant avec son antenne et sa carte GSM



Partenariat et productivité

d'étranglement ou des problèmes naissants, et ainsi réagir dans les meilleurs délais. *MyRobot* est un formidable outil pour réduire les pertes et améliorer la production.

La preuve par l'exemple chez Tetley

Tetley GB Ltd est le deuxième producteur et distributeur mondial de thés, présent dans 40 pays avec plus de 60 marques de thé en sachet. L'usine de Eaglescliffe, dans le Comté de Durham, est le seul site Tetley du Royaume-Uni à produire ces sachets ².

Les robots de la ligne de production déclenchaient des alarmes intempestives, ralentissant le cycle complet de production. Ces fausses alarmes immobilisaient inutilement la production pendant que l'on redémarrait les robots, croisant les doigts pour que tout fonctionne normalement. A chaque alarme, plusieurs heures de production étaient perdues. « *C'est ce qui nous a amenés à essayer les services d'ABB* », explique le responsable de la maintenance du site, Colin Trevor.

Pour prévenir les retards et problèmes de production, Tetley a signé un contrat de télémaintenance ABB spécifique (*Response Package*) qui comprend l'installation du boîtier communicant et de son infrastructure dans les armoires de commande des robots. Ce contrat prévoit la télésurveillance et la collecte à la fois de données sur l'usure et le vieillissement des cellules robotisées et d'indicateurs de productivité ; ces informations sont ensuite communiquées au client et servent à mieux maîtriser les cycles de production.

Disponibilité accrue

Depuis la mise en place du service de télémaintenance, Tetley a considérablement réduit la durée d'immobilisation des robots et n'a connu aucun arrêt intempestif de la production. M. Trevor d'ajouter : « *Le contrat de télémaintenance a radicalement modifié les performances de l'usine. Les machines ne s'arrêtent plus inopinément en cours de production et le taux de disponibilité des robots est*

² L'usine Tetley de Eaglescliffe au Royaume-Uni



beaucoup plus élevé. Nous avons appris que pour maintenir notre site industriel au meilleur rang mondial, il nous faut un niveau de service hors pair. La télémaintenance de nos robots nous aide à maximiser le taux d'engagement de nos machines, à éviter les coûteuses pannes et à affecter notre personnel à des tâches plus utiles».

Bouquet de services

L'offre de services de télémaintenance est disponible dans le monde entier avec, à ce jour, plus de 700 robots raccordés. Les entreprises qui comptent jusqu'à 30 robots sont souvent le candidat idéal pour ce type de service car elles ne disposent en général pas d'ingénieurs ou de compétences internes pour dépanner les robots. Les plus grosses entreprises y trouvent également leur compte car la maintenance proactive améliore la durée de vie et la disponibilité de leurs actifs industriels.



Dans l'environnement concurrentiel actuel, la réussite d'une entreprise est souvent liée à sa capacité à tenir des cadences de production toujours plus rapides, laissant peu de temps à un bilan de santé exhaustif ou régulier des actifs. Les contrats ABB de télémaintenance sont conçus pour surveiller l'état fonctionnel des robots de ses clients afin d'anticiper les dysfonctionnements et d'intervenir avant qu'ils ne posent problème. Dans plus de 60% des cas, les problè-

mes sont résolus à distance et les robots ABB reprennent leur place sur la ligne de production sans autre forme d'intervention.

L'offre de services ABB est très souple pour les installations robotisées à la fois neuves et existantes ; l'objectif est d'allonger la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF), de raccourcir les délais de réparation et de réduire les coûts de possession. Avec les quatre nouveaux types de contrat proposés – *Support, Response, Maintenance* et *Warranty* qui s'appuient tous sur la technologie ABB de télémaintenance – les entreprises peuvent minimiser l'impact des arrêts machines non planifiés et améliorer l'efficacité des lignes de production.

Les avantages de la télémaintenance ABB sont clairs : disponibilité accrue, visites sur place plus rares, budget maintenance allégé et coût total de possession du système minimisé. Avec cette offre unique, ABB se distingue nettement de ses concurrents et réinvente la notion même de service. Elle améliore l'accès des clients au savoir-faire d'ABB et favorise l'émergence de services très pointus.

Dominique Blanc

ABB Robotics
Västerås (Suède)
dominique.x.blanc@se.abb.com

Partenariats technologiques

Comment ABB collabore avec ses clients pour dynamiser l'innovation

George A. Fodor, Sten Linder, Jan-Erik Ibstedt, Lennart Thegel, Fredrik Norlund, Håkan Wintzell, Jarl Sobel

ASEA et BBC, les deux sociétés à l'origine du Groupe ABB, ont vu le jour il y a près de 120 ans à une époque où l'électromagnétisme et les équations de Maxwell étaient considérés comme le summum du savoir scientifique. Entre-temps, la technologie n'a cessé d'évoluer. Alors que de nombreuses entreprises mettaient la clé sous la porte, ABB a toujours réussi à rebondir grâce à son esprit d'innovation et aux leçons tirées du passé. En effet, avant toute démarche d'innovation, il est extrêmement important de comprendre les rapports étroits qui, de tout temps, ont existé

entre les produits, le progrès technologique et l'économie industrielle.

Ces rapports se fondent sur l'échange d'informations au sein des entreprises et leur contribution à la pérennité de celles-ci ne doit pas être sous-estimée. Or la masse d'informations qu'une organisation peut acquérir est supérieure à ce qu'un seul individu est capable d'enregistrer; l'utilisation optimale de ces informations dépend de la mise en place de moyens de communication appropriés entre les membres de l'entreprise et des sources extérieures.

La division Mesure de force d'ABB AB est imprégnée d'une longue tradition d'innovation. Ayant tissé des liens étroits avec ses clients, ses fournisseurs, les instituts de recherche et les universités, elle propose des équipements ultramodernes de mesure et de contrôle pour un large éventail d'applications. Dans le même temps, les grands principes comme les équations de Maxwell continuent d'être appliqués de manière créative et singulière pour fabriquer des produits qui favorisent la croissance à long terme et stimulent la compétitivité.



Partenariat et productivité

L'innovation est un facteur clé de survie des entreprises et de leurs clients dans un contexte économique qui a valeur de test. Innover, c'est trouver et concrétiser des idées qui transforment un secteur industriel, réinventent les marchés et redéfinissent la chaîne de valeurs; or bon nombre de ces idées trouvent leur source chez des clients innovants.

L'innovation émerge dans un environnement propice au dialogue et à l'échange d'informations [1,2]. Pour un groupe de dimension internationale comme ABB, avec des filiales et des usines dans 90 pays, gérer et entretenir ces circuits d'informations posent

Innover, c'est trouver et concrétiser des idées qui transforment un secteur industriel, réinventent les marchés et redéfinissent la chaîne de valeurs.

de nombreux défis. Tout d'abord, des défis internes car les idées doivent être confrontées à de nombreux points de vue pour déterminer leur impact global sur le marché. Sélectionner les plus pertinentes exige du savoir-faire et une interaction entre différents intervenants: gestion, marketing et études techniques. Les relations qu'ABB entretient avec ses

clients et ses fournisseurs revêtent une importance comparable.

Beaucoup de clients d'ABB se trouvent dans des pays qui développent progressivement une solide culture technologique et scientifique grâce à des investissements majeurs dans des programmes de recherche très ambitieux. La Chine et l'Inde, par exemple, comptent parmi ceux-ci. Il faut savoir que l'Académie chinoise des Sciences mène actuellement des projets de recherche dans toutes les technologies de pointe. Des pays d'Afrique et d'Europe de l'Est tirent parti d'un vivier de jeunes talents pour créer une culture du développement technologique. Enfin, même s'ils sont les bienvenus, les marchés émergents intensifient la concurrence, obligeant des entreprises comme ABB à innover toujours plus.

Tous pareils, tous différents

Capitalisant sur 120 ans de développement technologique et d'expérience, ABB continue d'élaborer des produits et des services pour de nombreuses applications d'automatisation, de production d'énergie et de robotique. Les exemples qui suivent illustrent le large éventail de marchés servis.

La précision extrême pour la Sérénissime

Les Vénitiens font le commerce du cuivre et du bronze depuis le XIII^e siècle; pendant longtemps, ces métaux servirent à fabriquer des

pièces de monnaie et des éléments de construction. Aujourd'hui, l'entreprise familiale ILNOR SpA, créée en 1961, perpétue la tradition du travail des métaux en produisant des tôles de laiton, de bronze et de cuivre de qualité destinées aux secteurs de l'automobile, du matériel électrique et de l'électronique.

Bâtir des réseaux de travail collaboratif accroît la performance des entreprises et des individus.

Le goût séculaire des Vénitiens pour les produits de grande qualité se reflète dans les investissements permanents d'ILNOR dans des technologies innovantes pour améliorer la qualité de ses produits ¹. En toute logique, l'entreprise a choisi la solution ABB de mesure et de contrôle de planéité des tôles Stressometer 7.0 FSA. Ce système offre les fonctionnalités avancées et automatiques indispensables pour fabriquer des tôles répondant aux exigences de qualité des clients. Il témoigne du souci du détail et de la perfection d'ABB, des valeurs très appréciées dans cette région du Vieux continent.

Des stores vénitiens fabriqués... en Suède!

Alingsås, petite ville du sud de la Suède fondée en 1382, est connue des artistes éclairagistes pour son festival annuel des Lumières. Elle est également renommée pour la fabrication de stores vénitiens de qualité. Dans l'usine de Turnils, la gamme de produits couvre 7 largeurs et 6 épaisseurs dans 3 alliages différents et une palette de 1000 couleurs. Le système de mesure d'épaisseur micrométrique MTG (*Millmate Thickness Gauging*) intégré au laminier met en œuvre une technologie brevetée et exclusive de mesure par courants de Foucault pulsés. Précis et fiable, ce système fut développé en réponse aux besoins d'un client. Utilisant fondamentalement les principes physiques de l'électromagnétisme, la technologie existante fut judicieusement adaptée à l'univers industriel. La version installée dans l'usine peut résoudre des équations de Maxwell compliquées en

¹ L'entreprise ILNOR SpA de Venise ne cesse d'investir pour améliorer la qualité de ses produits.



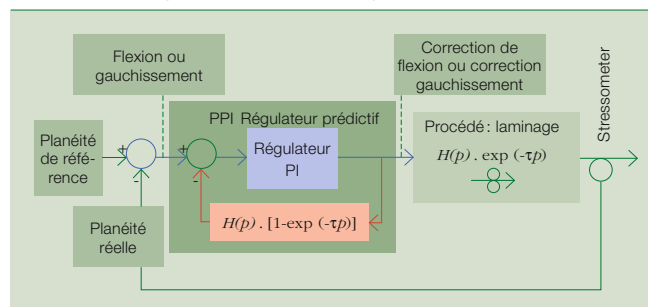
quelques millisecondes! Une électronique de très haute précision fournit des signaux avec une stabilité de quelques picosecondes. Le développement de ce système nécessite d'intenses travaux en laboratoire pour bien comprendre les effets des courants induits dans les minces tôles métalliques.

ABB a ainsi créé un produit intelligent et une plate-forme de mesure d'une précision remarquable et d'une stabilité immuable. Pour les clients, il s'agit d'un outil pérenne et économique d'amélioration des procédés.

L'excellence technologique pour la Chine

Union Steel of Korea s'enorgueillit d'être un « producteur d'acier de haute technologie »¹⁾. ABB est partie prenante de cette prouesse avec plusieurs générations de systèmes de mesure de

2 Comparatif régulation PI classique/régulation PI prédictive



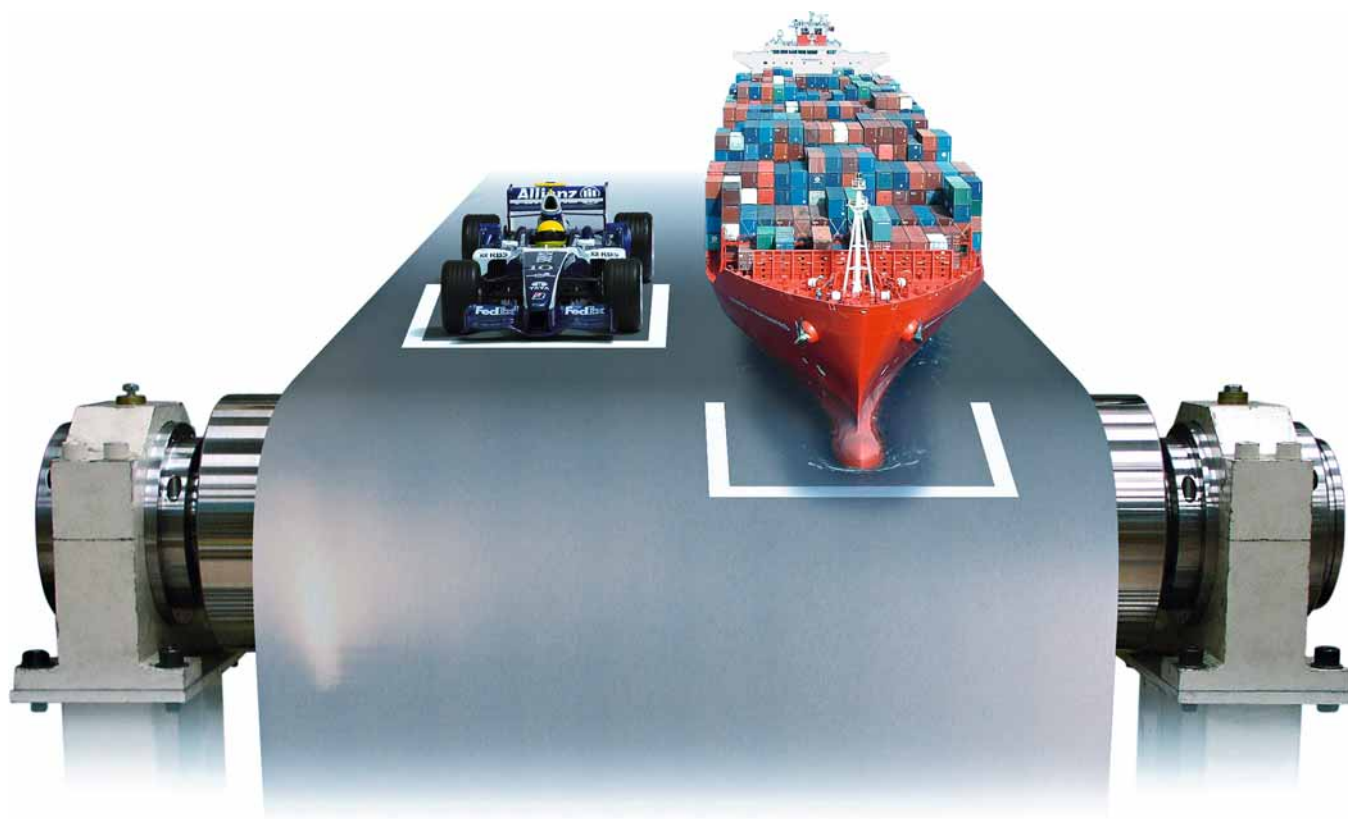
planéité Stressometer installés dans l'usine chinoise de Wuxi Changjiang²⁾. Shen Zhong, responsable technique de l'usine, compare les caractéristiques des différentes générations du Stressometer de l'usine :

« La version plus ancienne 4.0 possède une interface industrielle traditionnelle alors que l'interface homme-machine de la nouvelle version 6.0 est plus moderne avec plus de fonctions de sécurité et de puissance de calcul. Mais toutes les versions sont d'excellents produits ».

Des vertus de la collaboration

L'intensification de la mondialisation et de la concurrence sont deux défis majeurs auxquels sont confrontées les entreprises. Pour les relever, elles peuvent collaborer sur le long terme avec leurs clients afin de mutualiser leur savoir-faire et leur expérience. Mettre en place des équipes regroupant des partenaires fiables et qui

ont largement fait leurs preuves est certes indispensable. Pour autant, ce type de collaboration suppose de développer et de gérer des moyens de communication pérennes et adaptés. Or développer les programmes et outils de conversion nécessaires prend du temps et coûte cher. Ainsi faut-il des années de formation et d'expérience pour être capable de convertir un savoir technologique spécifique en syntaxe universelle Matlab ou Mathematica, des données industrielles en langages CEI 61131/CEI 61499, des



Notes

¹⁾ <http://www.unionsteel.co.kr/eng/about/intro.asp> (consulté en décembre 2008)

²⁾ Avec sa société mère, Union Steel of Korea, l'usine chinoise de Wuxi Changjiang est fière de contribuer « à embellir le monde avec l'acier. » Pour elle, l'acier est un matériau moderne et, chaque année, elle aide les étudiants en art à créer des pièces en acier dans la lignée de monuments comme la Tour Eiffel ou des sculptures de Jack Howard-Potter.

Partenariat et productivité

spécifications en formules mathématiques traditionnelles ou encore développer du logiciel en UML (*Unified Modeling Language*).

La seule solution valable consiste à bâtir des réseaux de travail collaboratif à la fois au sein de l'entreprise et avec les clients pour permettre à chacun – employé, partenaire et client – d'apporter sa contribution et d'exploiter l'intelligence collective en utilisant des outils qui lui sont familiers. Il s'agit non seulement de fédérer d'une nouvelle manière ces connaissances, mais également de présenter l'information de façon plus concise. Parallèlement, les entreprises et les individus deviennent plus performants et renforcent leur avantage concurrentiel³⁾ car le capital technologique et scientifique fructifie sans arrêt.

Une collaboration féconde entre des experts ABB et ceux de ses clients peut faire toute la différence. Exemple : lorsque l'expert d'un site industriel identifie un problème ou une piste d'amélioration, des outils de modélisation, de simulation et d'optimisation du système d'automatisation avancé sont utilisables en temps réel. Les procédés sont ainsi améliorés immédiatement *in situ*, ce qui était impossible il n'y a pas si longtemps encore ! Dans ce cas, la méthodologie suivante est généralement suivie :

- 1) Le problème est identifié et isolé ;
- 2) Les experts modélisent le problème ;
- 3) Des simulations sont réalisées avec le modèle pour déterminer les paramètres du problème dans l'environnement de simulation ;
- 4) L'outil d'optimisation commence à tracer des « courbes d'indifférence » susceptibles de résoudre le problème. Il s'agit de l'espace (concis) de paramètres donnant une solution optimale au problème. La solution est un point précis au sein de cet espace.

Les méthodes d'optimisation les plus courantes sont la méthode Pareto, la méthode des points internes et la méthode Simplex.

Incidence sur l'automatisation industrielle

Ce mode de collaboration entre les experts de la régulation avancée et ceux de la conduite des procédés permet de renforcer la compétitivité de toutes les parties prenantes. De plus, des cycles rapides de modélisation et d'essais simplifient la présentation et la validation de nouvelles technologies et de nouveaux produits. D'un point de vue technologique, toutefois, cette modélisation et ces essais ne sont possibles que si l'équipement possède certaines propriétés, notamment [3] :

- **Modularité logicielle** : le système doit inclure des composants logiciels faciles à concevoir, connecter et modifier. La granularité de ces composants joue un rôle important dans l'obtention du bon équilibre entre la flexibilité (nombre de com-

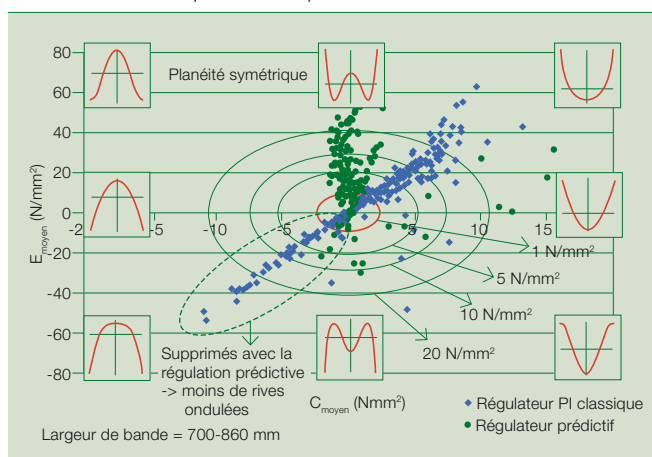
posants pouvant être connectés et observés) et un nombre gérable de paramètres (nombre moyen de paramètres pour chaque composant par rapport au nombre de connecteurs requis pour tous les composants d'une application).

- **Observateurs d'état discrets et continus** : lors de la connexion en ligne de nouveaux composants, ceux qui sont déjà actifs doivent gérer le processus de manière transparente. Il existe un délai de basculement entre deux composants au cours duquel les observateurs peuvent identifier l'état effectif du composant retiré tout en forçant l'application d'un état correspondant au nouveau composant.
- **Bibliothèque de fonctions mathématiques, statistiques et d'optimisation** : le système nécessite une puissante bibliothèque de fonctions mathématiques pour exécuter toutes les fonctions de corrélation, d'optimisation et d'analyse. Cette tâche est loin d'être insignifiante car les bibliothèques de fonctions mathématiques pour les applications industrielles sont rares.
- **Communication transparente** : les différents systèmes d'instrumentation et de conduite des procédés doivent fonctionner en toute transparence. En d'autres termes, il faut que tous les échanges, tant au niveau local qu'à distance (via Internet), se fassent de la même manière car des experts externes doivent rapidement accéder à un site lorsque l'expertise n'existe pas en interne. Exemple : un site donné d'un industriel de l'acier peut disposer de

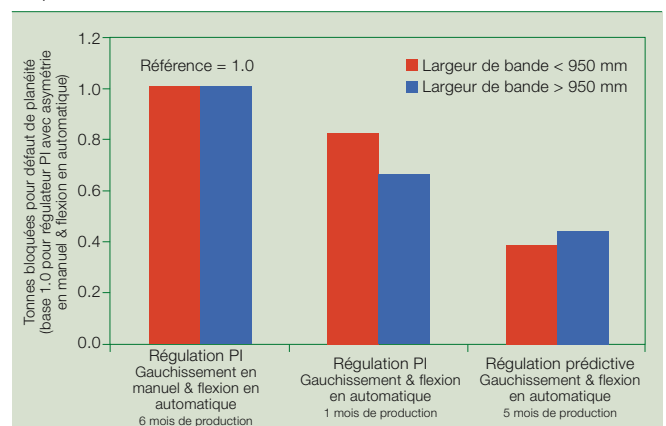
Note

³⁾ Dans la plupart des cas, les entreprises et les clients qui s'engagent dans des projets de collaboration apportent un savoir-faire complémentaire et partagent un même objectif de création de valeurs pour leurs propres clients.

3 Distribution de la planéité comparée à PPI



4 Sur une période donnée, la régulation PPI réduit la quantité de produits déclassés de 50 %.



spécialistes de la configuration des paramètres de production qui doivent être capables d'examiner et de configurer de la même manière les paramètres d'autres sites à travers le monde.

Collaboration fructueuse

ABB est un habitué des projets de collaboration de longue haleine et sa volonté de partager son savoir-faire et son expérience avec d'autres entreprises a largement porté ses fruits. Un de ces projets impliquait le centre de recherche d'ArcelorMittal de Maizières en France.

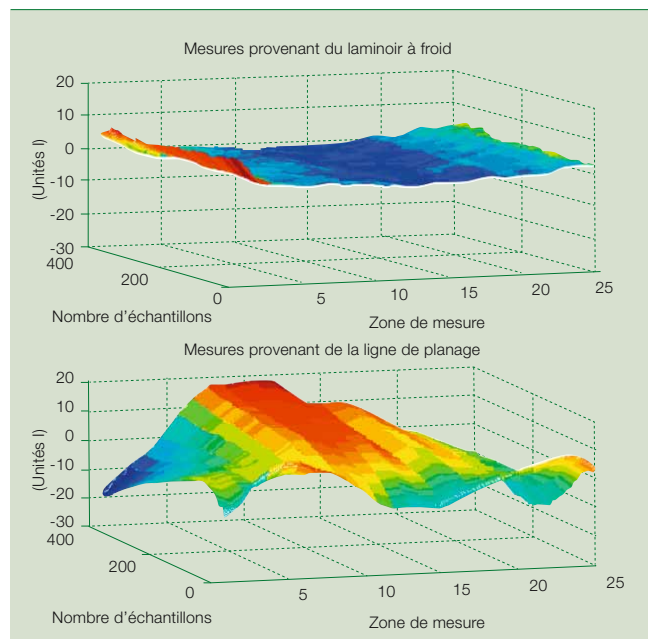
En utilisant le Stressometer 7.0 d'ABB, qui effectue de lourds calculs matriciels pour les systèmes dynamiques par le biais d'une architecture à base de composants, ce centre désirait tester un nouvel algorithme de régulation adaptative-prédictive, projet auquel les experts ABB étaient plus que ravis de prendre part. L'idée était d'ajouter une boucle de régulation prédictive (PPI) à la régulation proportionnelle intégrée (PI) classique [2].

Les résultats de la distribution de la planéité entre les actionneurs obtenus avec les deux régulations (PI et PPI) sont donnés en [3]. Hormis quelques rives ondulées le long de la bande (entourées de pointillés), la différence globale n'est pas significative. Toutefois, après une campagne d'essais de 5 mois, les résultats montrent clairement que la régulation PPI débouche sur une réduction de près de 50 % de la production déclassée [4] [4].

Les clients possédant une connaissance approfondie des conditions de post-laminage peuvent utiliser les solutions de régulation avancée d'ABB pour mettre en œuvre, par eux-mêmes, des méthodes très efficaces de compensation post-laminage comme le confirme l'exemple suivant.

La planéité des tôles laminées est un critère de qualité essentiel pour les industriels qui utilisent ces tôles comme matière première. En effet,

5 Effets de planéité post-laminage



6 Capteurs de couple pour applications automobiles



certains procédés, depuis la fabrication de la simple canette en aluminium jusqu'à celle de pièces d'avion, par exemple, sont possibles exclusivement avec des tôles de qualité irréprochable. En d'autres termes, les clients d'ABB s'engagent à fournir à leurs clients des tôles laminées d'une planéité exceptionnelle. Or les données fournies par les utilisateurs de tôles d'aluminium montrent que même si celles-ci affichent une planéité proche de la perfection après le laminage à froid, la chaleur et les conditions de transport dégradent le profil de planéité.

En 2007, des experts d'ABB et de son client suédois *SAPA Heat Transfer*, implanté à Finspång, décidèrent de comparer les données de planéité des produits réceptionnés à celles collectées immédiatement après l'opération de laminage. Partant d'un brevet ABB, les experts savaient que si l'écart de planéité était décrit mathématiquement, le problème pourrait être identifié et résolu avec le système de mesure et de contrôle de planéité Stressometer 7.0.

SAPA reproduisit, aussi étroitement que possible, les conditions thermiques et mécaniques du traitement aval de recuit en discontinu. Les experts découvrirent une forte dégradation de la planéité [5].

Avec des outils d'analyse statistique et des réseaux neuronaux artificiels, ces effets furent identifiés et documentés [5,6]. Cette dégradation peut désormais être compensée en utilisant des méthodes statistiques multidimensionnelles brevetées.

Torductor-S en pole position

A quelle moment une voiture de course F1 change-t-elle de vitesse? La réponse passe par le capteur de couple Torductor-S d'ABB qui trouve sa place tout naturellement dans le plus prestigieux des bolides de course.

Le capteur Torductor-S mesure en continu et sans contact le couple dans les conditions mécaniques les plus contraignantes [6] avec une insensibilité exceptionnelle aux fortes températures et vibrations d'une F1.

Travailler avec les ingénieurs du monde de la F1 fut une expérience très enrichissante pour l'équipe Mesure de force d'ABB, qui était aux premières loges pour voir comment ces ingénieurs :

- réglaient le moteur d'une F1 avec le Torductor-S dans la transmission pour optimiser les performances ;
- surveillaient l'usure et la dégradation du moteur tout au long de la course ;
- surveillaient et contrôlaient les transitoires et les oscillations liés au

Partenariat et productivité

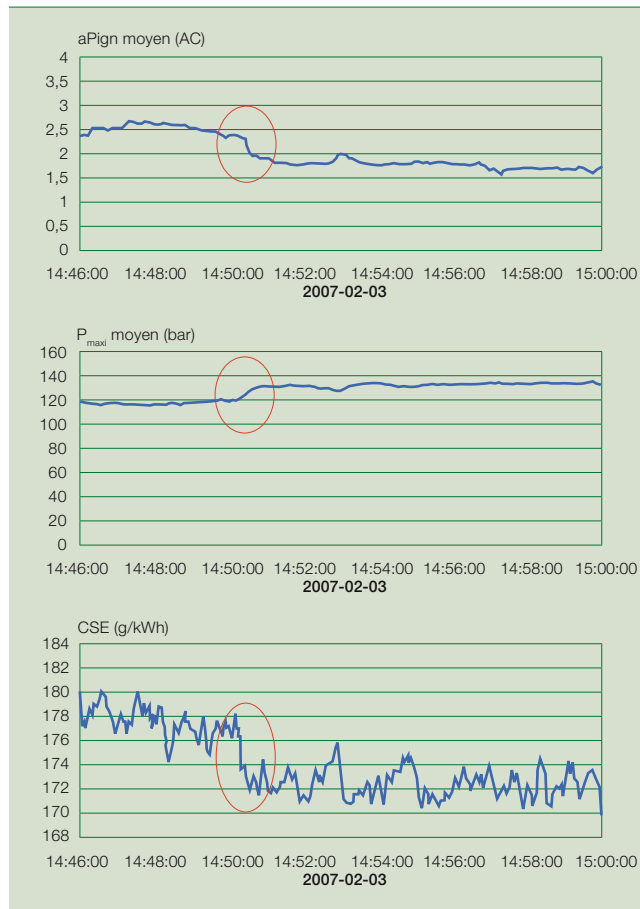
jeu mécanique, au patinage des roues ou à la surface de la route;

- surveillaient l'état et les surcharges, détectaient les défauts d'allumage et analysaient chaque combustion.

Cylmate

Une révolution silencieuse mais permanente est en marche dans le domaine des gros moteurs diesel lents à deux temps que l'on retrouve principalement à bord des navires. En effet, plus de 50 % des nouveaux navires sont équipés de moteurs à injection électronique (et non plus mécanique), avec la combustion commandée automatiquement par une fonction de régulation en boucle fermée. La régulation est appliquée directement à l'angle d'allumage de chaque cylindre du moteur. Il y a une forte corrélation entre la pression d'allumage maximale (P_{maxi}) et la consommation spécifique effective (CSE, g/kWh). Même en faisant varier très légèrement l'angle d'injection du carburant (0,5°, par exemple), on réduit notablement la consommation [7]. Les courbes en 7 montrent le rapport entre P_{maxi} dans le cylindre et les variations de CSE lorsque l'angle d'injection est réduit de 0,5°, c'est-à-dire d'un angle de came (AC) de 2,5° à 2,0°. La valeur moyenne de P_{maxi} est passée de 120 à 130 bar, cette augmentation de 10 bar réduisant instantanément la consommation de carburant de 2,2% (173 au lieu de 177 g/kWh). Même si cela semble minime, l'impact est énorme à l'échelle du transport maritime mondial. Selon un rapport d'études de 2000 sur les émissions de gaz à effet de serre des

7 Rapport entre P_{maxi} et la consommation de combustible, obtenu sur le banc d'essais moteur de Wärtsilä à Winterthur (Suisse)



navires remis à l'Organisation maritime internationale (OMI), 138 millions de tonnes de soutes ont été consommées par le secteur en 1996. Une réduction de 2,2% équivaut à près de 3 millions de tonnes de soutes, soit 1,8 milliard de dollars. Pour un porte-conteneurs type de 6 700 EVP faisant le trajet entre Rotterdam et Singapour, cela représente environ 60 000 dollars d'économisés, sans compter la réduction des gaz à effet de serre.

Le rapport entre P_{maxi} et l'AC est déterminé par un capteur de pression ABB Cylmate placé dans le cylindre.

Résistant aux hautes pressions, à la pollution et aux chocs thermiques, ce capteur analyse et transmet des données entre deux allumages. Un article décrivant les performances mesurées du moteur diesel équipé du capteur Cylmate et du système d'analyse a été récompensé par le Prix du Président du CIMAC⁴⁾ en juin 2004, au cours du 24^{ème} Congrès mondial des technologies des moteurs à combustion qui s'est tenu à Kyoto au Japon.

De l'importance de bien communiquer

L'innovation est la clé de l'avenir d'ABB et de ses clients. Les différents exemples décrits dans cet article soulignent l'importance de collaborer et d'échanger les résultats des travaux scientifiques et projets technologiques avec les clients, les fournisseurs, les centres de recherche ou les universités. Cette collaboration conditionne leur survie et le progrès technologique.

George A. Fodor
Sten Linder
Jan-Erik Ibstedt
Lennart Thegel
Fredrik Norlund
Håkan Wintzell
Jarl Sobel
ABB AB
Västerås (Suède)
george.a.fodor@se.abb.com

Note

⁴⁾ Conseil international des Machines à combustion.
Le Prix du Président est très prestigieux au sein de l'industrie des moteurs.

Bibliographie

- [1] Arrow, K., *The limits of Organization*, W. W. Norton & Company, 1974
- [2] Teigland, R., Fey, C. F., *Julian Birkinshaw Knowledge Dissemination in Global R&D Operations: An empirical Study of Multinationals in the High Technology Electronics Industry*, The Management International Review, Gabler Verlag, 2000
- [3] Fodor, G. A., *High performance Flatness Control in Aluminium Processing*, Aluminium World, Vol. 2, 2008
- [4] Nowicki, R., Vermot-des-Roches, L., Szczepanski, P., Mouchette, A., Legrand, N., Bergsten, P., Jonsson, L., *Predictive Control for Cold Rolling Flatness*, joint ArcelorMittal ABB report, ATS Conference, Paris, 2007
- [5] Uppgård, T., *Estimation of Post-Rolling Effects in Cold Rolled Aluminium Strips*, Thèse, université d'Örebro, 2008
- [6] Uppgård, T., *Predicting Post-Rolling Flatness by Statistical Analysis – Improved Quality at Our Customer's Customer*, ABB Value Paper Series, 2007
- [7] ABB Pressure Sensor Fit for Loop Control, *Diesel & Gas Turbine Worldwide*, avril 2008

Haro sur le papier !

Dématérialisons les échanges industriels

Sascha Stoeter, Dejan Milenovic

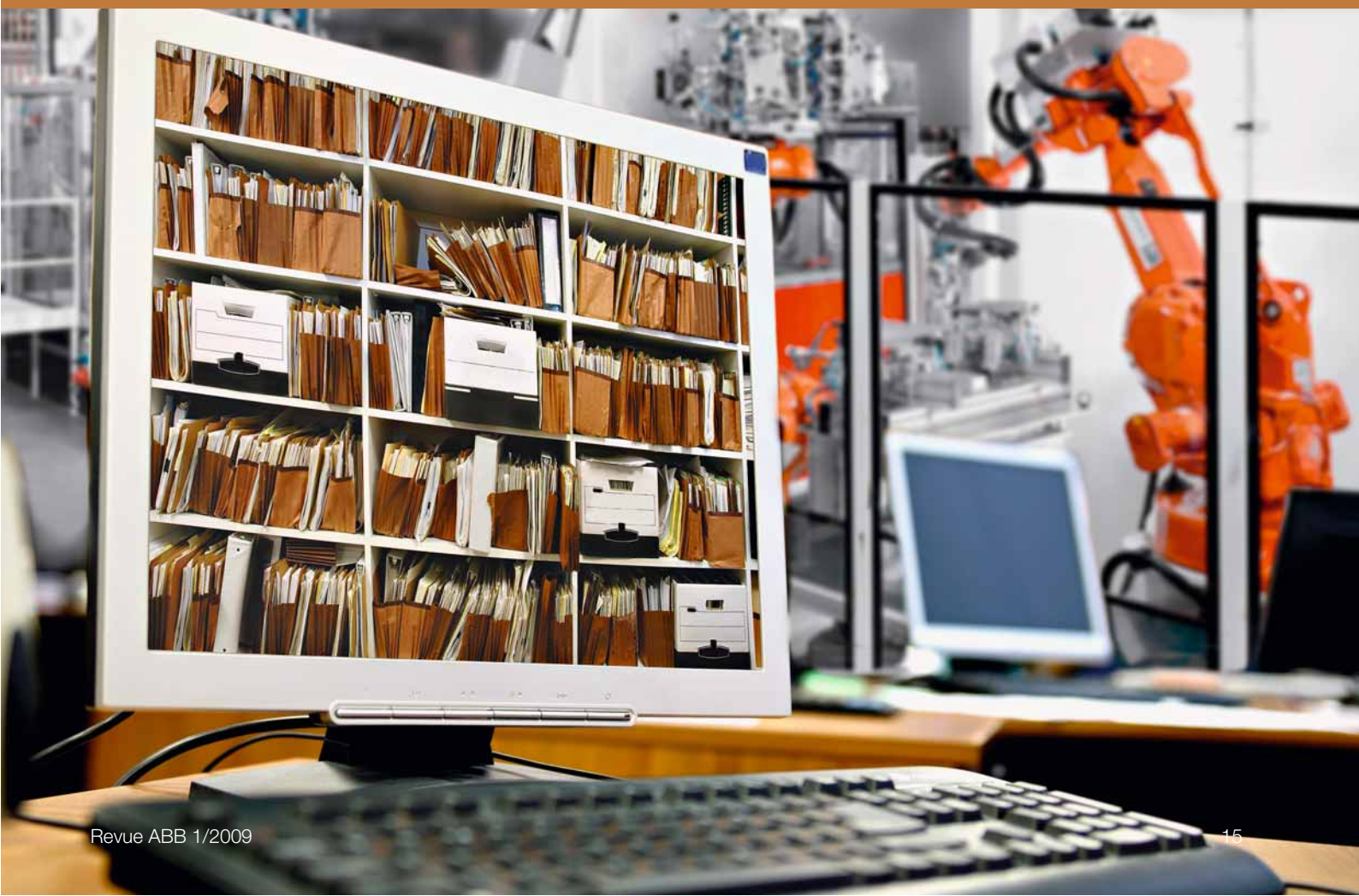
Nous vivons incontestablement dans une « société informationnelle » à laquelle l'industrie n'échappe pas si l'on en juge par l'abondance d'informations qui jalonnent toutes les étapes de la réalisation d'un produit, du lancement de la commande à sa livraison. Et pour cause : sur les lignes de fabrication, le personnel doit connaître exactement, à chaque stade, les tâches à accomplir ainsi que les pièces ou ingrédients à utiliser. Sans oublier d'enregistrer le résultat de chaque opération pour garantir l'assurance de la qualité et la traçabilité du produit.

Dans la plupart des cas, le papier est roi, qu'il s'agisse de consigner des instructions par écrit ou d'enregistrer des opérations ; et même si ces données finissent toujours par être mémorisées sous forme électronique, c'est encore à la main qu'il faut les entrer dans l'informatique. Toute cette

paperasserie n'est pas seulement fastidieuse et porteuse d'erreurs ; elle empêche d'accéder à une information rigoureusement à jour.

Le logiciel de connectivité d'entreprise *cpmPlus Enterprise Connectivity* d'ABB entend dématérialiser tous les flux papier : l'électronique suit désormais le produit à la trace pour n'afficher que les données pertinentes et utiles à la tâche en cours. L'ergonomie du poste de travail s'en trouve grandement améliorée et les erreurs se font moins nombreuses.

Ce logiciel est employé avec succès notamment dans la propre usine de matériels électriques d'ABB à Ratingen (Allemagne) et chez Wander, le célèbre fabricant suisse d'Ovomaltine.



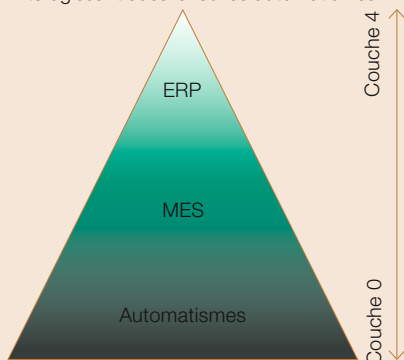
Partenariat et productivité

La connectivité est un élément essentiel de la fabrication numérique ou «MES» (*Manufacturing Execution System*) qui, selon l'architecture définie par l'ISA95 [1] **Encadré 1**, se situe à l'intersection de l'informatique de gestion «ERP» (*Enterprise Resource Planning*) de la couche supérieure et des systèmes de contrôle-commande des couches basses. Les logiciels de MES offrent ainsi des fonctionnalités de niveau 3 et doivent relever le défi de standardiser l'horizon temporel des données entre les diverses couches de la pyramide : si on demande aux ERP une précision de l'ordre de l'heure, voire plus, les automatismes travaillent plutôt à l'échelle de la

Encadré 1 La pyramide de l'automatisation industrielle

Cette architecture formalise une séparation des processus, fonctions, équipements et systèmes de l'entreprise selon plusieurs couches. Il existe de nombreuses représentations fonctionnelles de la production conçues selon divers critères adaptés à chaque domaine ; toutefois, le modèle le plus pertinent est celui utilisé par la norme ISA95. Les 4 couches de la pyramide fixent des limites de communication en n'autorisant les interactions qu'au sein de l'une d'elles ou avec les niveaux immédiatement supérieur ou inférieur. Sa forme reproduit le foisonnement des équipements dans les couches basses et leur faible nombre dans les couches supérieures : à son sommet figure le plus souvent un ERP et à sa base, une pléthore d'automatismes. Cette vision hiérarchisée des équipements et systèmes éclaire la compréhension de leur impact relatif sur la production.

Pour autant, cette modélisation de l'environnement de production, parmi d'autres, ne reflète pas toujours la réalité du terrain : des systèmes complexes peuvent remplir des fonctions transversales couvrant toute l'usine (stocks, par exemple), tout en dialoguant et interagissant aussi avec les automatismes.



ERP : gestion de l'entreprise
MES : exécution, suivi et pilotage de la production

seconde, quand ce n'est pas en temps réel.

Tout d'abord commercialisé comme solution de connectivité d'entreprise (ECS) [2], le logiciel *cpmPlus Enterprise Connectivity* est devenu le noyau stratégique de la suite de gestion collaborative de la production d'ABB

Encadré 2.

Finis les notes manuscrites et les risques d'illisibilité et d'erreurs de saisie dans l'ERP !

En finir avec le papier

Mettre en place cette connectivité dans l'atelier vise à développer une production zéro papier qui s'accompagnera d'avantages opérationnels et d'économies de coût :

- **Mise à disposition de la totalité des données de production en temps réel** : l'encadrement bénéficie sur-le-champ d'une visibilité globale de l'état de l'usine et de la production.
- **Aide contextuelle** : n'est affichée que l'information concernant précisément le produit en cours et l'étape de production, le personnel d'exploitation n'ayant plus à éplucher des tonnes de manuels de référence et de relevés. Le poste de travail est plus propre, plus sûr, plus efficace. La documentation est mise à jour facilement et à moindres frais depuis un point central.
- **Suppression des erreurs de saisie** : l'information suit par voie électronique le produit semi-fini, de la commande à l'expédition. Finies les notes manuscrites avec les risques d'illisibilité et d'erreurs de saisie dans l'ERP.
- **Enrichissement des contenus** : adieu crayon et papier, l'électronique permet d'enregistrer une bien plus grande quantité de données au travers d'automates, au bénéfice de l'atelier, du procédé (optimisé) et du client qui peut récupérer davantage d'informations sur la qualité des biens achetés. Cette traçabilité se prête aussi à la conformité réglementaire.
- **Facilité d'accès aux historiques** : le stockage électronique des données simplifie le suivi des flux de matiè-

res et limite les risques de rappels en aidant à identifier les lots contaminés ou les produits dangereux. Une façon de sauvegarder la réputation et le porte-monnaie de l'entreprise.

Ces bénéfices étant, comment se matérialise un environnement de travail ECS sans papier ? C'est sur le carreau de l'usine que les progrès sont les plus flagrants. Dans la production traditionnelle, les consignes sont souvent tirées de documents écrits qui suivent le produit tout au long de sa fabrication. Dans un système sans papier, configuré à cet effet, l'opérateur choisit la prochaine opération à exécuter sur un écran graphique affichant la chronologie des tâches à venir ; il peut aussi lire un code à barres. Ce contrôle lui permet également de s'assurer que la pièce est compatible avec l'étape de production en cours. La séquence d'assemblage, la documentation et les valeurs d'essai ou choix de montage s'affichent ensuite sur l'écran du poste de travail **1**.

La gestion évolue également : on installe des PC classiques dans les bureaux ou l'on équipe l'informatique en place de logiciels clients pour administrer le système, diffuser les commandes et visualiser les rapports.

1 Poste opérateur à écran tactile, clavier et lecteur de codes à barres sans fil



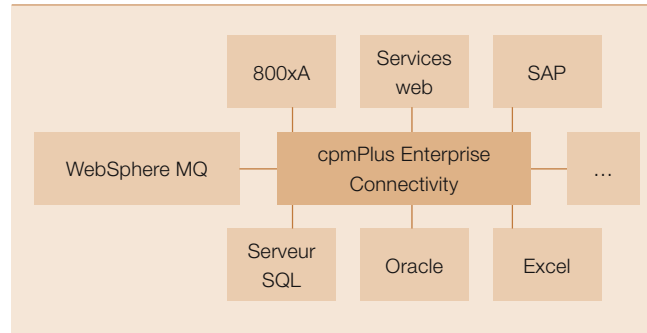
Cette accessibilité accrue de l'information est avantageuse à tous les échelons de l'entreprise : les commerciaux, mieux informés de la capacité des usines, sont à même de négocier les commandes en conséquence ; la direction scrute en temps réel la productivité et la rentabilité, de concert avec le système ERP ; les équipes de maintenance obtiennent les historiques détaillés de l'équipement lui permettant de programmer des contrôles à bon escient.

Présentation

Le système ECS s'appuie sur la norme ISA95 pour établir un langage commun à tous les niveaux de l'entreprise. Décrivant l'interface entre les couches 3 et 4, il fournit également une excellente base pour modéliser la connectivité de l'entreprise. Le modèle ISA95 est en outre inestimable pour faire dialoguer fournisseurs et clients. Au fil des ans, l'univers de la production et ses experts du conseil se sont forgé une terminologie spécifique pour nommer et décrire leur environnement. Il fallait donc une norme internationale solidement établie pour simplifier et unifier les échanges entre des cultures et jargons hétéroclites.

Focalisé sur les ressources, ECS offre des moyens pratiques d'informer le personnel sur les fonctions, équipements et matières liés à sa mission. Chaque élément de cette modélisation

- 2 Plaque tournante du système d'information de l'entreprise, ECS permet, par son ouverture, d'intégrer sans peine de nouveaux systèmes tiers.



peut être assorti de propriétés de différents types reprenant les valeurs opérationnelles du procédé. Ces ressources se combinent ensuite en « segments », représentant chacun une étape de la production. C'est en passant sans encombre d'un segment à l'autre, tout au long du schéma des flux de production et en conformité avec les exigences de la fabrication, que les commandes se concrétisent en produits.

Le code d'événement peut être saisi au format texte ou graphique.

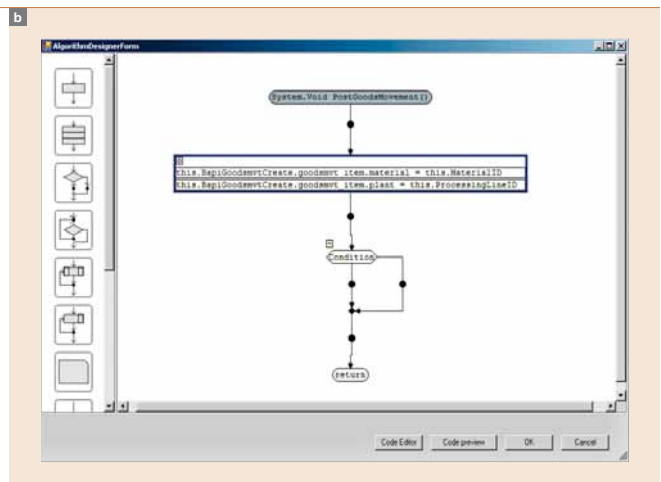
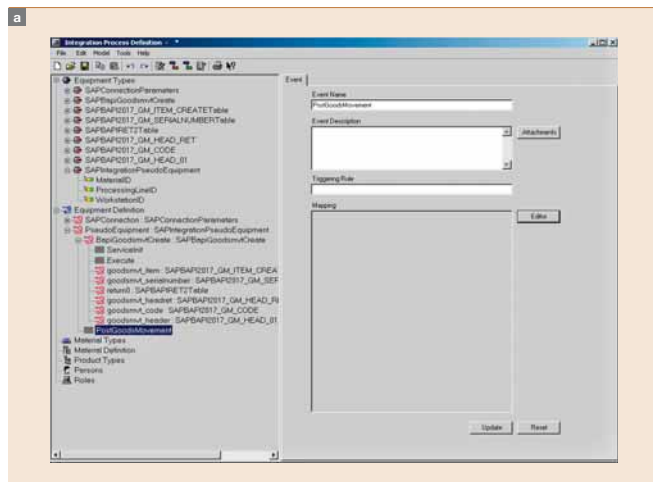
ECS et intégration

Par son architecture, ECS siège au centre du système de communication de l'usine 2 et sert de trait d'union entre les systèmes amont (ERP, par exemple) et le personnel et équipe-

ment de production. Les informations provenant des systèmes raccordés sont traduites dans le langage ISA95 et mises à la disposition de la plate-forme d'automatisation étendue 800xA d'ABB. Ce couplage fort avec le système 800xA permet, par exemple, d'alimenter l'interface OPC d'un flot choisi de données ERP, favorisant l'échange transparent d'informations entre les couches 2 et 4, et l'accessibilité aux données et fonctionnalités de l'entreprise, sur les synoptiques de procédé 800xA.

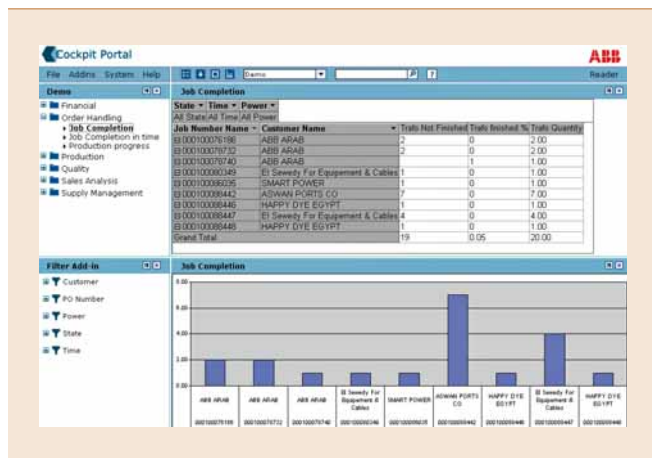
Bon nombre de systèmes de connectivité se targuent d'interopérabilité avec des produits tiers, ce qui se traduit souvent par une interface réalisant cette connexion mais dont le déploiement est laissé à la solde du client ou fait l'objet d'un contrat de conseil en sus. A contre-courant de cette pratique, ECS se raccorde aux systèmes externes les plus répandus par le biais d'adaptateurs, fournis de série, qui assurent cette connectivité avec de nombreux outils classiques, comme SAP, WebSphere MQ, les bases de données du commerce et les services web. D'autres adaptateurs embrochables peuvent s'ajouter pour répondre aux besoins du projet. ECS dialogue librement avec tous ces systèmes en s'accommodant, si nécessaire, des multiples représentations et débits de données.

- 3 L'outil de définition du procédé PDT gère les ressources normalisées ISA95 et en modélise les événements, par code personnalisé à l'aide d'éditeurs textuels et graphiques.



Partenariat et productivité

- 4 Cockpit est un outil de configuration graphique simple pour créer des rapports de production élaborés.



- 5 Transformateur RESIBLOC® de l'usine ABB de Brilon



Lorsque la liaison est établie, la prochaine étape consiste naturellement à faire passer les ordres d'un système à l'autre : un commercial peut non seulement saisir une nouvelle commande dans SAP mais aussi, dans l'absolu, lancer directement des opérations de production. Concrètement, des « scénarios » reproduisent les conditions ou « propriétés » de l'atelier dont certaines caractéristiques déclenchent automatiquement des actions :

- Une alarme complexe aux propriétés multisources provoque l'envoi de messages (SMS, par exemple) aux opérateurs concernés ou l'exécution immédiate de procédures d'arrêt d'urgence ;
- L'achèvement d'une étape de production entraîne systématiquement le lancement de la suivante ;
- Un mélangeur est automatiquement chargé, au bon moment, de la quantité adéquate d'ingrédients provenant des silos.

Ces comportements sont subordonnés au concept d'« événement » mis en œuvre par ECS ; il peut s'agir d'un code personnel dont l'exécution est lancée manuellement par l'opérateur ou par l'intermédiaire d'une expression booléenne combinant plusieurs propriétés. En privilégiant la concision dans la rédaction de ces événements, on peut créer une solution de connectivité industrielle intelligente, qui soulagera les opérationnels des tâches fastidieuses tout en assurant une supervision temps réel de la production.

Outils

Si l'on veut doter les ingénieurs d'un environnement de développement efficace, il faut traduire ces concepts en outils, au nombre de trois pour ECS :

Définition

PDT (*Process Definition Tool*) est le premier outil de modélisation 3 des scénarios de connectivité d'un site donné : il permet de créer la solution et de l'adapter aux nouvelles exigences de la production en cours. La partie gauche de la fenêtre applicative affiche les différentes arborescences énumérant les ressources actuelles du procédé ; la partie droite donne le détail de chaque entité de modélisation manipulable par l'ingénieur. Cet outil sert à modéliser et à mettre en relation les ressources de base de la production. L'ingénieur peut ajouter des propriétés supplémentaires et un code personnel en C# et Visual Basic, portes ouvertes sur l'univers .NET. Ce code est saisi à l'aide d'un éditeur de

texte (méthode traditionnelle) 3a ou d'un éditeur graphique 3b qui permet de tracer les algorithmes et synthétise d'un seul coup d'œil l'enchaînement des événements. Ce codage facilite la création de fonctionnalités simples et vérifie l'interconnectivité. Des fonctions plus complexes peuvent s'intégrer à l'aide de bibliothèques DLL

Encadré 2.

Administration

L'outil *Admin* configure l'installation ECS en cours ; il s'interface aisément avec la base de données centrale à serveur SQL. Il permet aux administrateurs de gérer les droits d'accès et autorisations des utilisateurs, de surveiller le système et de visualiser des rapports sommaires.

Pilotage

Cockpit assure des fonctions avancées d'élaboration de rapports 4. Un grand nombre de données de production sont collectées en continu par ECS sans avoir à reconfigurer le système. Cockpit exploite cette mine d'informations qu'il peut rattacher à des sources complémentaires (historiques, par exemple) ; il offre une représentation graphique de ces données facilitant l'identification des corrélations cachées.

La toute dernière version d'ECS (3.5) apporte son lot d'améliorations en termes de souplesse d'emploi et de performances de développement, ce qui accélère la réalisation des projets. Citons notamment le « redéploiement par simple clic » qui permet de rame-

Encadré 2 Des acronymes stratégiques

CPM	Gestion collaborative de la production
DLL	Bibliothèque de liens dynamiques
ERP	Gestion des flux et procédures de l'entreprise
MES	Exécution, pilotage et suivi de la production
OPC	Standard d'échange et de mise à disposition des données entre applications d'automatisme, d'instrumentation et de supervision
SMS	Mini-message textuel
SQL	Langage d'interrogation de bases de données

ner les temps d'exécution à la seconde, l'aide au débogage de modèles par Visual Studio, l'amélioration de la connexion utilisateur et la création simultanée et collaborative de modèles par plusieurs ingénieurs travaillant sur différents postes. La version ECS 4.0 (prévue pour le premier semestre 2009) n'aura plus besoin de la plate-forme d'exécution 800xA même si elle pourra continuer à lui être étroitement couplée. Un moteur de représentation graphique des flux de production (déroulement des tâches, ressources et procédures) simplifiera considérablement la configuration du procédé. Pour lancer de nouveaux développements ou des projets à un stade avancé, ou encore se familiariser avec les meilleures techniques de modélisation, une bibliothèque ECS de modèles d'intégration prêts à l'emploi (*ECS Template Repository*) sera accessible aux clients en ligne.

Partage de responsabilité

ECS est opérationnel dans de nombreuses usines du Groupe ABB et d'autres sociétés. Quelle que soit la complexité du projet, la réussite de sa mise en œuvre suit toujours le même cheminement.

Après un premier contact, une équipe d'ingénieurs ECS se rend plusieurs jours sur le site concerné pour s'entretenir avec les experts du domaine et intervenants du projet. Cette première

étape permet de dresser un cahier des charges exhaustif reprenant aussi bien les généralités que le détail de tous les aspects du système. Des priorités sont affectées à des cas d'application pour guider les ingénieurs projet durant la phase de mise en œuvre. D'autres cas sont signalés comme étant souhaitables ou à garder pour de futures extensions. Quoiqu'il en soit, on veille à clairement identifier les limites du système et le cahier des charges est validé avec le client.

La conception et la mise en place de la solution ont lieu en dehors du site. A mesure que les pièces du puzzle s'assemblent pour former un tout et que sont notamment ajoutées les interfaces utilisateur, le client intervient de nouveau en phase de validation. Vers la fin du projet, le site client reprend la main avec l'installation des serveurs et l'exécution des essais en situation réelle.

L'implication des experts des deux parties est certes indispensable à la réussite du projet mais ne suffit pas à la garantir. Un système n'a d'intérêt que s'il est accepté par ses utilisateurs. On a trop tendance à oublier que les petites « cases » du modèle documenté correspondent à des personnes du monde réel et que, sans leur soutien, la mise en œuvre peut tourner au fiasco. De nombreuses applications d'ECS ont remporté

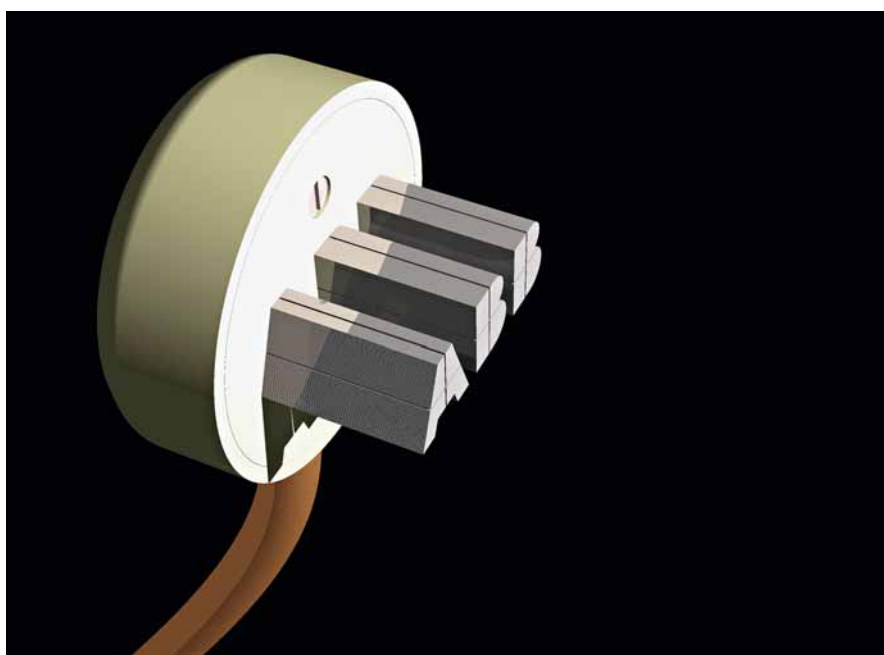
l'entière adhésion des opérateurs car ces derniers étaient activement impliqués d'un bout à l'autre du projet. C'est ainsi que, par exemple, plusieurs usines organisent des « concours de conception de poste opérateur » [1], ouverts à tout le personnel d'atelier.

La connectivité au banc d'essai

ABB a mis à l'épreuve le logiciel ECS dans son usine de transformateurs de Brilon, en Allemagne [5]. La flexibilité de la solution et son ergonomie ont permis de lever bien des obstacles : couplage avec un ERP atypique et une application de planification offrant un cheminement souple dans le flux de travail en fonction des contraintes de l'ERP, intégration de l'entrepôt de documents existant, interfaces multilingues pour s'adapter à la diversité culturelle du personnel...

Sa mise en œuvre fut tout aussi réussie chez l'industriel suisse Wander.

La solution flexible *cpmPlus Enterprise Connectivity* d'ABB est un brillant exemple de connectivité d'atelier. Sa configuration simple et directe garantit aux clients des économies de développement et de maintenance, un haut niveau de souplesse évolutive du système et des informations sur l'état du procédé fiables, à jour et accessibles à tous les échelons de l'entreprise.



Sascha Stoeter

ABB Corporate Research
Industrial Software Systems
Baden-Dättwil (Suisse)
sascha.stoeter@ch.abb.com

Dejan Milenovic

ABB Process Industries Products
Baden-Dättwil (Suisse)
dejan.milenovic@ch.abb.com

Bibliographie

- [1] ISA-95 Manufacturing Enterprise Systems Standards, <http://www.isa.org/>, (consulté en février 2009)
- [2] Dondi, P., Berisa, D., Milenovic, D., Milenovic, T., Tellarini, M., *Solutions d'intégration pour le secteur manufacturier*, Revue ABB 2/2004, p. 34-38

Des départs-moteurs étroitement surveillés

Surveillance et suivi d'état des départs-moteurs intégrés BT

chez un industriel finlandais

Rajesh Tiwari, Jouni Seppala

Les opérateurs de sites industriels n'aiment pas les surprises. Or dans une usine qui tourne 24 h/24 à des cadences de fabrication très soutenues, comment éviter le grain de sable qui peut gripper la machine ? Maintenir l'état de santé de l'outil industriel s'impose rapidement comme un impératif pour éviter les mauvaises surprises et donc comme un vecteur de la réussite d'une entreprise. D'importants gains de produc-

tivité et financiers sont possibles en adoptant une politique de maintenance conditionnelle qui conjugue actions prédictives et proactives.

Le système d'appareillage électrique MNS iS d'ABB avec fonctionnalités de surveillance et de suivi d'état vient d'être mis en œuvre chez un industriel finlandais de la chimie, l'aidant à optimiser sa maintenance et à réduire ses coûts. Bonne nouvelle !



OMG Kokkola est le premier producteur mondial de produits chimiques spéciaux à base de cobalt destinés principalement aux batteries et outils de découpe en métal dur. Ces applications extrêmement sensibles obligent l'entreprise finlandaise à respecter des exigences de qualité très fortes pour ses poudres de cobalt. Imaginez les conséquences désastreuses de l'explosion de la batterie d'un ordinateur portable dans un avion !

Pour moderniser son outil de production, OMG a mis à niveau le système d'automatisation de sa ligne de fabrication de poudres de cobalt en 2006. Une part importante du projet concernait les tableaux de départs-moteurs basse tension (BT). Afin de tirer tout le potentiel des récents progrès dans le domaine de la maintenance, l'entreprise a choisi le concept d'appareillage électrique intégré et intelligent MNS iS d'ABB. Équipés de capteurs de mesure du courant, de la tension et de la température, ces appareils fournissent des données abondantes, indispensables à la mise en œuvre d'une démarche globale de maintenance conditionnelle.

Le site d'OGM fourmille de capteurs et de départs-moteurs intelligents qui collectent une grande quantité de données. Or l'accès à ces données n'avait pas permis d'améliorer, comme escompté, la maintenance pour les raisons suivantes :

- Quelle que soit leur pertinence, l'intégralité des données recueillies sur le terrain était transmise par le contrôleur du système d'automatisation, dégradant ses performances et celles des applications critiques du contrôle-commande de la production. Pourtant, le rôle du contrôleur est bien de piloter les procédés, non de gérer l'information !

- Les données non pertinentes pour l'exploitation arrivaient principalement chez les opérateurs de conduite qui en avaient peu l'usage.
- Les informations n'étaient accompagnées d'aucune consigne précise et les opérateurs étaient incapables d'interpréter seuls ces informations pour agir en conséquence.

L'information n'a de sens que pour celui qui la comprend et en a l'utilité. Seule une plate-forme unifiée qui présente la bonne information à la bonne personne au bon moment est porteuse de valeur.

La maintenance chez OMG

Chez OMG, 2 types de maintenance étaient, grosso modo, pratiqués : la maintenance préventive et la maintenance corrective.

Equippé de capteurs de mesure du courant, de la tension et de la température, l'appareillage MNS iS fournit des données abondantes.

Maintenance préventive

Celle-ci consiste à contrôler, à échéances fixes, la totalité des équipements, indépendamment des besoins réels. Il s'agit de la méthode la plus courante pour l'instrumentation de terrain, les moteurs, les vannes, les pompes, etc. Comme son nom l'indique, elle s'attache à prévenir les pannes potentiellement coûteuses en cours d'exploitation. Peu efficace, elle pallie le manque de données factuelles sur la nécessité d'intervenir ou de réparer une machine, un équipement ou un système de l'usine. Le calendrier de

maintenance préventive d'OMG était souvent établi sur la base de l'expérience ou de défaillances réelles ; pour autant, rien ne garantissait que l'équipement ne tombe en panne entre deux contrôles.

Maintenance corrective

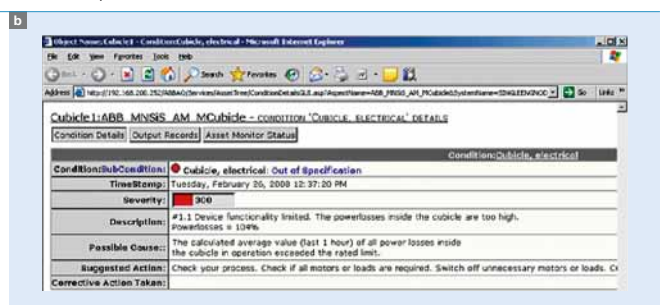
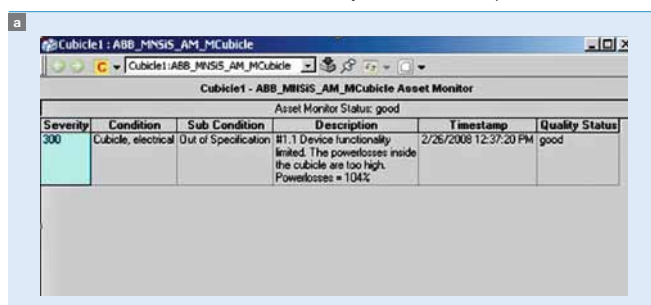
Egalement appelée maintenance réactive, cette méthode prévoit de n'intervenir qu'après défaillance d'un actif. On juge tout à fait normal que la dynamique du procédé soit interrompue par un déclenchement ou une surcharge qui, bien qu'inopportun, peut être résolu. La vraie difficulté survient, toutefois, lorsque c'est l'équipement lui-même qui tombe en panne et que les pièces de rechange ne sont pas disponibles.

Solution de surveillance d'état des départs-moteurs

Chez OMG, on considérait, à tort, que les moteurs BT tournant à vitesse constante n'avaient pas d'impact majeur sur la disponibilité globale du site industriel, alors même qu'ils étaient responsables de la plupart des arrêts de production. Le déclenchement d'un moteur ou un défaut dans un départ-moteur suffisait à arrêter le procédé. La technologie ABB de surveillance et de suivi d'état *Asset Monitor* pour l'appareillage MNS iS fut donc installée chez l'industriel pour rendre la maintenance des départs-moteurs intégrés BT plus efficace.

La solution *Asset Monitor* est un outil logiciel qui collecte des données multi-sources, les replace dans le contexte de l'actif et les analyse **1**. L'état fonctionnel de l'actif est évalué, les éventuels problèmes sont détectés et des actions préconisées. Un rapport de défaut est ensuite transmis au personnel chargé de réagir aux problèmes.

1 Interface d'*Asset Monitor* **a** et analyse de la cause probable d'un défaut avec action préconisée **b**



Partenariat et productivité

Asset Monitor fonctionne directement sur la plate-forme d'automatisation étendue 800xA d'ABB de l'usine. La collecte et l'affichage des informations sont illustrés en 2.

L'appareillage MNS *iS* intègre une interface bus de terrain pour l'échange des données de procédé avec le système d'automatisation. Toutes les valeurs électriques et les informations nécessaires à la maintenance sont directement acheminées par interface OPC[®], installé dans le PC serveur du poste opérateur du système. Le poste *Asset Monitor* est dédié exclusivement à la maintenance : l'accès à l'information pertinente varie selon la fonction et l'habilitation de chacun (ex., technicien).

La solution logicielle est structurée en 4 grandes fonctions au contenu variable :

- Fonction *Commande* : tous les départs-moteurs sont représentés à l'écran, la navigation se faisant selon l'architecture de la communication.
- Fonction *Localisation* : indique l'emplacement de tous les départs-moteurs intelligents de l'usine.
- Fonction *Actif* : affiche le nom de chaque appareil suivi du regroupement des départs-moteurs selon le mode de démarrage (ex., direct sur le réseau, par résistances).
- Fonction *Documentation* : donne accès à la documentation utile de tous les départs-moteurs.

Ces différentes fonctions et possibilités de navigation permettent de consulter plusieurs écrans de maintenance et fenêtres **Encadré 1**.

La technologie ABB de surveillance et de suivi d'état *Asset Monitor* pour l'appareillage MNS *iS* fut installée chez OMG afin de rendre la maintenance des départs-moteurs intégrés BT plus efficace.

Asset Monitor pour les départs-moteurs

La solution *Asset Monitor* collecte les données d'état des moteurs, des contacteurs et des contacts des départs-moteurs afin d'anticiper les besoins de maintenance conditionnelle. Elle distingue les équipements qui fonctionnent :

- en service continu ;
- rarement ou pas du tout au cours d'une période donnée ;
- en sous-capacité ou surcapacité, et qui nécessitent une intervention.

Asset Monitor analyse également en continu tous les événements, alarmes et déclenchements qui réclament une intervention spécifique ou posent problème. Il classe ces différents états selon leur nature : électrique, mécanique, fonctionnelle et applicative (liée au procédé). Ce classement permet d'identifier et de transmettre les informations à l'agent de maintenance

approprié qui peut agir en conséquence. Ces états sont eux-mêmes subdivisés en sous-états hiérarchisés en fonction de niveaux de gravité qui indiquent la dégradation des performances de l'actif pour une identification et une intervention rapides **3**.

Un clic droit sur ces états dans *Asset Monitor* ouvre une nouvelle fenêtre qui fournit une analyse complète et précise du problème :

- nature et localisation,
- type et niveau de gravité,
- cause,
- opérateur responsable de l'action à mettre en œuvre (s'agit-il d'un problème d'exploitation ou de maintenance?),
- remèdes ciblés.

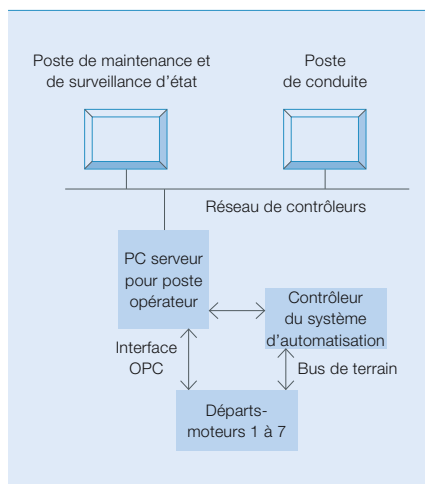
Si un service de messagerie électronique ou de SMS est activé, le rapport de défaut est envoyé à l'opérateur chargé de résoudre le problème.

Ecran de maintenance des départs-moteurs

Pour aider l'électricien dans sa tâche, un écran affiche un synoptique de chaque départ-moteur avec toutes les mesures et données d'état pour la surveillance en ligne **4**. Cet écran donne également les informations suivantes qui peuvent être remises à zéro :

- Dépassement du nombre d'alarmes de surcharge thermique,
- Dépassement du nombre de déclenchements en surcharge thermique,
- Dépassement du nombre d'alarmes de limitation de démarrages,

2 Collecte et présentation des informations avec *Asset Monitor*



Encadré 1 Organisation des fonctions et écrans de la maintenance conditionnelle des départs-moteurs intelligents

- Listes de tous les événements et alarmes au fil de l'eau,
- Courbes de tendance des valeurs de courant et de tension sur les trois phases ainsi que de température de tous les contacts de sortie,
- Ecrans de diagnostic avec courants de déclenchement, images thermiques, temporisation de déclenchement pour un moteur en régime de surcharge et temporisation de réarmement (temps de refroidissement des moteurs types après déclenchement en surcharge),
- Journaux de toutes les valeurs historisées pour analyse ultérieure,
- Surveillance d'état des départs-moteurs avec analyse de tous les événements, alarmes et déclenchements nécessitant une intervention (fonctionnalité la plus importante d'*Asset Monitor*),
- Ecran de maintenance des départs-moteurs avec schéma unifilaire présentant une vue dynamique de tout défaut au sein d'un départ-moteur (fonctionnalité particulièrement utile aux électriciens),
- Arborescence de l'état de tous les départs-moteurs.

- Dépassement du nombre de déclenchements en limitation de démarrages,
- Cycles d'insertion.

Enfin, *Asset Monitor* est disponible en plusieurs langues et utilise les couleurs, les symboles, la nomenclature et la configuration préconisées par la NAMUR²⁾.

Maintenance conditionnelle avec *Asset Monitor*

Les départs-moteurs intelligents BT MNS *iS* fournissent des informations et des données de maintenance à foison que le logiciel *Asset Monitor* replace dans leur contexte pour l'intervenant. Ainsi, par exemple, le départ-moteur intègre des appareils extractibles pour lequel le nombre de cycles d'insertion est important. Lors-

que ce paramètre atteint une valeur donnée sur un module particulier, les contacts électriques nécessitent une intervention de maintenance. En effet, celle-ci garantit l'optimisation de la manœuvre de ces contacts et leur pression, clé des performances du départ-moteur sur sa durée de vie.

Autre action de maintenance conditionnelle : la mesure en continu de la température des contacts pour anticiper la dégradation du câblage. *Asset Monitor* surveille également les moteurs et autres équipements pour identifier ceux qui fonctionnent en service continu et connaître leurs besoins de maintenance. De même, il vérifie que les départs-moteurs sont bien remontés dans l'emplacement ad hoc après maintenance et contrôle en permanence tous les composants

internes, calcule leur consommation et leur durée de vie résiduelle. Il informe l'opérateur de leur état de santé et du planning de maintenance ou de remplacement. Les types d'intervention sont classés en différentes rubriques - électrique, mécanique, procédé et exploitation - puis transmis à l'équipe de maintenance appropriée.

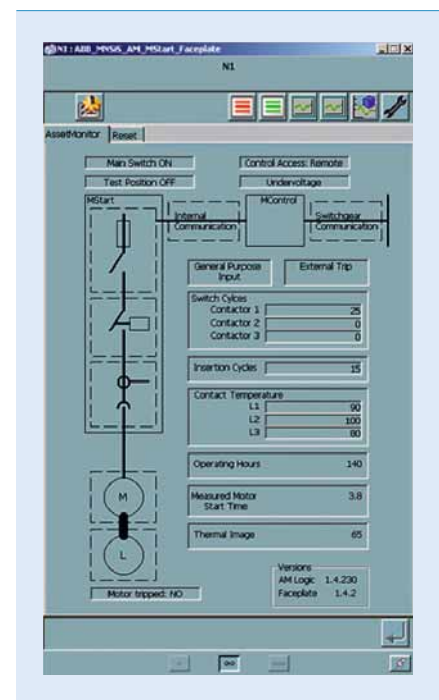
La solution *Asset Monitor* est un outil logiciel qui collecte des données multisources, les replace dans le contexte de l'actif et les analyse.

Non content de prévenir les opérateurs qu'une intervention s'impose, le système les alerte également lorsqu'une situation particulière nécessite une mesure proactive. Les critères d'alerte, la temporisation de déclenchement de l'appareil ainsi que le niveau de gravité sont configurables pour chaque défaut, fonction de sécurité ou protection des moteurs. Plus

3 Etats et sous-états d'*Asset Monitor*

Gravité (état)	Sous-état	Description
1 (normal)	Normal 	Moteur en fonctionnement normal et pleinement opérationnel ; aucun besoin de maintenance
2 (défini par l'utilisateur)	Défaillance    	Entrée générique : le niveau de gravité, l'état, la description, la cause possible et l'action préconisée sont définis par l'utilisateur ; l'icône varie selon le niveau de gravité.
100 (bas)	Besoin de maintenance (à brève échéance) 	Moteur en fonctionnement normal mais nécessitant bientôt une intervention de maintenance ; il est pleinement opérationnel mais devra être vérifié pour ne pas limiter ses capacités fonctionnelles.
250 (élevé)	Besoin de maintenance (immédiat) 	Moteur en fonctionnement normal mais nécessitant une intervention de maintenance immédiate ; il est pleinement opérationnel mais doit être vérifié pour ne pas limiter ses capacités fonctionnelles.
400 (externe départ-moteur)	Hors spécifications 	Moteur encore en fonctionnement ; capacités fonctionnelles dégradées du fait de conditions d'exploitation hors des limites spécifiées.
500 (interne départ-moteur)	Hors spécifications 	Moteur encore en fonctionnement ; capacités fonctionnelles dégradées du fait de problèmes internes.
750 (élevé, externe départ-moteur)	Contrôle fonctionnel 	Moteur arrêté ; fonctionnement impossible ; contrôle fonctionnel ; actif hors service pour une intervention en cours (commandé en local ou en maintenance).
900 (élevé, externe départ-moteur)	Défaillance 	Moteur arrêté pour défaillance ; non fonctionnel du fait du dysfonctionnement d'un périphérique ou de conditions d'exploitation.
1000 (élevé, interne départ-moteur)	Défaillance 	Moteur arrêté pour défaillance ; non fonctionnel du fait du dysfonctionnement de l'actif lui-même.

4 Ecran type d'*Asset Monitor*



Notes

¹⁾ Object linking and embedding for Process Control

²⁾ Association internationale d'utilisateurs des techniques de conduite automatisée dans les industries de transformation

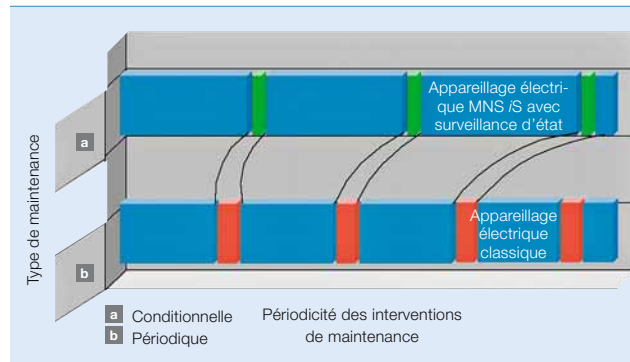
Partenariat et productivité

important, l'état thermique de tous les moteurs est surveillé en continu. Lorsqu'un moteur est en surcharge, *Asset Monitor* calcule en dynamique le moment précis où il est susceptible de déclencher, en avertit l'opérateur et amorce l'action corrective. Si le déclenchement est imminent, toutes les valeurs mesurées (y compris le courant de déclenchement) sont consignées pour analyse rétrospective et un rapport détaillé est élaboré pour localiser le défaut. Ces interventions en ligne sont déterminées sur la base des mesures de courant, de tension et de température réalisées par le départ-moteur intelligent.

La solution *Asset Monitor* collecte les données d'état des moteurs, des contacteurs et des contacts des départs-moteurs afin d'anticiper les besoins de maintenance conditionnelle.

Le système surveille également l'état général des appareils selon des critères définis par l'utilisateur. Par exemple, lors de la surveillance de facteurs externes aux moteurs ou des verrouillages du procédé, l'utilisateur

5 *Asset Monitor* complète mais ne remplace pas les méthodes traditionnelles de maintenance.



peut paramétrer les détails du problème, sa cause, son niveau de gravité et les actions préconisées.

Cahier des charges d'OMG

Asset Monitor devait permettre à OMG d'améliorer les performances et la qualité de la maintenance. Nous décrivons ci-après le cahier des charges fixé par l'industriel et les résultats obtenus.

Installation et exploitation

Première obligation dans la mise en place du programme de surveillance d'état : conserver la structure existante du système d'automatisation et de conduite des procédés sans aucune programmation dans le contrôleur et sans perturber la production (en d'autres termes, le système ne devait subir aucune modification!). *Asset Monitor* devait être facile à installer et à exploiter, et accessible dès le premier jour.

Cette contrainte a été respectée. Les données de l'appareillage électrique MNS /S sont acquises en temps réel et transmises directement à l'opérateur sans passer par le contrôleur du système d'automatisation.

Simplicité d'utilisation

Les données de maintenance fournies par *Asset Monitor* devaient être claires et conviviales ; l'utilisation du système ne devait exiger aucune expertise particulière.

Pour se familiariser avec le système, se l'approprier et l'utiliser, les techniciens de maintenance ont suivi une formation. Pour OMG, le système répondait effectivement à ce niveau de compétences.

Plate-forme de maintenance globale de l'usine

OMG exigea que toutes les activités de maintenance relatives à l'appareillage électrique raccordé soient centralisées sur une même plate-forme sans avoir à changer d'application. Celle-ci devait également pouvoir évoluer pour fédérer, à l'avenir, toutes les données de maintenance de l'usine.

Première obligation dans la mise en place du programme de surveillance d'état : conserver la structure existante du système d'automatisation et de conduite des procédés.

Tous les appareils MNS /S du site furent raccordés à la plate-forme de maintenance. L'instrumentation et les équipements ABB ajoutés par la suite pourront s'y connecter. ABB propose des modules *Asset Monitor* génériques pour les équipements tiers ; il revient toutefois au personnel du site de les configurer.

Amélioration de la maintenance

Rappelons que l'objectif premier était d'alléger la maintenance tout en améliorant les performances des départs-moteurs intelligents. Bien évidem-

Aux commandes du système d'automatisation étendue 800xA d'ABB



Encadré 2 Mise en œuvre d'*Asset Monitor*

L'expérience acquise lors de la mise en œuvre du programme *Asset Monitor* chez OMG sera capitalisée par d'autres entreprises qui désirent améliorer leur maintenance. Son utilisation efficace exige, au préalable, une stratégie et un plan d'action méthodiques.

1) Définition des objectifs et du plan d'action.

Quels sont les bénéfices escomptés de la mise en œuvre du programme de surveillance d'état ? Comment *Asset Monitor* doit-il résoudre les problèmes actuels de maintenance de l'usine ? Un plan d'action détaillant les ressources, le personnel et les procédures doit être élaboré. L'équipe désignée doit s'impliquer et les besoins de formation doivent être clairement définis et satisfaits.

2) Engagement et soutien de la direction. La réussite du programme de surveillance d'état suppose un investissement financier et la mobilisation de ressources. L'engagement supérieur doit pleinement s'engager dans sa mise en œuvre et y affecter les moyens nécessaires (ressources, personnel et formation).

3) Volonté et préparation de l'équipe. Les pratiques de maintenance et les méthodes de travail existantes doivent évoluer. L'équipe doit accepter d'acquiescer de nouvelles compétences pour utiliser efficacement le programme.

ment, le système de surveillance et de suivi d'état ne peut se substituer aux méthodes traditionnelles de maintenance préventive ou réactive. Il constitue, néanmoins, un précieux outil qui s'ajoute au programme de maintenance globale d'une usine **5**.

La maintenance préventive fixe un échéancier des interventions. La maintenance prédictive prévoit également des actions périodiques mais en fonction des besoins réels des équipements ; elles seront donc plus ou moins espacées. En maintenance préventive, la durée des interventions peut être comparativement longue car elles concernent la totalité des équipements ; en maintenance prédictive, elles sont plus courtes et ne se font qu'au vu des besoins. Surtout, la maintenance préventive s'inscrivant dans un principe de précaution et étant réalisée à date fixe, elle ne peut empêcher un arrêt de l'usine aux conséquences catastrophiques lorsqu'un équipement tombe en panne entre deux échéances. Tel est précisément l'intérêt de la surveillance d'état avec *Asset Monitor* car l'outil industriel et ses performances sont en permanence auscultés par le personnel de maintenance.

Les solutions de surveillance d'état ne peuvent supprimer la maintenance réactive ou la réparation d'équipements en panne. Pour autant, elles signalent efficacement et précocement

des problèmes potentiels et permettent aux opérateurs d'agir avant la panne. Lorsqu'un déclenchement ou un dysfonctionnement survient, *Asset Monitor* aide à identifier rapidement le problème et guide le technicien dans sa résolution. Même s'il ne peut supprimer totalement les déclenchements ou les défauts, il réduit radicalement la moyenne des temps de réparation (MTTR) en maintenance réactive.

La surveillance d'état constitue un précieux outil qui s'ajoute au programme de maintenance globale d'une usine.

Mieux vaut prévenir que guérir

La technologie *Asset Monitor* d'ABB pose le principe qu'en mettant un actif sous surveillance constante, on peut prédire avec précision les intervalles de maintenance et donc réduire la probabilité d'une défaillance entre ces intervalles, améliorer la disponibilité et le bilan de santé de l'actif et de l'usine dans son ensemble tout en diminuant les coûts de maintenance. En somme, il s'agit de faire de la maintenance préventive conditionnelle.

De plus, *Asset Monitor* contribue à réduire le stock de pièces détachées

en dégageant tout le temps nécessaire pour les commander. La prévention des défaillances inopinées et la détection précoce des problèmes ne peuvent qu'accroître la durée de fonctionnement des actifs industriels. Enfin, comme la durée de vie résiduelle de l'actif est également surveillée, le système aide à arbitrer entre le remplacement et la réparation.

Les contrôleurs du système d'automatisation ne reçoivent que les données indispensables à la conduite du procédé et aux verrouillages : la communication gagne en vitesse et en performance. Ils peuvent mieux piloter la production et exécuter les boucles de régulation plus efficacement. De même, les différents opérateurs ont accès aux informations utiles sur lesquelles ils peuvent agir directement. Enfin, les temps de latence entre activités d'exploitation et de maintenance sont réduits.

Une maintenance conditionnelle avec surveillance d'état correctement mise en place et exécutée doit permettre de réduire les interventions inutiles et les temps improductifs, d'améliorer les performances et de faire baisser les coûts de maintenance. Par dessus tout, elle optimise tous les facteurs de performance d'un actif.

Rajesh Tiwari

ABB Switzerland Ltd
Zurich (Suisse)
rajesh.tiwari@ch.abb.com

Jouni Seppala

ABB Low Voltage Systems
Vaasa (Finlande)
jouni.seppala@fi.abb.com

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier M. Asko Wirkkala ainsi que les automaticiens et les électriciens d'OMG Kokkola pour leurs efforts dans l'adoption et la mise en œuvre de cette technologie innovante.

Le service axé sur le dialogue et le partage entre équipement et utilisateur
John DuBay

Revue ABB 1/2009

Bon nombre de sites Internet se veulent des lieux d'échange permettant d'interagir au sein de « communautés de veille et d'intérêt ». Au cœur de ces espaces figurent le Web 2.0 et les usages et outils dernier cri de l'Internet : blogs, flux RSS, wikis, messagerie instantanée, agrégation et mixage de contenus de sites tiers (*mashups*)... Et nombreux sont les industriels à amorcer le virage du 2.0 pour mieux communiquer avec leurs actifs et en fiabiliser l'exploitation. ABB est convaincu que ces applications héritées des réseaux sociaux de l'Internet bénéficieront à l'intelligence collective de l'information et des services¹⁾ de suivi, de support et de maintenance à distance.

Les environnements bâtis sur les réseaux sociaux Internet ont de nombreuses et puissantes applications transposables à la maintenance des équipements industriels.

Les machines ont la parole

La « télégestion intelligente » concerne des équipements ou systèmes déportés, intégrés à des solutions de surveillance et de diagnostic, qui empruntent des liaisons sécurisées pour transmettre leur bilan de santé à un contrôle centralisé afin de faciliter le diagnostic de pannes et la maintenance périodique ou continue. Les conseils prodigués au personnel sur site lui sont transmis en ligne et les solutions de gestion agissent directement sur les équipements de terrain. Concrètement, ces téléservices ABB permettent d'accéder à :

- des spécialistes de l'optimisation du procédé ;
- un centre de compétences techniques ;
- une formation complémentaire et des conseils d'expert ;
- des centres d'appel régionaux ;

Note

¹⁾ L'expression « intelligence des services » désigne l'agrégation, la mutualisation et la coopération de l'ensemble des informations, technologies, experts et outils de diagnostic, de gestion commerciale, de logistique, de livraison et de suivi des produits ABB.

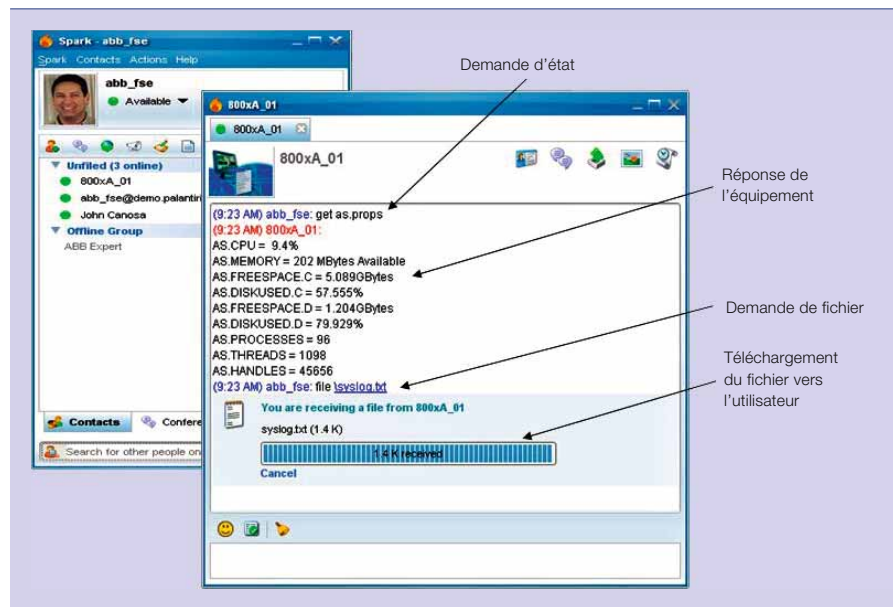
- un accompagnement du développement projet.

Ces téléservices ne font pas qu'accroître le taux de rendement synthétique (TRS) des équipements ; ils évoluent rapidement et s'engouffrent dans la brèche ouverte par les services en ligne de type Facebook et MySpace. De plus, bien des jeunes qui entrent aujourd'hui dans le monde du travail sont des internautes confirmés : ces accros et virtuoses du Net sont nés dans les années 1980 et 1990, à une époque où les principales fondations de la culture numérique (micro-ordinateurs, Internet, iPod) étaient déjà en

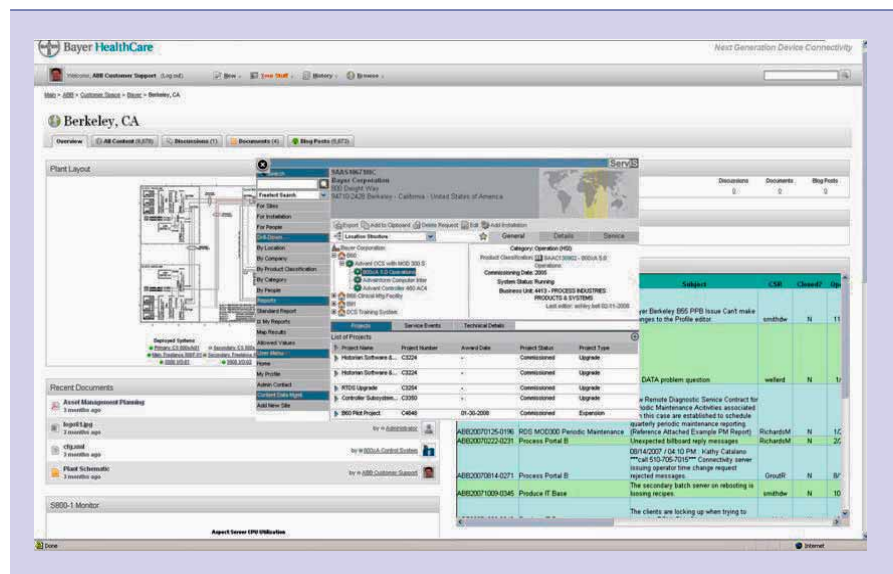
place. Or il faut bien ce type d'environnement pour inciter la génération montante d'ingénieurs à s'impliquer dans cette voie.

De son côté, ABB s'est intéressé à la possibilité de créer un espace en ligne dédié aux équipements industriels (baptisé *DeviceSpace*) s'inspirant des innovations de l'Internet et de l'intranet pour bâtir une « plate-forme communautaire d'informations » où un équipement serait perçu comme un utilisateur capable d'élaborer des contenus pertinents et utiles aux internautes. L'idée devient progressivement réalité : en utilisant la connecti-

1 Exemple de chat entre un ingénieur et un équipement ABB intelligent



2 L'espace client, communauté de partage et d'information en ligne sur l'entreprise et le site



Partenariat et productivité

tivité de sa télégestion, ABB développe une communauté d'outils collaboratifs capables de personifier un équipement ou un système pour lui permettre d'interagir avec l'utilisateur et l'expert dans le cadre de *chats*: grâce à la richesse des interfaces de messagerie instantanée, par exemple, ces équipements pourront répondre en temps réel aux questions sur leur état fonctionnel, éditer des journaux d'erreur à la demande et exécuter des programmes, le tout au cours d'une même « conversation » ³. Puis ces échanges alimenteront le blog de l'équipement,

devenu référentiel communautaire d'informations de support et de maintenance consultables et réutilisables à loisir.

Cet « intraWeb » ABB comporte deux espaces: le premier fournit à la fois des informations spécifiques au client et à son application; alimenté par des sources gérées par ABB ², il peut intégrer les vues personnalisées de l'utilisateur final. Le second fournit un environnement indépendant du client mais spécifique au site, qui fédère tous les services, fonctions et informa-

tions propres à la technologie ^{3 4}. Chaque espace ou page met en œuvre les outils du Web 2.0 qui permettent aux utilisateurs et aux équipements de nourrir un blog, de saisir les mots ou expressions clés les plus marquants du site pour améliorer la recherche sémantique, de s'abonner à des flux RSS, de consulter des contenus multisites et de créer une vue temps réel des tableaux de bord et des gadgets. Autant d'avantages sur les méthodes traditionnelles **Encadré 1**!

Nombreux sont les industriels à prendre le virage du 2.0 pour mieux communiquer avec leurs actifs et les fiabiliser.

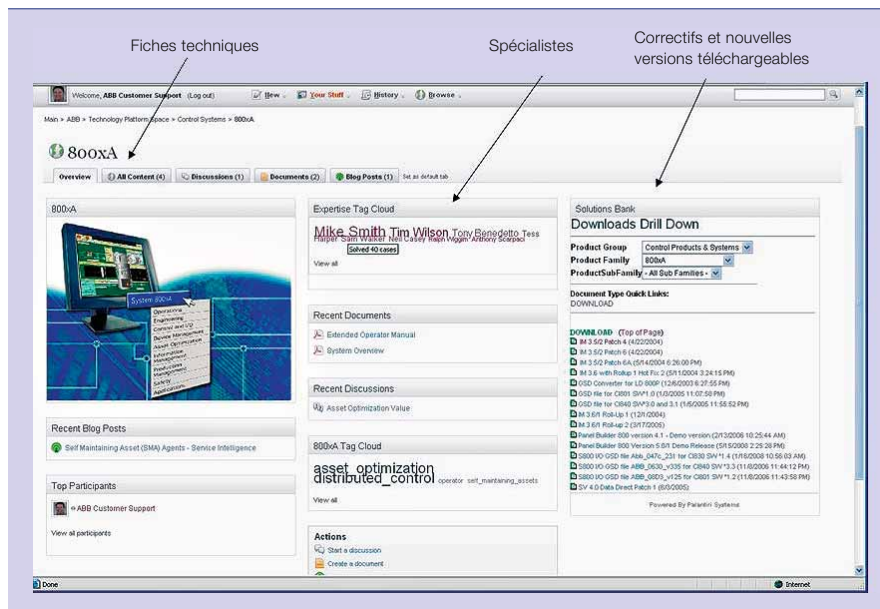
Ces solutions de services ABB assurent, entre autres, des ressources *in situ*, des bases de connaissances, des contrats de service ainsi que la maintenance du parc machines et des logiciels. Grâce à cette plate-forme communautaire centrée sur l'équipement, les utilisateurs peuvent interagir et collaborer avec ABB de façon à mesurer à tout moment la satisfaction du client, reflétant ainsi la volonté d'ABB de garantir le support de ses technologies au-delà de la mise en service.

Équipements et humains sont prêts à tisser d'excellentes relations.

Traditionnellement, la recherche de pannes dissocie l'interaction entre support technique et utilisateur final, et les diagnostics posés par l'ingénieur de maintenance. En permettant à l'équipement de « converser » avec l'interlocuteur, les problèmes sont rapidement et clairement résolus. Mieux, ces diagnostics sont récupérés pour être immédiatement réutilisables.

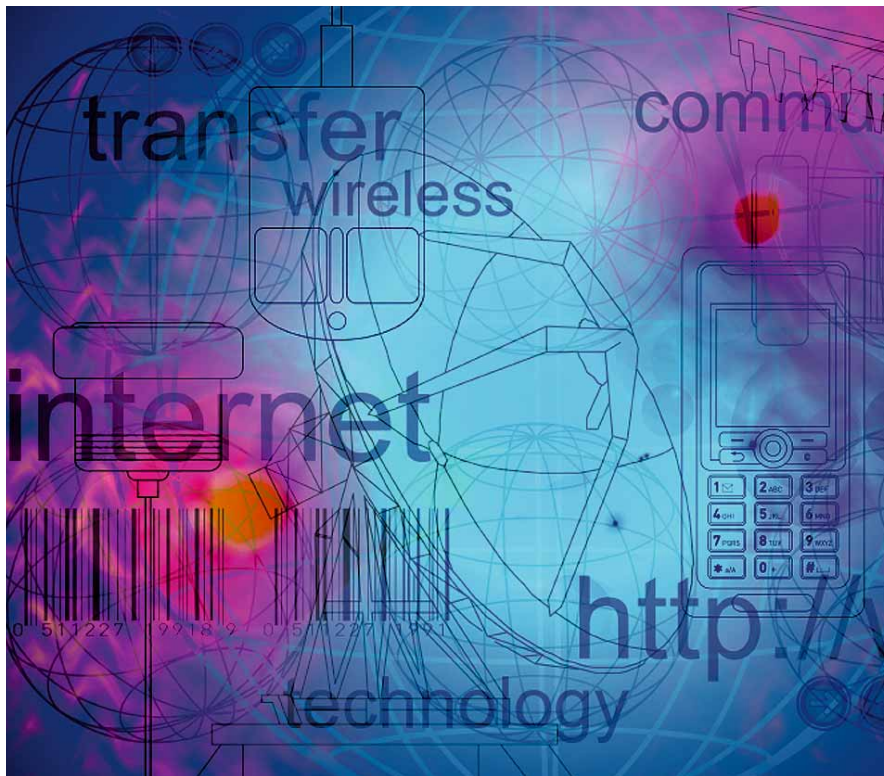
L'infrastructure Internet hébergeant ces espaces d'interactivité est réputée rapidement accessible, évolutive à l'échelle mondiale et facile d'emploi: elle s'érige même en standard de visualisation des données. Grâce aux objets mobiles de l'informatique nomade, déjà compatibles avec le Web, et à des dispositifs de plus en

³ L'espace technologique fournit un environnement spécifique au site couvrant la totalité des données, services, interlocuteurs, documents et technologies associés.



⁴ Page type de services au personnel de support et de maintenance





plus interconnectés et intelligents, équipements et humains (utilisateurs et fabricants) ont tout pour tisser d'excellentes relations.

La plate-forme collaborative d'ABB permettra à un équipement ou un système d'interagir avec l'utilisateur et l'expert dans le cadre de *chats*.

Avec sa stratégie d'intégration des services dans ses produits, ABB peut se concentrer sur la gestion des performances des actifs de production pour en optimiser la disponibilité et la qualité, et allonger le cycle de vie des produits. Les clients ABB en tirent le double bénéfice d'un coût total de possession en baisse et d'un avantage concurrentiel à la hausse.

Encadré Supériorité des plates-formes collaboratives d'équipements sur la gestion traditionnelle des services: la preuve par 10

- La priorité est donnée à la diffusion d'informations provenant de sources existantes et non au remplacement des bases de données en exploitation ou à la constitution d'un autre vivier documentaire redondant: le développement des sources de données s'en trouve accéléré et moins récurrent.
- Le capital de savoir-faire et d'expérience accumulé par les spécialistes approchant l'âge de la retraite peut être récupéré et stocké pour que ce patrimoine soit rapidement consultable et réutilisable par la nouvelle génération d'ingénieurs de maintenance.
- Le Web 2.0 offre un environnement familier aux jeunes ingénieurs du support technique qui évoluent ainsi tout à leur aise sur ce vecteur de communication avec des experts chevronnés.
- Les équipements remontent en temps réel les informations sur leur état de santé, prélude à l'autodiagnostic. Cette démarche incite le trio équipement-client-support à coopérer interactivement, chacun ayant l'occasion de tirer les leçons de l'expérience et de mieux documenter à son tour l'assistance technique.
- Le client est directement impliqué dans la démarche de résolution des problèmes.
- Cet environnement fait office de « portail » permettant aux clients d'interagir avec des bases de données de type ServIS^{*)}. Ces interfaces client contribuent grandement à la précision de l'information.
- Les membres de la communauté deviennent acteurs de l'innovation et de la collaboration en proposant de nouvelles approches et en favorisant les meilleures pratiques dans un environnement propice à la réutilisation des idées.
- Des centaines de sources de données stratégiques et pertinentes, protégées chacune par leur mot de passe, peuvent être mutualisées dans un environnement unique, accessible par un seul « méta-identifiant ». En outre, l'interface de dialogue avec cette masse d'informations est organisée en vue ou tableau de bord consolidé.
- L'utilisateur peut aisément personnaliser sa page d'accueil en synergie avec son poste et ses responsabilités.
- Le déploiement avéré des technologies du Web 2.0 sur de très gros systèmes de portée mondiale permet d'harmoniser l'interaction du client avec ses interlocuteurs et équipements.

^{*)} Gestionnaire de parcs machines faisant partie intégrante du système de traçabilité des appareillages et tableaux moyenne tension Unigear.

John DuBay

ABB Process Automation, Asset Management
Wickliffe, Ohio (Etats-Unis)
john.dubay@us.abb.com

Ascension risquée, conseils avisés

Identifier les risques et mécanismes de défaillance industriels pour réduire les coûts

Bernhard O. Herzog, Paul Jackson

A l'ère des communications haut débit et de la mondialisation, le moindre changement observé dans une région du globe se répercute à toute vitesse aux antipodes. Que ce soit en période de boom économique ou de ralentissement, l'avenir appartient aux entreprises capables de prendre rapidement des décisions éclairées pour s'adapter à un environnement en constante mutation.

Toutefois, prendre les bonnes décisions permettant de profiter de l'effervescence économique ou, à l'inverse, d'anticiper les turbulences exige une expertise qui n'est pas toujours le lot des ressources internes d'une entreprise.

Dans cette logique, ABB propose des prestations de conseil avec pour domaines d'excellence l'efficacité énergétique, la sécurité, la fiabilité et la maintenance des procédés. Ses consultants chevronnés affichent un beau palmarès de réussites dans l'assistance des secteurs industriels dont ils améliorent la rentabilité et garantissent la pérennité.



Les entreprises qui font appel à ces services sont souvent en quête de professionnels du conseil offrant des compétences, des acquis et des connaissances qui dépassent le périmètre de leur métier de base. Ces consultants ont pour mission d'identifier la stratégie optimale permettant à l'entreprise de surmonter une période de ralentissement économique ou de renouveler au mieux ses équipements en vue de maximiser la productivité. Il peut aussi s'agir d'échafauder un plan d'actions en vue d'une mise en conformité avec les nouvelles réglementations. Cela étant, rares sont les industriels à même de justifier le maintien de telles compétences spécialisées en interne, *a fortiori* quand elles sont rarement mises à contribution.

ABB propose des prestations de conseil dans les domaines phares de l'efficacité énergétique, de la sécurité, de la fiabilité et de la maintenance des procédés.

Les services de conseil d'ABB ont pour objectif d'aider les clients à lever les obstacles de la prise de décision et à accroître durablement leur productivité, leur excellence opérationnelle et la sécurité du process. ABB assure ces prestations dans les domaines phares de l'efficacité énergétique, de la sécurité des procédés, de la fiabilité et de la maintenance industrielles. Chaque client ayant ses objectifs propres, l'expertise ABB vise avant tout à maximiser, à moindres frais, la performance de l'outil de production.

Partage et transfert de connaissances sont au centre de tout projet de conseil ABB. En créant une équipe « mixte » de consultants et de ressources internes à l'entreprise cliente, ABB gagne en efficacité ; le dialogue direct avec les équipes de production qui savent parfaitement ce qu'elles attendent de la démarche lui permet d'éva-

luer à point nommé les actions à entreprendre. Les consultants peuvent ainsi mieux appréhender le métier du client et privilégier les solutions pérennes aux simples « rafistolages ». De même, lorsque les décisions sont prises et débouchent sur la mise en place de pratiques et procédés inédits, le travail en équipe mixte et le codéveloppement de solutions permettent aux ingénieurs-conseil d'ABB de transférer plus efficacement leur expertise aux forces vives du client.

Autre bonus : en dégagant lui-même une partie des ressources humaines nécessaires à la réalisation d'études et d'évaluations, le client peut réduire le coût de l'opération.

On sait d'expérience que l'installation de produits et de systèmes d'exception n'est pas toujours gage de réussite ; chaque composant, chaque procédé doit être finement réglé pour être au top de la productivité, de la fiabilité et de la rentabilité.

Pour atteindre des sommets de performances, il faut des connaissances poussées non seulement des produits et systèmes ABB mais aussi des équipements d'autres constructeurs et de l'application concernée. ABB maîtrise ces produits et systèmes, ainsi que leur application dans nombre de filières industrielles : un avantage décisif sur les petits cabinets-conseil indépendants.

ABB dispense aux équipes de production et de maintenance la formation complémentaire indispensable pour

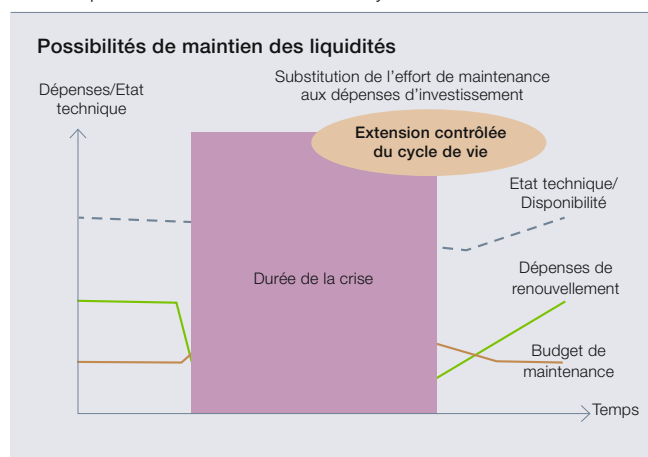
accompagner la mise en place de nouveaux équipements et procédés ou l'amélioration de la maintenance.

En temps de croissance et d'abondantes liquidités, la direction tend à se polariser sur les marchés, le chiffre d'affaires et le développement de nouveaux produits, quitte à faire souvent l'impasse sur la formation du personnel, surtout en maintenance industrielle.

Le travail en équipe mixte et le codéveloppement permettent aux ingénieurs-conseil d'ABB de transférer plus efficacement leur expertise au personnel du client.

Par contre, en période de repli économique, elle bascule rapidement vers une réduction tous azimuts des dépenses. Or les projets d'investissement en nouveaux équipements sont souvent les premières victimes de ces coupes sombres. Et pour cause : les dépenses d'investissement consenties dans un domaine risquent d'amputer encore plus le budget d'autres postes. Hélas, fermer les vannes de l'investissement n'est pas toujours la solution. Cette politique du tout-ou-rien peut être cause de dysfonctionnement des équipements critiques et, par conséquent, de pertes de productivité considérables, sauf à contrer l'usage potentiellement risqué d'un parc vieillissant par des actions de maintenance et de diagnostic ciblées et adaptées.

1 Principe de l'extension contrôlée du cycle de vie



Le moyen le plus efficace d'optimiser la productivité tout en minimisant les coûts consiste à surveiller simultanément les dépenses en nouvel équipement, le budget maintenance et la performance industrielle en termes de productivité.

Si les investissements en nouveaux équipements sont jugés inopportuns, il peut être utile de revoir les programmes de maintenance et de suivi des actifs pour éviter les pannes.

Maintenance et productivité

Cette démarche d'amélioration visant à accroître la longévité des équipements revient à une « extension contrôlée du cycle de vie » ¹.

ABB assure des services d'inspection, des études de sécurité et des prestations de gestion de la fiabilité et de l'intégrité.

Lorsque l'investissement matériel n'est plus de mise, il incombe aux responsables de maintenance de mettre en place les mesures évitant les pannes et préservant la productivité de l'outil industriel. Selon la branche d'activité, cela passe par des techniques de simulation, de diagnostic et de contrôle qui font qu'un site franchit le cap ou baisse pavillon, suivant les actions de son équipe de maintenance.

Fort de sa grande expérience en matière de maintenance optimisée et de planification stratégique, dans nombre de domaines industriels, ABB peut assurer des services d'inspection, des études de sécurité et des prestations de gestion de la fiabilité et de l'intégrité¹⁾; le tout contribue à déterminer la durée de vie résiduelle de l'équipement industriel et ses futurs besoins en maintenance, et à prédire le moment où le remplacement est impératif. Pour remplir ces missions,

ABB met non seulement ses ingénieurs à disposition du client mais l'aide aussi à formuler ses propres plans d'extension contrôlée du cycle de vie.

Actifs à risques sous contrôle

Au cours des 25 dernières années, ABB a travaillé sur une méthode d'identification et de contrôle prédictifs des équipements stratégiques de production, dénommée RBI+© (*Risk Based Inspection+©*) ². Celle-ci tient compte des risques induits par le dysfonctionnement d'équipements et les effets sanitaires et sécuritaires de ces défaillances sur le personnel, l'environnement et l'activité.

Sa méthode RBI+© suit les pratiques recommandées par l'industrie du pétrole américaine.

La démarche, qui vaut pour tous types d'équipements (appareils sous pression, enceintes, canalisations, systèmes de décompression, ouvrages de génie civil, machines tournantes...), identifie le programme de contrôle optimal en s'appuyant sur une analyse des risques.

BP Exploration and Production, fidèle client d'ABB, exploite des terminaux gaziers terrestres en Grande-Bretagne, notamment à Dimlington, au nord-est du pays.

Le terminal BP de Dimlington traite depuis 20 ans le gaz naturel venu de mer du Nord pour alimenter les gazoducs britanniques : il joue un rôle primordial dans l'approvisionnement en gaz naturel du Royaume-Uni.

Fin 2007, ABB s'est vu confier une campagne d'inspection RBI de toutes les cuves et canalisations du terminal avec, pour priorité, les équipements devant être contrôlés lors de la période d'arrêt planifiée pour l'été suivant.

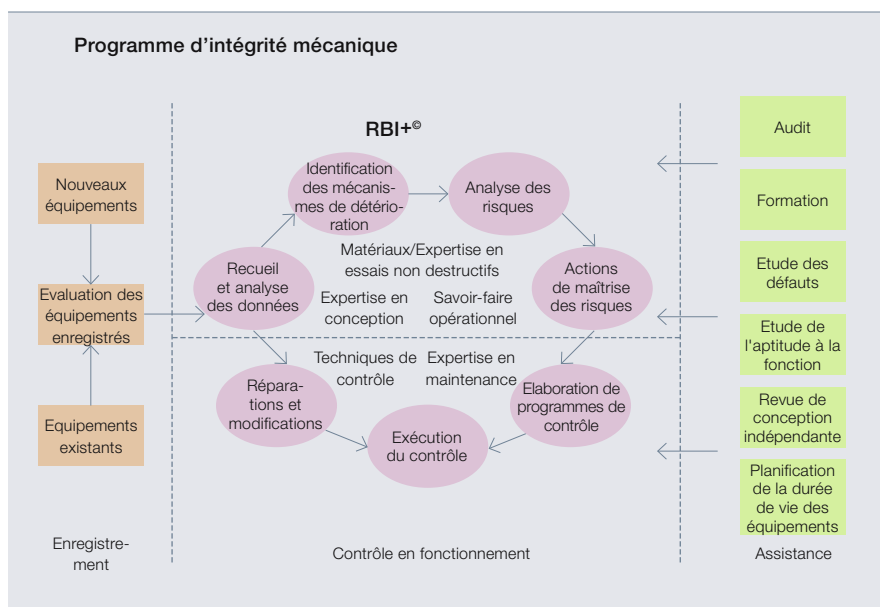
Le projet, qui mobilisa des équipes pluridisciplinaires de BP et d'ABB, mit en œuvre la méthodologie RBI+© d'ABB et sa définition des conséquences des défaillances d'équipements, ainsi que la propre procédure RBI de BP.

A ce jour, plus de 70 équipements ont été inspectés, dont de nombreux appareils à pression et plusieurs réseaux de canalisations. Conclusions : 40 appareils ne nécessitaient plus de contrôle interne et pouvaient s'accommoder de techniques non intrusives. De même, il était possible d'allonger de 7 à 10 ans l'intervalle des contrôles de cuves.

BP en déduisit une estimation prudente : une économie de 770 000 dollars (33%) sur les dépenses globales planifiées pour 2008, cette somme tenant compte des coûts de préparation des interventions (installation d'échafaudages, grutage, nettoyage, montage et personnel d'astreinte...) et du contrôle lui-même.

Le passage au contrôle non intrusif pour certains matériels est avantageux à plus d'un titre : le personnel n'a plus besoin de pénétrer dans l'espace confiné d'une cuve sous pression et les risques environnementaux liés aux effluents de nettoyage sont atténués. Autre intérêt : l'usine peut tourner plus longtemps grâce à la baisse du nombre de contrôles devant être effectués en période d'arrêt ; on peut aussi procéder à des contrôles en

2 Méthode RBI+©



Note

¹⁾ Démarche visant à garantir que l'équipement convient à l'usage qui lui est affecté ; se différencie de la « fiabilité » qui assure la disponibilité de l'équipement au moment voulu.



ligne pour programmer les réparations nécessaires lors de la prochaine période d'arrêt de l'usine, évitant ainsi les pannes imprévisibles qui coûtent cher à l'industriel.

La méthode RBI, fruit du savoir-faire et de l'expertise conjugués de spécialistes BP et ABB, fut donc bénéfique à bien des égards. En particulier, l'abaissement du coût et de la durée des périodes d'arrêt obligea à garantir l'intégrité structurelle des équipements sous pression du terminal de Dimlington.

600 collaborateurs ABB, au Royaume-Uni, aux Etats-Unis, au Canada, au Mexique et en Allemagne, mènent à bien des projets de conseil sur de nombreux marchés porteurs du Groupe.

La même méthode est actuellement à l'œuvre pour élaborer les plans de contrôle des installations des terminaux gaziers BP *onshore* du système de transport du centre des îles britanniques, à Seal Sands (nord-est du pays) ainsi que le terminal Sullom Voe,

dans l'archipel des Shetland (Ecosse). RBI+© fixera également les dates de contrôle des nouveaux équipements de Sullom Voe et de Dimlington.

Connivence

En s'engageant aux côtés de ses clients, par le biais de contrats de service et de maintenance, ABB les aide à franchir le cap d'un ralentissement économique en leur offrant une alternative de choix aux investissements dans de nouveaux équipements. Grâce à ce partenariat étroit, ABB propose la solution qui répond le mieux aux besoins de l'entreprise.

Dans certains cas, c'est toute la maintenance d'un site qui est confiée à ABB, au titre d'un contrat de services global (*Full Service*). La direction est ainsi libérée du poids de grandes responsabilités et peut se concentrer sur les fonctions stratégiques de l'activité. Ce type de contrat constitue souvent pour le client la meilleure solution, tant en termes de coût que de continuité de service. Faire appel à plusieurs sociétés pour surveiller différentes parties d'une unité de production n'est pas sans danger : certains équipements risquent d'être omis ou traités de manière isolée, sans prendre en compte l'intégralité du process.

ABB dialogue en permanence avec ses clients, quelle que soit la périodicité des contrôles. Cette proximité permet d'évaluer les besoins évolutifs de chacun et de revoir, si nécessaire, l'échéancier des interventions.

600 collaborateurs ABB, au Royaume-Uni, aux Etats-Unis, au Canada, au Mexique et en Allemagne, mènent à bien ces projets de conseil, sur de nombreux marchés porteurs d'ABB, avec pour grands domaines d'expertise, la maintenance et la fiabilité, l'efficacité énergétique et la sécurité fonctionnelle dans l'industrie. Le conseil ABB a vocation à servir toutes les industries de transformation, sans se cantonner aux systèmes et équipements d'origine ABB ; il sait aussi optimiser la conception, la configuration, l'exploitation et le maintien en état des installations techniques de tous horizons.

Bernhard O. Herzog

ABB Global Consulting
Baden (Suisse)
bernhard.herzog@ch.abb.com

Paul Jackson

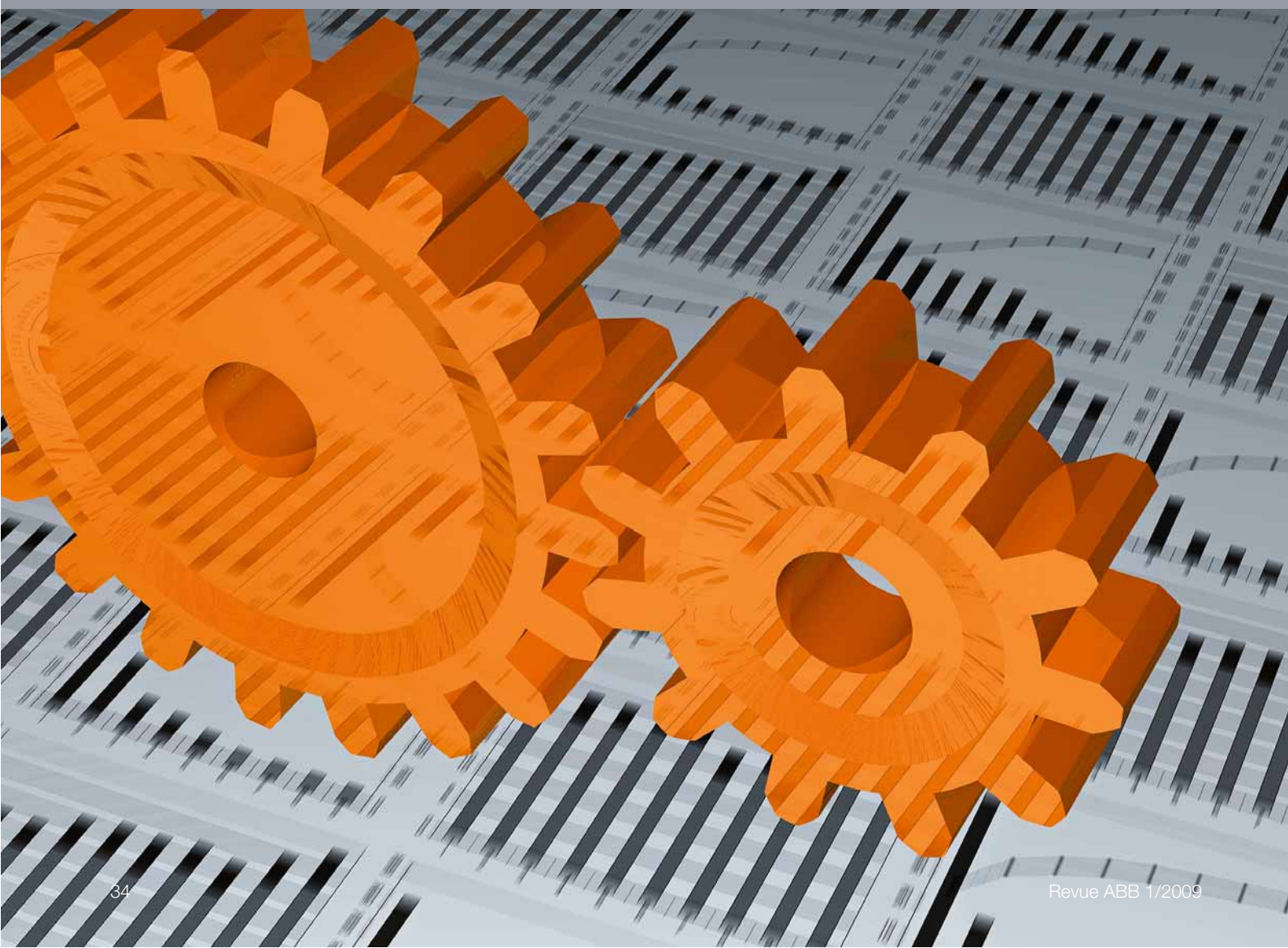
ABB Process Automation
Warrington (Royaume-Uni)
paul.jackson@gb.abb.com

Les rouages de la fiabilité

Barry Kleine

Il n'est pas de concepts décrivant les améliorations de la production qui ne se réclament de la fiabilité. Mais que recouvre au juste cette notion ? Quelles tâches accomplies par le personnel d'exploitation entrent dans le cadre de la fiabilité ? Comment améliorent-elles réellement la profitabilité de l'entreprise ? Qui doit intervenir dans un « programme de fiabilité » ?

Quand une entité s'engage dans cette voie, les étapes concrètes de la démarche sont influencées par le vocabulaire ou, a contrario, les abus de langage qui risquent d'entraîner le site dans une toute autre direction. Il est donc primordial de revoir et de s'accorder sur la terminologie fiabiliste ; il en va du potentiel d'amélioration du site.



Tel est le débat mené par les clients industriels du groupe ABB qui, constructeur lui-même, se heurte aux mêmes questions et décisions. En perfectionnant la démarche, ABB a amené ses unités à changer radicalement de cap, suivant un double objectif : redéfinir les actions prioritaires et aligner les différents sites sur des définitions communes leur permettant de s'épauler mutuellement. C'est grâce aux effets conjugués de ces deux principes qu'ABB affiche depuis cinq ans une confortable croissance à deux chiffres ! Voyons certains préceptes de la démarche.

Règle n° 1 :

Fiabilité = moins de pannes

On a coutume d'assimiler la fiabilité d'un équipement à une réduction du nombre de pannes. Améliorer cette fonction revient donc à savoir identifier les problèmes et y remédier avant même que l'atelier note une quelconque anomalie. Les services opérationnels apprécieront à coup sûr de passer d'arrêts imprévus à des arrêts programmés ; toutefois, le coût des composants et de la main-d'œuvre nécessaires à la remise en état de l'équipement continuera de peser sur la maintenance qui n'en tirera pas grand bénéfice. Si cette définition fait la part belle au suivi d'état et diminue les arrêts intempestifs, la fonction maintenance (pièces et main-d'œuvre) progresse peu, sinon pas du tout.

Développons l'argument : on constate que l'équipement a toujours besoin d'être réparé ou remplacé à la même fréquence ; par conséquent, si la production gagne en fiabilité, il n'en va pas de même de l'outil productif. Le

personnel et le matériel nécessaires aux réparations restent somme toute inchangés, et les économies apportées par la réduction des pannes sont grignotées par la multiplication des contrôles. Il faut donc affiner la définition de la fiabilité afin d'englober celle de la production entre deux arrêts mais aussi celle des équipements ; d'où l'équation « fiabilité = moins d'interventions sur l'appareil productif ». Maximiser la durée de vie des équipements se traduit par la réduction combinée des pannes, des arrêts planifiés, du budget maintenance, des besoins en main-d'œuvre et en stocks de pièces détachées.

Ainsi définie, la fiabilité doit englober les actions (lubrification, nettoyage, alignement, équilibrage...) qui allongent la durée de vie de l'équipement, augmentant ainsi le temps moyen entre défaillances (MTBF). Il en ressort que des fonctions comme le suivi d'état n'agissent pas sur la fiabilité mais minimisent la durée moyenne de réparation (MTTR).

Nouvelle définition n° 1 :

Améliorer la fiabilité = réduire le besoin d'intervention

Règle n° 2 :

Fiabilité = performance de l'équipement

Les responsables d'un site savent bien que l'outil industriel n'est pas le seul « déclencheur » de maintenance : la santé et la sécurité du personnel, les problèmes d'environnement, la gestion de l'information, ainsi que la planification et l'ordonnement des opérations sont d'autres problématiques du quotidien. Quand on tient compte de tous les autres aspects à

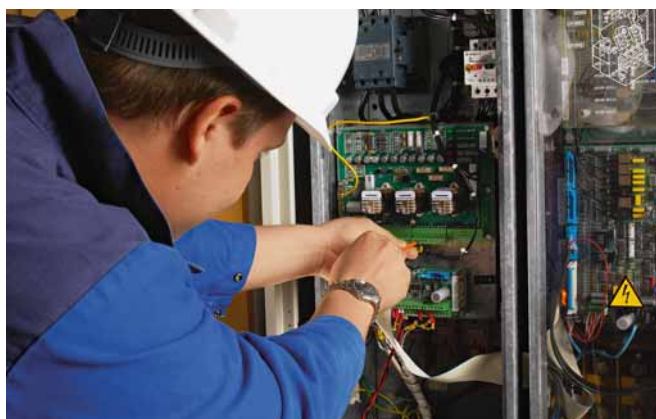
gérer dans la planification de la maintenance, il devient manifeste que la fiabilité n'est pas seulement l'aptitude à maintenir l'équipement opérationnel mais aussi l'obligation de faire fonctionner correctement toute la maintenance.

Des actions comme le suivi d'état n'agissent pas sur la fiabilité mais sur la réduction du temps moyen de réparation (MTTR).

Toute intervention sur le procédé a un coût. Or le temps du personnel est précieux ! D'où la nécessité de fiabiliser le procédé. La fiabilité ne se cantonne donc plus à l'équipement mais se rapporte à l'activité dans sa globalité.

Quand on sait qu'une tâche de 10 minutes au quotidien totalise au fil des mois 1 semaine de travail par an, il devient plus important de mesurer l'intervention plutôt que son seul impact sur la production. En évitant ce cumul de temps perdu sur un an, on libère du personnel qui peut alors se consacrer à d'autres tâches.

L'exemple de l'usine ABB de Kinleith, en Nouvelle-Zélande, va dans ce sens : constatant qu'il était inutile que deux ingénieurs d'un même service assistent à la réunion de production qui les mobilisait chaque matin une demi-heure, il fut décidé d'alterner leur présence quotidienne : de quoi récupérer une demi-heure de travail par jour, soit trois semaines à l'année. Conclusion : il n'a fallu que 5 minutes



Maintenance et productivité

pour régler un problème externe à l'équipement de production et libérer ainsi énormément de temps pour que nos ingénieurs puissent avancer sur d'autres tâches.

Nouvelle définition n° 2:

Fiabilité = performance de l'intégralité de l'activité

Règle n° 3:

Fiabilité = une démarche d'atelier

La tradition veut que la fiabilisation d'un site incombe aux ingénieurs, techniciens et hommes de métier. Ce peut être le cas lorsque la fiabilité se rapporte uniquement à l'équipement et aux tâches correspondantes (alignement, graissage, réglage fin...), les responsables de la production ne se sentant pas concernés.

Pourtant, il suffit de se pencher sur les causes de non-mise en œuvre des initiatives de fiabilisation pour constater que la plupart des problèmes rencontrés a pour origine la conduite de la démarche. Les déficits de communication (que font les ingénieurs et pourquoi?) amputent l'adhésion des autres employés. Le manque de temps ou l'absence de contrôle qualité influe sur la rapidité d'exécution d'une tâche. Ces actions doivent être menées par les responsables de pro-

duction pour garantir aux membres de l'équipe l'appui indispensable à l'accomplissement de leurs tâches. Inversement, l'absence d'accompagnement et d'implication des dirigeants dessert la démarche.

Nouvelle définition n° 3:

La fiabilité vient aussi d'en haut!

La mise en œuvre d'un programme fiabilité concerne tous les acteurs de l'entreprise; elle commence par cerner les besoins précis de l'activité: volume de production, coûts, satisfaction des employés... Il faut assimiler et hiérarchiser les problématiques liées à ces objectifs.

Les méthodes d'analyse des catégories de pertes d'ABB recensent plus de 1500 problèmes pouvant engendrer des pertes de profit sur un site type. Reste à savoir quelles variables, parmi toutes ces pertes, dégageront le plus fort gain de rentabilité.

Supposons qu'un réducteur ait cassé la nuit dernière, provoquant 10 heures d'indisponibilité: le premier réflexe est d'étudier le cas. Or que vaut cet incident, qui se produit tous les 6 ans, au regard du type d'équipements le plus fréquent dans l'usine (les moteurs, par exemple)? Sachant que les organes les plus souvent incrimi-

nés dans la défaillance des machines tournantes sont les roulements, de combien de pertes sont-ils responsables, comparés à un type d'équipement spécifique? Un écart dans la planification du site peut allonger de 10 minutes la durée de chaque tâche; comment mettre en concurrence cette perte, et le moindre travail qui en résulte, avec les pertes de production et le manque à gagner dus aux roulements? Comment comparer perte de communication et perte de planification et, en l'occurrence, quelles actions sont actuellement engagées pour y remédier?

Autant d'exemples de pertes pour lesquelles le manque de moyens de comparaison (ou même de tentative de comparaison tout court) sème la confusion et la discorde. Chacun s'emballant pour sa solution, on assiste à une profusion d'initiatives qui se disputent toutefois la même portion congrue de ressources humaines, techniques et financières. Et c'est toute la démarche de progrès qui s'en trouve freinée!

Les organes les plus souvent incriminés dans la défaillance des machines tournantes étant les roulements, combien de pertes engendrent-ils par rapport à un type d'équipement spécifique?

Lorsque la fiabilité permet de chiffrer la totalité des pertes de l'activité, il est nettement plus facile d'obtenir le soutien de la direction pour l'améliorer. Cet appui conditionne la réussite du projet. En affinant la définition de la fiabilité, on voit aisément combien la non-fiabilité de l'équipement ou du procédé participe aux indicateurs clés de performance que sont, par exemple, le taux de rendement synthétique (TRS) et le coût.

Reste la difficulté de définir un «problème de fiabilité». Une question vient à l'esprit: d'où viennent les écarts de TRS ou de coût? Pour expliquer un faible TRS, on peut d'emblée incriminer la disponibilité. Or, plus on vou-



dra détailler la réponse, plus celle-ci se compliquera, en raison du manque de données. Vous serez assurément capable de décrire les indisponibilités les plus flagrantes de votre site, mais saurez-vous pointer la défaillance la plus fréquente d'un type d'équipement? Nous focalisons d'ordinaire sur ce que nous connaissons (les défaillances matérielles courantes) sans prêter garde aux causes de pertes majeures, comme les failles notoires de la communication : dix minutes quotidiennes de conversation inutile ou stérile se soldent par la perte d'une semaine de travail à l'année. Quel potentiel d'amélioration recèle ce manque à gagner sur un site ?

Premier constat avant d'envisager une quelconque solution : la non-fiabilité manifeste de la documentation sur les pertes. Mieux référencer les défaillances et comprendre ce qui ralentit le travail permettront de braquer les projecteurs sur tel ou tel aspect du problème.

Les clés de la réussite

Les sites ayant le mieux réussi l'implantation de la démarche fiabiliste suivent une méthode rigoureuse en six temps :

Améliorer la fiabilité, c'est réduire à la fois les délais et les coûts de réparation.

1) Analyser les besoins

Il convient d'identifier les variables économiques clés du site qui pèseront le plus sur la marge bénéficiaire. Il importe de savoir clairement, par exemple, s'il faut rogner sur le budget maintenance dans sa globalité ou sur le coût de maintenance par unité produite. Nombreux sont les exemples illustrant une réduction des dépenses qui s'est soldée par des pertes de production de plusieurs fois ce montant, du fait d'une baisse de fiabilité. La stratégie du site doit mettre l'accent sur les quelques variables à garder en ligne de mire.

2) Renforcer le soutien préalable de la direction

Combien de procédures sont appelées à être mises en œuvre pour la simple raison que d'autres sites les appli-

quent ou que quelqu'un les juge créatrices de valeur? A moins que la direction s'entête dans l'idée qu'elles sont indispensables à l'atteinte des objectifs, elles n'ont guère d'intérêt et sont trop longues à déployer.

Une telle démarche engendre une perte puisque le personnel ne sera pas disponible pour accomplir d'autres missions. Il faut donc diminuer le nombre d'initiatives menées en parallèle et ne retenir que celles pilotées par un encadrement engagé.

3) Déterminer le poids de la fiabilité dans la satisfaction des besoins de l'activité

Il y a une nette différence, rappelons-le, entre fiabiliser (réduire le besoin d'intervention) et « limiter les dégâts » (réparer plus vite). Beaucoup d'entre nous foncent tête baissée dans la réparation, négligeant par là même les questions de fiabilité. Il est fondamental de comprendre que l'amélioration de la fiabilité réduit à la fois les délais et les coûts de réparation tandis que les autres initiatives ne remplissent pour la plupart qu'un critère.

L'intérêt porté à une initiative diminue de moitié si aucune amélioration n'est constatée au bout de trois mois.

4) Choisir des améliorations de la fiabilité en fonction de leur aptitude à dégager des profits quantifiables

Bon nombre de questions de fiabilité sont choisies à bon escient ; toutefois, quand on s'arrête sur une tâche précise, rares sont les données disponibles sur le cas en présence ou le retour sur investissement escompté. Un programme de fiabilité gagne à se concentrer sur les problèmes récurrents qui, justement, offriront les pistes de progrès les plus rapides. Résoudre un problème ne survenant que tous les cinq ans... nécessitera cinq ans de plus pour en tirer un quelconque bénéfice tangible.

5) Garder le rythme en communiquant

Chacun sait que l'intérêt porté à une initiative diminue de moitié si aucune amélioration n'est constatée au bout de trois mois. Quand des résultats

sont observables, il importe de les diffuser sur tout le site pour maintenir l'implication à la fois des acteurs concernés et de la direction. A l'inverse, le manque de « preuves » poussera à rechercher d'autres solutions avant même de tirer profit des initiatives en cours.

6) Maintenir le cap

Si une procédure emporte l'adhésion, il faut la pérenniser ! Quand le temps presse, grande est la tentation d'écourter la démarche, ce qui se traduit par moins de résultats, moins de communication sur les améliorations et un désintérêt pour le sujet. En l'espèce, il est fondamental que la direction valorise la qualité des acquis pour maintenir le tempo et obtenir les résultats escomptés.

La fiabilité est une démarche qui, par manque de temps, accuse une mise en œuvre hésitante. Il est possible d'y remédier en retenant deux leçons : beaucoup de tâches n'obtiennent pas des résultats à la hauteur des objectifs de la démarche fiabiliste ; certaines des initiatives engagées se polarisent sur des problèmes qui mettent trop de temps à payer de retour. Force est donc de libérer du temps en dégageant des priorités, à l'aune des impératifs de l'activité.

Barry Kleine

ABB Process Automation, South Asia Service
Tokoroa (Nouvelle-Zélande)
barry.kleine@nz.abb.com

Lecture complémentaire :

Cinder A. (2008). *Making reliability sustainable*.
ABB Review Special Report Process Automation
Services & Capabilities, p. 54-57

Excellence industrielle : ABB avance ses pions

ABB Full Service® réduit les coûts et améliore la satisfaction client du site pétrogazier Solvay

Richard M. Rockwood

Vouloir faire plus avec moins est un souhait universel qui n'est souvent qu'un vœu pieux. Mais c'est aussi ce qui distingue l'échec du succès ! Qui n'a pas rêvé d'une démarche de rationalisation dont les avantages compenseraient amplement les coûts engagés ? Dans les faits, les initiatives permettant d'atteindre cet objectif sont de plus en plus difficiles à identifier et les entreprises se contentent de menus réglages dont les bienfaits ont souvent du mal à perdurer.

Dans le domaine des procédés continus, les industriels subissent de plein fouet les pressions, tant directes qu'indirectes, de la mondialisation et optent massivement pour la compression des coûts. La démarche n'a rien de répréhensible en soi si ce n'est qu'elle ne peut se justifier, sur le long terme, qu'en se conjuguant à d'autres stratégies et actions durables visant l'« excellence industrielle ». Il suffit pour s'en convaincre d'égrener la longue liste d'initiatives vouées à l'échec car focalisées sur la diminution des coûts : ce choix n'améliore guère le capital de connaissances de l'entreprise ni renforce ses processus. Améliorer la production et la fiabilité des équipements et du procédé, tremplin vers l'excellence opérationnelle, ne fait qu'esquiver la question sans apporter de solution réelle.

Briser ce cercle réclame beaucoup d'implication : ABB s'en fait ici le témoin avec un exemple d'améliorations durables sur un site client.

Partout dans le monde, les industriels sont tiraillés entre la contrainte de maîtriser leurs coûts et l'obligation d'améliorer leurs performances : l'étau du rendement et de l'efficacité, de la sécurité et de la conformité environnementale se resserre et leur impose des défis sans précédent.

A cela se greffe l'exigence de toujours mieux servir et satisfaire la clientèle. Nombre d'entreprises se heurtent ainsi au dilemme de produire plus avec moins : un challenge relevé par l'équipe *Full Service*¹⁾ d'ABB sur le site pétrolier, gazier et pétrochimique de Solvay Indupa à Bahía Blanca, en Argentine.

Depuis novembre 2006, ABB y est responsable de la gestion de l'équipement électrique, de l'instrumentation et du parc de moteurs.

La satisfaction client, indicateur de performance

Par son offre *Full Service*®, ABB peut capitaliser sur un riche palmarès de solutions de « services de partenariat » avec le client, dont la réussite ne s'est jamais démentie. ABB a relevé le défi de Solvay Indupa pour hisser la satisfaction client à des niveaux toujours plus hauts tout en cherchant à maintenir ou à réduire le personnel, les budgets et les activités annexes. Une importante composante de cette stra-

tégie consistait à démontrer que la satisfaction client ne s'obtient pas au prix d'un budget de maintenance en baisse.

ABB *Full Service*® s'appuie sur un référentiel ABB proposant des méthodes usuelles et reproductibles pour améliorer le fonctionnement des sites clients. La démarche, générique, est bâtie sur des processus communs, des audits de site et un partage des connaissances, la gestion de la satisfaction du client et de toutes les parties prenantes étant des facteurs clés de réussite **1**.

Combien d'entreprises se heurtent au dilemme de produire plus avec moins !

Cette procédure d'évaluation n'est pas seulement efficace pour dresser le bilan des performances actuelles ; elle excelle également dans la mise au point de stratégies tournées vers le futur.

Des paroles aux actes

La satisfaction client fut suivie et gérée par un « partenariat ABB-Solvay », sur le site du groupe pétrochimique. Solvay participa à son évaluation **Encadré 1** et les résultats furent analysés par l'équipe de mission d'ABB sur le

site pour permettre l'établissement d'une feuille de route des améliorations futures.

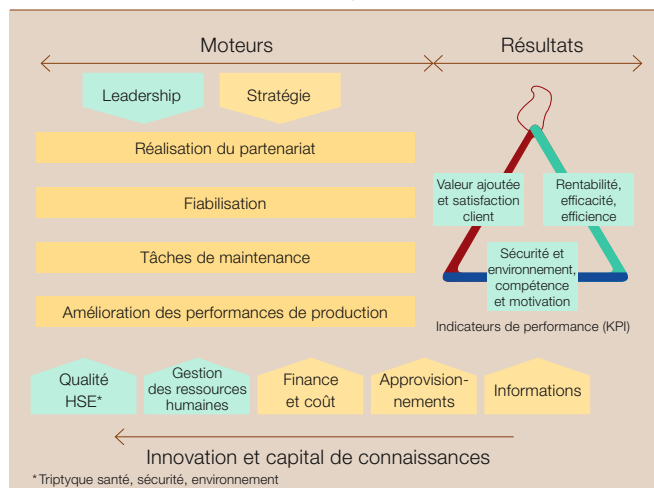
Tout en donnant des résultats globalement très satisfaisants, l'étude permit à Solvay de dégager trois grands objectifs soumis à ABB :

- 1) Elaborer des pratiques de partenariat entre les différentes unités de production **2** ;
- 2) Abaisser les coûts de maintenance ;
- 3) Pérenniser la fourniture de services équivalents, voire meilleurs.

Encadré 1 Satisfaction client

La mesure la plus probante de la satisfaction du client à l'égard des services rendus sur son site consiste à évaluer la façon dont il perçoit la valeur des prestations assurées par l'équipe de mission d'ABB. Pour la mesurer en toute objectivité, ABB a mis au point une analyse globale des études de satisfaction client, qui fournit au site comme aux responsables ABB de précieuses informations recueillies sur le terrain. Cet outil est indispensable à l'identification, à la mesure et à l'exécution des programmes d'actions sous-jacents à l'amélioration ; il cerne les tendances, compare les niveaux de performance aux attentes du client et suit de près sa fidélité. Les résultats de l'analyse aident l'équipe ABB à fixer des objectifs, à gérer les actions pour combler les lacunes et à informer le client des progrès accomplis.

- 1** L'audit de site, puissant outil d'évaluation des performances actuelles et d'élaboration de stratégies tournées vers le futur.



- 2** Les différentes unités de production du site de Solvay Indupa à Bahía Blanca (Argentine)



Note

¹⁾ Pour en savoir plus sur ABB *Full Service*®, lire *Outsourced maintenance*, ABB Review Special Report Process Automation Services & Capabilities, p. 79-83, 2008.

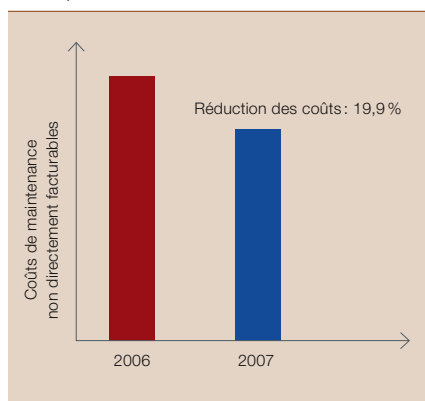
Maintenance et productivité

De quoi déstabiliser et rebuter plus d'une entreprise! Or l'équipe ABB-Solvay fut à la hauteur du défi. ABB étudia avec soin les besoins exprimés par Solvay et les moyens de remplir la totalité de son cahier des charges, puis développa un plan d'action visant à atteindre et, mieux encore, dépasser les objectifs de sa mission.

Partenariat, mode d'emploi

ABB a tiré parti de sa longue expérience de la gestion des ressources humaines pour remplir la première exigence du client: créer une dynamique de partenariat avec la production.

3 Le budget de maintenance du site a baissé de près de 20 %.



Encadré 2 La démarche d'amélioration

- 1) Examiner le budget et comparer les performances avec celles des meilleures entreprises du secteur.
- 2) Classer les pièces selon la loi ABC :
 - « A » : pièces les plus chères ;
 - « B » : pièces à un coût intermédiaire ;
 - « C » : pièces les plus courantes et les moins chères.
- 3) Créer des objectifs à court et long terme.
- 4) Sur le court terme :
 - Ranger, nettoyer... selon la méthode des 5S*);
 - Compter les pièces et étudier précisément leur emplacement ;
 - Simplifier la description des pièces dans SAP.
- 5) Sur le long terme :
 - Sélectionner les pièces en arbitrant entre coûts et contraintes du procédé, de la sécurité et de l'environnement ;
 - Poursuivre la standardisation de l'équipement.

* Cf. Encadré 3

Même si, a priori, la démarche n'a rien de très novatrice, passer de l'idée à la pratique est bien moins facile qu'il n'y paraît. Pour se rapprocher des ateliers de production, y tisser et renforcer des liens de partenariat, ABB a réorganisé sa présence sur le site en allouant un chef d'équipe à chaque unité de Solvay (chlore, chlorure de polyvinyle et chlorure de vinyle monomère 2).

Le budget de maintenance baissa de 19,9 %, sans altérer ni dégrader la qualité du service au client.

Redéfinir l'organigramme

La tactique de la réorganisation n'est pas nouvelle. ABB a pourtant « revisité » la méthode pour que ses intervenants assistent aux réunions de début et de fin d'équipe, sur le site client. Devenu l'une des missions à part entière du responsable ABB (photo p. 42), ce partenariat donna lieu à l'élaboration de pratiques hebdomadaires d'identification des tâches et d'accord sur la priorité des interventions de maintenance à venir, renforcés par l'emploi de programmes de travail hebdomadaires.

La proactivité d'ABB dans l'élaboration de ces pratiques de partenariat eut sur l'instant un effet inédit mais aussi un impact tout à fait positif sur le resserrement des liens avec Solvay.

Améliorations opérationnelles

Suite à cette collaboration, les chefs d'équipe ABB prirent conscience des défis posés à leurs homologues de Solvay. Lors de réunions d'information, ils apprirent que Solvay comptait sur ABB pour l'aider à réduire ses coûts.

Entrée en matière

Il n'est pas rare qu'une entreprise, confrontée à un défi, ne dépasse jamais le stade de l'étude et tombe dans l'éternel piège de la « sur-analyse » menant à l'asphyxie. Pour autant, ABB examina le budget de maintenance et en déduisit rapidement que les dépenses en pièces de rechange l'amputaient de 35 à 40 %. S'appuyant sur son vaste réseau mondial d'expertise en gestion industrielle, ABB compara les performances du site à celles des meilleures entreprises dans lesquelles ABB était intervenu. Verdict : Solvay avait encore de la marge de progrès.

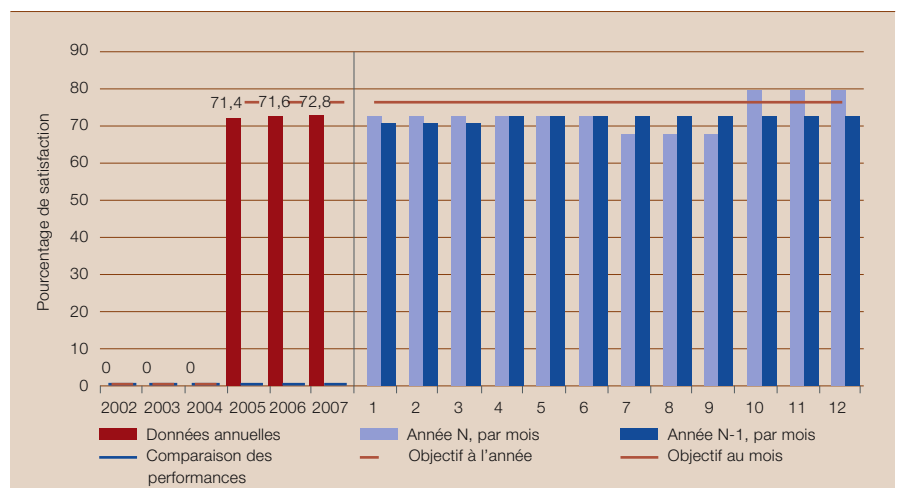
Classique mais rapide

Partant d'une méthodologie modélisée Encadré 2 qu'elle suivit pas à pas, l'équipe ABB s'engagea dans l'action.

Les outils du progrès

Pour améliorer ses résultats, ABB bénéficia du système de gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO) de SAP et de son module de gestion industrielle PM (*Plant Management*). SAP permit de jouer sur deux leviers : cerner le détail des problèmes liés aux pièces de rechange (rotation des stocks, ruptures de stock

4 Suivi mensuel de la satisfaction client : des résultats au-delà des attentes



et fréquence d'emploi) et produire les rapports chiffrés correspondants. ABB tira également grand profit d'un relevé de stocks à références croisées recensant les pièces utilisées sur les équipements courants et celles qui, d'origine, n'étaient pas bien configurées dans SAP PM.

Certaines entreprises ne dépassent jamais le stade de l'étude, tombant dans l'éternel piège de la « sur-analyse » qui mène à l'asphyxie.

ABB utilisa aussi une cartographie des processus pour étudier les réparations externes, redéfinir les temps de cycle et identifier les goulets d'étranglement. Ainsi, par la mise en place de techniques de maintenance « au plus juste », le site ABB fut capable de quantifier les durées d'intervention et les temps de cycle de réparation. La démarche permit de mieux renseigner les réparations externes, de déterminer les processus qui fonctionnaient correctement et, à l'inverse, de mettre au jour ceux qui dysfonctionnaient ou étaient déconnectés.

En reprenant les solides fondations posées par les pratiques de partenariat avec la supervision de la production de Solvay, l'équipe ABB organisa des réunions d'avancement et des revues de dossier mensuelles visant à clarifier, étayer et expliquer ses choix

concernant les pièces à conserver et celles nécessitant un examen plus poussé. Cette étape fondamentale lui garantit le soutien des responsables de production de Solvay dans ses conclusions et résultats, ces derniers étant activement impliqués, en amont, dans cette démarche d'inventaire et de classement des stocks.

L'équipe ABB divisa ensuite la procédure en plusieurs « sous-tâches », plus faciles à mener à bien, pour améliorer le suivi du projet et des progrès accomplis, ce découpage permettant de mieux cibler les pièces dignes d'intérêt. En particulier, elle utilisa de simples diagrammes de Pareto²⁾ pour identifier les pièces tombant sous la fameuse règle des 80/20³⁾ et mettre en évidence la contribution relative de chaque composant au problème global. Grâce à ce précieux outil méthodologique, l'équipe put se concentrer en priorité sur le petit nombre de pièces problématiques et canaliser les énergies sur les points d'amélioration les plus décisifs, qui furent d'ailleurs suivis à la trace par les indicateurs clés de performance pour chaque pièce.

Que du positif

Ce projet d'amélioration des stocks permit d'alléger le budget de maintenance de 19,9% **3**, sans altérer ni dégrader la qualité du service au client.

Des clients comblés

Outre ces économies, la satisfaction client, suivie mois après mois, dépassa toutes les attentes **4**!

L'analyse de tendance **5** des coûts de maintenance mensuels confirme la maîtrise régulière des dépenses et les faibles variations autour de l'objectif fixé.

L'amélioration continue est une course de longue haleine, non un sprint.

Prochaine étape

Le site de Solvay ne compte pas en rester là ; il doit encore marquer des points sur l'échiquier de la performance tout en visant la fiabilité de l'outil de production. Partant du constat que, dans une défaillance, ce n'est pas l'équipement qui est en cause mais ses composants, ABB configura SAP pour produire des bilans spécifiques capables de débusquer les données offrant de nouvelles pistes d'amélioration continue. Là encore, ce fut l'enquête de satisfaction client qui pointa du doigt les autres domaines dans lesquels ABB pouvaient mener des actions de progrès.

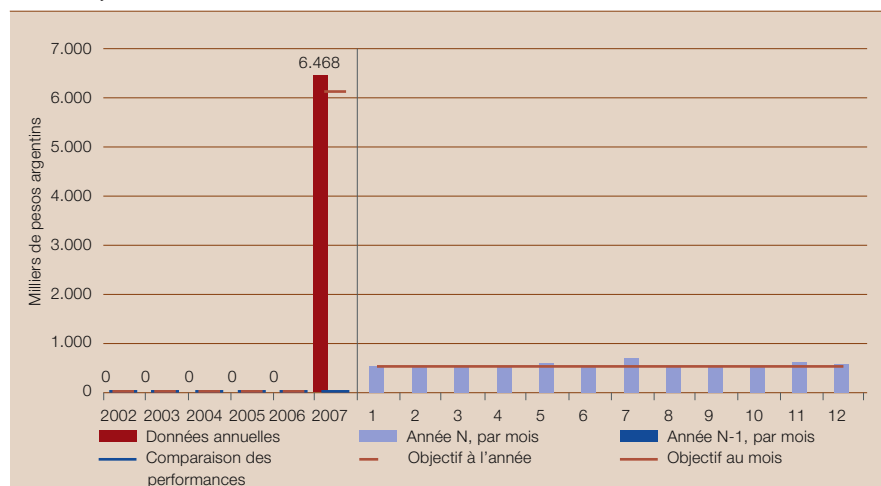
On commença par épinglez les « mauvais élèves » parmi les équipements de l'usine **6**, trop voraces en temps d'in-

Notes

²⁾ Histogramme dont les plus grandes colonnes sont rangées conventionnellement par ordre décroissant, une ligne de cumul indiquant leur importance relative. Cet outil d'assurance de la qualité sert souvent à illustrer la loi des 80/20.

³⁾ Loi empirique stipulant que, dans bien des situations, 20 % des causes produisent environ 80 % des effets.

5 Réduction durable des coûts de maintenance mensuels et faible variation autour de l'objectif fixé



Encadré 3 La méthode des 5S

Cet outil, tiré de la philosophie *Kaizen* (amélioration), a pour but d'organiser l'environnement de production pour éviter de perdre du temps. Il évoque 5 termes japonais* instaurant des règles de propreté, d'ordre et de discipline :

- O : ôter tout ce qui est inutile et n'apporte aucune valeur ajoutée.
- R : ranger.
- D : décroasser, nettoyer et découvrir les anomalies.
- R : rationaliser, ordonner et standardiser l'exécution des tâches.
- E : étendre la méthode à d'autres domaines, poursuivre et améliorer les 4 règles précédentes.

* *Seiketsu, seiri, seiso, seiton et shitsuke*

Maintenance et productivité

Duilio Magi, responsable de l'équipe de mission ABB



Duilio Magi, responsable de l'équipe de mission ABB: «Obtenir des résultats et les consolider d'année en année exigent de l'excellence dans la communication, la coopération, le talent et le professionnalisme des équipes; tout ce qu'ABB possède sur le site de Solvay.»



intervention et en pièces de rechange. L'hypothèse était que les équipements consommant un nombre d'heures de travail et de pièces supérieur à ce qui était prévu ou budgété étaient aussi probablement les moins fiables ou le plus souvent défaillants. Ce processus fournit un excellent point de départ aux pratiques de gestion du coût global de l'équipement et un tremplin vers la prestation d'autres services à valeur ajoutée pour Solvay.

Dans la cour des grands

L'audit du site de Solvay vient de s'achever avec, à son actif, de nombreux acquis notables: Solvay s'est en effet distingué par la façon dont il a amélioré son site et recensé ces avancées dans une «bibliothèque de pro-

grès»: de quoi fournir des exemples objectifs de la valeur ajoutée apportée par la gestion ABB.

La mission ABB-Solvay documente et conserve chaque initiative d'amélioration dans une bibliothèque servant non seulement de référentiel pour des actions de progrès futures mais aussi d'aide-mémoire des nombreux avantages tirés de ce partenariat de services.

Le site de Solvay ne s'endort pas sur ses lauriers: il doit à présent se hisser à des niveaux toujours plus élevés tout en fiabilisant l'équipement.

performance. L'étude a également révélé combien la passion du service à la clientèle avive le potentiel d'amélioration continue, tremplin vers l'excellence opérationnelle, et multiplie les occasions de pérenniser la valeur ajoutée du client, tout en soulignant l'importance de nouer des liens de partenariat durables entre l'industriel et ABB.

6 Les ingénieurs d'ABB appliquent les leçons tirées de la démarche d'amélioration des stocks pour débusquer les équipements à l'origine de surcoûts.



Mention spéciale

L'amélioration permanente tient davantage de la course de fond que du sprint. Le partenariat ABB-Solvay illustre les bénéfices tirés de l'analyse de l'étude de satisfaction et du resserrement des liens avec le client et l'assimilation de ses pratiques, puis de la création d'un programme d'action au vu des points d'amélioration identifiés.

Pour s'inscrire dans la durée, ces initiatives sont ensuite consolidées par l'usage efficace d'indicateurs clés garantissant le suivi des gains de

Richard M. Rockwood
ABB Process Automation,
Oil, Gas and Petrochemical
Houston, TX (Etats-Unis)
richard.m.rockwood@us.abb.com

Modèles de laminage

Des modèles adaptatifs pour les laminoirs à froid

Frank Feldmann, Mark Gerda, Andreas Vollmer

Le laminage à froid est une étape importante de la fabrication des tôles métalliques. Au cours du procédé, le métal est écrasé par passages successifs entre des cylindres jusqu'à obtenir l'épaisseur et les propriétés désirées.

Pour rester compétitifs, les lamineurs cherchent en permanence à maintenir et à accroître la qualité de leurs produits, la productivité et la flexibilité de l'outil industriel. Pour ce faire, il leur faut parfaitement comprendre et maîtriser toutes les étapes du procédé.

ABB a développé plusieurs modèles d'optimisation des laminoirs à froid. Dans cet article, nous nous intéressons aux modèles adaptatifs des réglages.



Maintenance et productivité

Pour améliorer la qualité des produits laminés, les efforts portent sur la réduction des tolérances d'épaisseur et de planéité, de même que sur l'amélioration de l'état de surface. En même temps, la flexibilité du laminoir doit être renforcée pour satisfaire une demande accrue de produits diversifiés, alors qu'une productivité élevée (production et rendement) est impérative pour rester compétitif dans une économie mondialisée.

L'automatisation des laminoirs permet de répondre à ces besoins. Elle s'appuie sur les éléments suivants :

- Un système fiable et moderne de conduite automatisée de la production ;
- Des capteurs et actionneurs également fiables ;

Encadré 1 Solution ABB pour les laminoirs

ABB propose des solutions pour les applications suivantes :

- Laminoirs monocage et multicages,
- Laminoirs à cylindres multiples et Sendzimir^{*)}
- Trains en ligne et continus
- Laminoirs réversibles et non réversibles
- Laminoirs réducteurs, d'écrouissage, double réduction et à tôles minces
- Laminoirs pour produits en acier, inox, aluminium, cuivre et laiton

Le modèle de laminage fournit les valeurs de réglage appropriées à l'automatisme du niveau 1 de l'architecture d'automatisation. Principaux objectifs du modèle de pré-positionnements :

- Optimiser la qualité de la tôle laminée en termes de longueur hors-jauge, de surface et de planéité ;
- Optimiser la production en augmentant les vitesses d'engagement, d'accélération et maximale ;
- Maintenir les valeurs de pré-positionnement dans les limites des matériaux et du laminoir ;
- Éviter les ruptures de bande, la dégradation des cylindres et les arrêts pour engagement de la tôle ;
- Stabiliser les conditions de laminage ;
- Minimiser les interventions de l'opérateur.

Note

^{*)} Laminoir équipé de cylindres de travail de faible diamètre qui s'appuient chacun sur 2 gros cylindres qui, à leur tour, prennent appui sur 3 cylindres. Ce type de laminoir est souvent utilisé pour l'acier à haute résistance et l'acier inox.

- Un modèle adaptatif de réglage avec calcul des plans de passes¹⁾ et des pré-positionnements ;
- Des automatismes avancés ;
- Un système et une interface conviviale de visualisation, d'exploitation et de diagnostic.

L'encadré 1 récapitule certaines applications pour lesquelles ABB a développé des modèles.

Pour aider l'industriel à atteindre ses objectifs, un modèle mathématique calcule les plans de passes et les pré-positionnements du laminoir **1**. A partir des données des bobines et des cylindres, le programme de production utilise des tables de valeurs de réduction et de traction élaborées à la fois à partir de l'expérience pratique du lamineur et de sous-modèles mathématiques pour prédire le comportement du procédé. Le modèle se compose essentiellement de 4 parties : la courbe d'écrouissage du matériau (modèle de fluage), le modèle de frottement des cylindres, le modèle d'écartement des cylindres (qui fournit la force de laminage, le couple d'entraînement, le glissement en avant et la température de la tôle laminée) et, enfin, le modèle du laminoir (qui donne les valeurs de consigne pour les actionneurs de planéité et les positions d'écartement des cylindres).

Les valeurs de mesure sont collectées et filtrées au cours de chaque passe et ensuite comparées aux valeurs de prédiction correspondantes. Des paramè-

tres adaptatifs sont calculés pour que les prédictions soient en accord avec les valeurs mesurées.

Le modèle de laminage regroupe plusieurs sous-modèles étroitement liés et basés essentiellement sur les lois de la physique :

- Plans de passes (calcul du nombre de passes et de la répartition de l'épaisseur de la tôle pour chacune) ;
- Pré-positionnements (calcul de toutes les valeurs de pré-positionnement requises) ;
- Adaptation (adaptation du modèle au vu des mesures).

Des rapports de réglages et d'adaptation sont élaborés pour chaque bobine et stockés dans la base de données pour analyse complémentaire et mise au point hors ligne du modèle.

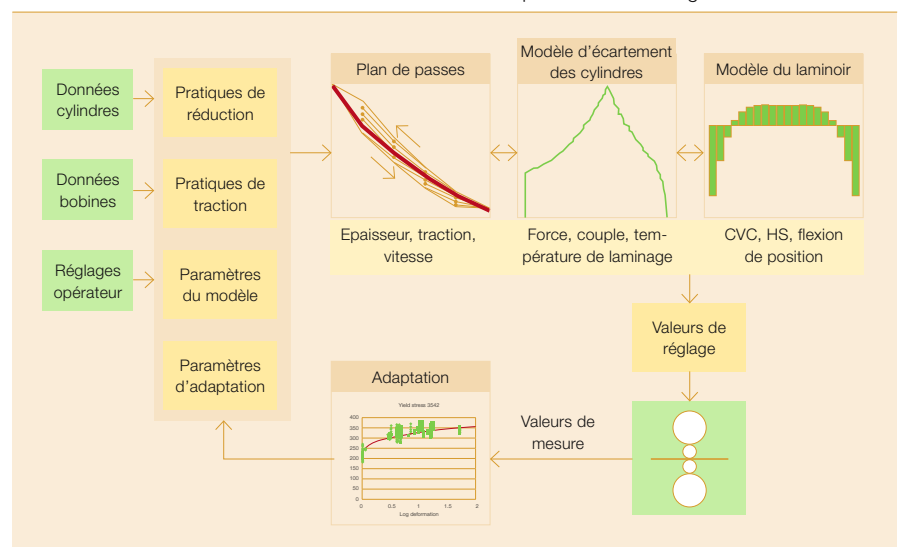
Sous-modèles des plans de passes

Ce sous-modèle sert à calculer une répartition adéquate des réductions d'épaisseur sur plusieurs passes en fonction du type de produit laminé (matériau, nuance, largeur de bande, épaisseurs initiale et finale). Pour commencer, les limites dans lesquelles la ligne optimale doit se trouver sont définies en calculant les réductions d'épaisseur maximales, passe après passe,

Note

¹⁾ Opération de réduction d'épaisseur qui inclut les phases d'engagement de la tôle, de laminage à vitesse constante, de décélération et de dégage-ment. Un plan de passes est la série de valeurs prédéfinies (ex., épaisseur, vitesse et force).

1 Interaction des données et des fonctions au cours du procédé de laminage



depuis l'épaisseur initiale en avant, puis à nouveau depuis l'épaisseur finale en arrière **2**. Ensuite, en tenant compte des conditions aux limites établies pour le laminoir et par les pratiques, une ligne de réduction est recherchée qui se rapproche le plus du critère retenu ; celui-ci peut, par exemple, être simplement la minimisation du temps de laminage ou l'obtention des mêmes forces de laminage pour toutes les passes.

Les seuils pratiques précités sont des conditions aux limites du procédé définies dans des tables selon le groupe de produits et peuvent spécifier, par exemple, les réductions maximales, les valeurs de traction de la bobine au cours de la première et de la dernière passes, etc.

La répartition de la réduction par passe peut être optimisée selon plusieurs critères. Or des critères de productivité ou de qualité (ex., planéité et surface de la tôle) sont parfois contradictoires. Des plans peuvent être élaborés pour satisfaire à des exigences de limites de réduction et de force de même que de courbes de réduction et de pression (ex., réduction constante par passe ou diminution de la force de laminage spécifique par passe). Les plans sont optimisés pour obtenir une vitesse de laminage maximale en égalisant la puissance moteur requise de toutes les passes ou cages. Pour ce faire, on modifie la répartition de la réduction ou de la traction.

Pour satisfaire à des contraintes opérationnelles comme, par exemple, le chargement ou le déchargement de la bobine d'un côté précis du laminoir, un nombre de passes pair ou impair peut être imposé. Une réduction fixe au cours de la passe finale est également définie. Pendant une passe, le système recalcule et corrige les passes suivantes si, par exemple, une épaisseur intermédiaire n'a pas été obtenue ou si le matériau laminé est plus dur que prévu.

Un composant important du calcul des plans de passes est un modèle d'écartement des cylindres basé sur les lois de la physique. Outre les valeurs d'épaisseur et de traction en entrée et en sortie, d'autres données doivent être fournies au modèle : résistance à la déformation du matériau, caractéristiques du frottement entre les cylindres et la bande. La résistance à la déformation est décrite sous la forme d'une courbe de fluage qui, à son tour, est basée sur les résultats d'essais de traction sur des échantillons de la tôle à chaque étape du laminage. On considère que la dureté des cylindres et la vitesse de laminage exercent une influence majeure sur les conditions de frottement de corrosion des cylindres. L'incidence des variations de frottement sur la force de laminage est clairement perceptible dans le cas de l'acier doux et des tôles minces **3**.

Sous-modèle de pré-positionnements

Une fois déterminé le plan de passes, le sous-modèle de pré-positionnements calcule les autres valeurs de réglage.

Parfois, les données (ex., épaisseurs et tractions) proviennent d'une table de plans de passes ou sont fournies par un système externe (PPS, EPR, niveau 3 de l'architecture d'automatisation).

Le calcul des pré-positionnements nécessite les données suivantes :

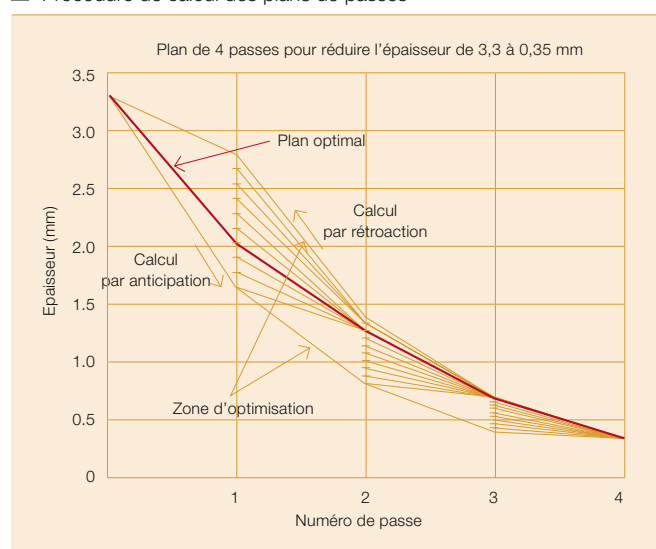
- Epaisseur en entrée, largeur, température en entrée ;
- Epaisseur du laminage à chaud ou épaisseur lors du dernier recuit ;
- Matériau, type de recuit ;
- Profil de la tôle, diamètre externe de la bobine ;
- Epaisseur (laminoirs réducteurs) ou allongement (laminoirs d'écroutissage) ciblé en sortie.

Les valeurs des cylindres comme le diamètre, la couronne, le renflement, la longueur et la texture sont également importantes pour la précision des calculs.

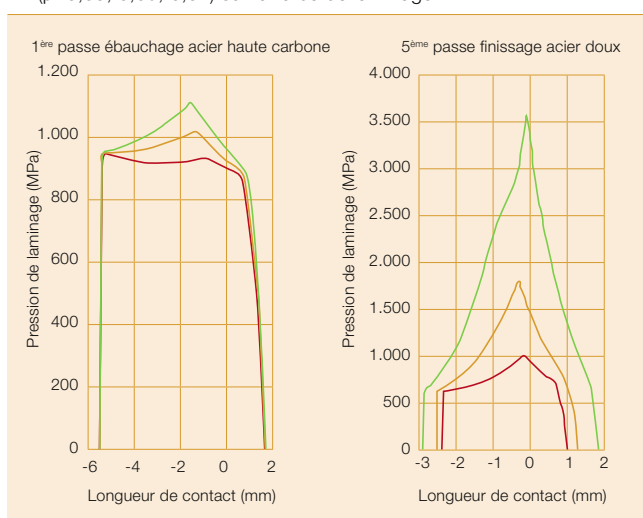
Encadré 2 Principales valeurs de pré-positionnement transmises au niveau 1 de l'architecture d'automatisation.

- Epaisseur en entrée, intermédiaire et en sortie
- Vitesse de laminage
- Traction en entrée, intermédiaire et en sortie
- Force de laminage
- Position d'écartement des cylindres
- Couple de laminage
- Actionneurs de planéité (flexion et décalage)
- Refroidissement

2 Procédure de calcul des plans de passes



3 Incidence des différents coefficients de frottement ($\mu=0,03, 0,05, 0,07$) sur la force de laminage



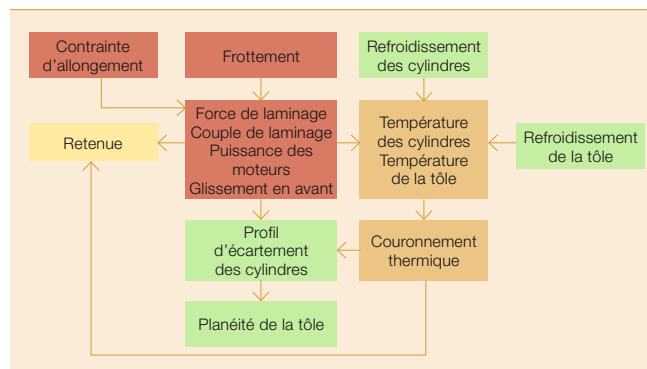
Maintenance et productivité

Les paramètres généraux comme les limites du laminoir et des entraînements, les pratiques normales, les coefficients d'adaptation, les valeurs de contrainte d'allongement et de frottement, sont stockés en local dans le système MES de suivi de production (niveau 2 de l'architecture d'automatisation). Les différents sous-modèles sont étroitement liés entre eux 4, les sorties d'un modèle peuvent servir d'entrées aux autres modèles.

La fonction de calcul des pré-positionnements détermine les conditions d'engagement, de laminage et de dégagement de toutes les passes. Les valeurs calculées sont fournies aux différentes fonctions de régulation (niveau 1). Cf. **Encadré 2** pour les principales valeurs de pré-positionnement transmises.



4 Interaction des sous-modèles du modèle de laminage



Les calculs de plan de passes et de pré-positionnement sont automatiquement lancés lorsque :

- les données de la bobine sont disponibles pour la première fois (contrôle de vraisemblance) ;
- la bobine passe à l'état « bobine suivante » ou lorsque la bobine suivante est montée sur la dérouleuse ;
- l'adaptation de la bobine précédente est terminée ;
- l'opérateur en fait la demande.

Les calculs de pré-positionnement peuvent être visualisés par l'opérateur pour contrôle, modification ou mise au point. Il les transmet ensuite à l'automatisme de niveau 1, l'engagement de la bobine pouvant alors commencer. La bobine passe de l'état « bobine suivante » à l'état « bobine en cours ». Les valeurs de pré-positionnement pour celle-ci sont uniquement modifiables avec le laminoir à l'arrêt. Enfin, l'opérateur peut visualiser les valeurs de consigne de la bobine en cours et préparer celles de la bobine suivante.

Composants clés du modèle de pré-positionnements

Le modèle de laminage utilise plusieurs composants (ou sous-modèles).

Modèle de traction

Ce modèle détermine des valeurs de traction spécifiques calculées à partir de l'épaisseur de la tôle, de la contrainte d'allongement du matériau et des pratiques de traction. En particulier, la première dérouleuse et la dernière traction de bobinage dépendent des traite-

tements préalable et postérieur qu'a subis la bobine laminée à froid. Un laminage avec des valeurs de traction inadéquates peut conduire, par exemple, au patinage de la bobine, à l'instabilité du laminage et au collage pendant le recuit en discontinu.

Si les valeurs de traction risquent de dépasser les valeurs maximales de la bobineuse ou de la dérouleuse, elles doivent alors être limitées. Lorsque des rouleaux d'entraînement sont utilisés, le rapport entre la traction de la dérouleuse/en entrée et la traction en sortie/de la bobineuse est également limité.

Modèle de vitesse

La vitesse de laminage maximale est limitée par les éléments suivants :

- Puissance maximale des entraînements (laminoir, dérouleuse/bobineuse) ;
- Vitesse maximale des entraînements en tenant compte du rapport de réduction ;
- Température maximale de la tôle en sortie ;
- Limitation de vitesse pour des raisons de qualité.



Le modèle de vitesse réduit la vitesse jusqu'à satisfaction de toutes ces limitations.

Modèle d'écartement des cylindres

Ce modèle en comporte, en fait, deux : un pour les laminoirs réducteurs et un autre pour les laminoirs d'écrouissage/à tôles minces.

Pour les réductions de plus de 5% environ et un rapport plus important entre l'épaisseur moyenne et la longueur de contact, un modèle d'écartement des cylindres basé sur la théorie classique de l'arc de cercle de Ford, Ellis et Bland est utilisé qui tient compte de la déformation plastique et élastique de la tôle entre les cylindres. La déformation du rayon des cylindres est calculée avec l'équation d'Hitchcock.

Pour les laminoirs d'écrouissage et à tôles minces (réduction et rapport plus faibles entre l'épaisseur moyenne et la longueur de contact), on utilise un modèle en ligne. Celui-ci est réglé avec un modèle d'arc non circulaire basé sur la théorie de Fleck et Johnson, qui calcule la force et le couple des cylindres, le glissement en avant, la déformation et l'énergie de frottement. Il utilise le modèle de contrainte d'allongement et de frottement. Les perturbations du procédé sont compensées par des coefficients d'adaptation.

La contrainte d'allongement d'un produit défini est calculée à partir de la déformation, du taux de déformation et de la température de la tôle. Un produit peut être défini par une combinaison de propriétés telles que le groupe de matériaux, la nuance que le matériau ou le prétraitement (type de recuit). Les paramè-

tres de nuance doivent être déterminés en étroite collaboration avec le client.

Le coefficient de frottement est calculé à partir de la rugosité/texteure du cylindre de travail, de la vitesse et du numéro de la passe.

Modèle de température de la tôle

Ce modèle a pour but de prédire la température de la tôle à toutes les étapes du procédé de laminage. Cette température est utilisée par le modèle de contrainte d'allongement et le calcul des plans de passes. Plusieurs facteurs entrent en ligne de compte : température de la tôle en entrée, refroidissement par air, chaleur dissipée par le refroidisseur, chaleur produite entre les cylindres et échange thermique avec le cylindre de travail.

Si la tôle est refroidie séparément, le flux de réfrigérant doit être calculé pour que la température de la tôle en sortie reste sous une valeur maxi définie pour éviter l'apparition de défauts de surface sur la tôle (acier inox) ou d'allumage (aluminium) du fait d'une température excessive de la tôle lors du bobinage. Si la température de bobinage calculée au cours d'une passe franchit la limite de sécurité avec l'écoulement d'huile maxi autorisé, la répartition de la vitesse de laminage au cours de toutes les passes est réduite en conséquence.

Modèle de température des cylindres et de dilatation thermique

Ce modèle transitoire 2D, qui fonctionne en permanence, calcule l'état thermique du cylindre de travail pendant et après le laminage. La technique des différences finies permet de calculer la répartition de la température dans le

cylindre de travail, équilibrant les transferts thermiques en entrée et en sortie de cylindre. Les transferts thermiques externes de la bande vers le cylindre et du cylindre au réfrigérant, au cylindre d'appui et à l'air sont représentés par des coefficients de transfert thermique appropriés. La dilatation thermique spatiale du cylindre est alors calculée à partir de la répartition de température obtenue. Le débit de chaleur et la répartition de l'effet de refroidissement sur tout le cylindre proviennent des modèles de température de la tôle et du refroidissement du cylindre.

Modèle de planéité

Ce modèle calcule les valeurs de pré-positionnement des actionneurs de planéité pour obtenir le profil d'écartement des cylindres et la planéité désirés. Un modèle aux différences finies prend en compte le profil de la tôle en entrée, la force de laminage, la largeur de tôle, le diamètre des cylindres, la rectification, l'aplatissement par flexion et la dilation thermique des cylindres.

Cet aspect thermique est particulièrement important lorsqu'on utilise un cylindre de travail de gros diamètre et faible efficacité de refroidissement combiné à un apport calorifique élevé entre les cylindres (ex., laminoirs d'aluminium). Selon le type de laminoir, le modèle de profil calcule la valeur de pré-positionnement pour la force de flexion des cylindres de travail et intermédiaire ainsi que le positionnement de décalage axial des cylindres.

Modèle de position d'écartement des cylindres

Pour stabiliser le laminoir, la position d'écartement des cylindres chargés



Maintenance et productivité

pour une épaisseur de tôle désirée doit être connue. Ce modèle calcule la position d'écartement des cylindres en tenant compte du module de la cage comme fonction non linéaire de la force de laminage, de la largeur de la tôle et du diamètre du cylindre d'appui. La dilatation thermique des cylindres de travail et d'appui ainsi que les coefficients d'adaptation influencent également cette position.

Modèle de sensibilité

Ce modèle calcule les différences finies entre les entrées et les sorties du procédé qui peuvent ensuite servir à calculer les paramètres de régulation anticipatrice et par rétroaction de l'épaisseur, de la traction et de la planéité qui garantissent la constante de qualité des différents produits à toutes les phases de laminage.

Ainsi, par exemple, le paramètre de régulation anticipatrice de la vitesse décrit l'interdépendance de la vitesse et de la force, alors que celui de la flexion décrit la dépendance de la force sur la flexion. Ces deux régulations anticipatrices atténuent les perturbations pendant l'accélération et la décélération et sont particulièrement importantes pour la régulation par rétroaction de l'épaisseur et de la planéité.

Modèle d'adaptation

La modélisation mathématique se heurte au problème suivant : même si les corrélations physiques au sein du procédé sont connues, les paramètres sont fréquemment inconnus et peuvent même évoluer. Dans le cas du laminage à froid, tous les paramètres (ex., contrainte d'allongement, frottement, coefficients de transfert thermique, etc.) ne sont pas connus et varient dans le temps, donnant souvent des prédictions imprécises.

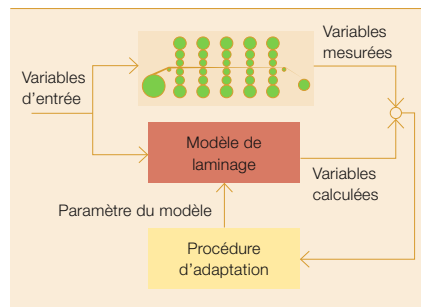
Pour améliorer la précision des prédictions du modèle de pré-positionnements, une adaptation en ligne du modèle intervient pour actualiser les coefficients et les paramètres afin de tenir compte des variations des matériaux et du comportement du laminoir.

Pendant le laminage, des mesures sont effectuées à intervalle régulier si une instrumentation est disponible (épaisseurs initiale et finale, traction de la tôle en entrée et en sortie, vitesse en

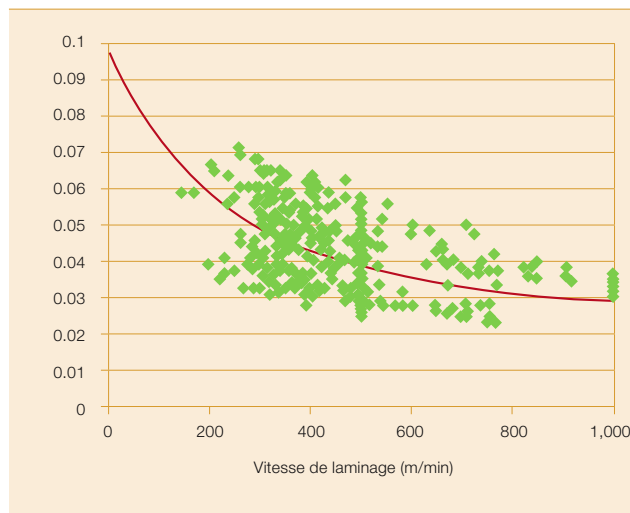
Encadré 3 Quels avantages pour le client ?

- Fourniture automatique des valeurs de consigne aux opérateurs et à la planification de la production ;
- Stabilisation des conditions de laminage au vu des contraintes du laminoir et du procédé ;
- Minimisation des temps d'engagement, de dégagement et d'inversion de sens ;
- Réduction de la longueur hors-jauge en tête et en queue de bande (60 % en moyenne sur la gamme complète de produits dans le cas d'un laminoir tandem à froid récemment modernisé) ;
- Minimisation des ruptures de bande, des temps d'arrêt et de la dégradation des cylindres ;
- Optimisation de la productivité (jusqu'à 4-6 % de gain, selon le laminoir et le niveau d'optimisation).

5 Adaptation dans un modèle de laminage (exemple de train continu à froid)



6 Adaptation du frottement sur plusieurs passes



entrée et en sortie, vitesse de laminage, force de laminage, force de flexion, décalage et position d'écartement des cylindres). Il s'agit des variables d'entrée de la figure 5. Après un contrôle de vraisemblance, un filtrage et une estimation des valeurs non mesurées, les différentes phases de laminage sont recalculées (« modèle de laminage » en 5) et adaptées pour la bobine en cours afin de fournir les coefficients et paramètres d'adaptation. Les réglages de la passe suivante sont alors calculés avec une meilleure précision.

La procédure d'adaptation étudie les différences entre les variables calculées et mesurées. La vitesse d'adaptation est configurable avec un gain d'adaptation.

Une adaptation à court terme (vitesse d'adaptation rapide) est réalisée d'une passe à l'autre et une adaptation à long terme (vitesse d'adaptation lente) d'une bobine à l'autre et pour une série de bobines similaires. Les changements de classes de produits (matériau, largeur, épaisseur, etc.), les changements de cylindres et les longs temps d'arrêt sont pris en compte 6.

Un modèle de laminage avancé

Les solutions de modélisation ABB pour les laminoirs à froid jouent un rôle important dans l'amélioration de la qualité des produits et de la productivité des sites.

Leurs principaux avantages pour les clients sont résumés dans l'encadré 3.

Frank Feldmann

Mark Gerdau

Andreas Vollmer

ABB Automation GmbH

Mannheim (Allemagne)

frank.feldmann@de.abb.com

mark.gerdau@de.abb.com

andreas.vollmer@de.abb.com

Bibliographie

- [1] Kroll, A., Vollmer, A., *IndustrialIT pour les laminoirs à froid*, Revue ABB 4/2004, p. 44-49
- [2] Feldmann, F., Kerkmann, M., *Process optimising for a CVC-6-HS-Reversing mill*, MEFORM 2000
- [3] Feldmann, F., *Adaptation of Rolling models*, Aluminium, Issue 3/4 1994

Produire plus avec moins

Des solutions logicielles au service de la productivité et de l'efficacité

Trond Haugen, Edgar Jellum, Michal Orkisz

La consommation mondiale de pétrole et de gaz ne cesse d'augmenter. Or les réserves de ces précieuses ressources énergétiques s'épuisant, les jours des champs faciles d'accès sont comptés. Confrontées au ralentissement économique, de nombreuses entreprises cherchent à dynamiser leur productivité en comprimant leurs coûts, en travaillant plus efficacement et en améliorant leur performance environnementale. En effet, seuls des gains de productivité et une meilleure efficacité écologique permettent de maintenir le cap face à des marchés de plus en plus instables. La réussite dépend notamment d'une redéfinition des modes de collaboration et de partenariat entre toutes les parties prenantes, et du recours massif aux nouvelles technologies.

Dans un contexte de restriction draconienne des ressources financières, humaines et énergétiques, d'une part, et d'épuisement des stocks d'hydrocarbures, d'autre part, ABB a travaillé étroitement avec des clients pour développer et proposer des technologies et des services qui s'inscrivent dans une vision d'intégration des opérations avec l'intervention à distance d'experts pour résoudre les problèmes et exploiter les installations.



Maintenance et productivité

Dans un monde assoiffé de pétrole, les défis à relever sont nombreux : gisements de plus en plus difficiles à exploiter (champs en fin de vie, marginaux, isolés, plus profond ou situés en Arctique), instabilité politique, réchauffement de la planète et pénurie de personnel qualifié. Obligées de se serrer la ceinture, les entreprises doivent faire preuve d'intelligence et produire plus avec moins si elles veulent éviter de sombrer dans la tempête financière actuelle.

Lorsque les ressources sont limitées, sans parler des flux de trésorerie, ABB propose des technologies et des services qui aident à améliorer la productivité et l'efficacité des industriels tout en allégeant le budget de maintenance. Favorisant l'intégration des opérations¹⁾, les solutions ABB pour le secteur pétrogazier augmentent le taux de récupération et diminuent les coûts d'exploitation des gisements sur le déclin alors même que la demande augmente.

Accès et collaboration à distance

Les technologies de l'information et de la communication (TIC) sont les pivots de cette démarche d'intégration, permettant à des équipes pluridisciplinaires de travailler efficace-

ment et d'intervenir à distance sur de nombreux actifs.

Même si le concept d'accès et de collaboration à distance est assez fréquent dans les univers de la bureautique, de la gestion des réseaux électriques ou de l'informatique familiale et des loisirs, il est accueilli avec une bonne dose de scepticisme par les opérateurs de sites pétrogaziers et leurs prestataires de services. En effet, tout dysfonctionnement peut provoquer des blessures graves, voire mortelles, des fuites ou des émissions polluantes et, bien évidemment, d'importantes pertes financières. Les gains de productivité escomptés de même que la diminution des incidents liés à la santé, la sécurité et l'environnement doivent être validés par d'importants travaux de recherche-développement (R&D), de nombreux essais et un lancement progressif pour instaurer la confiance et évaluer les avantages. Des efforts permanents de R&D, menés pour l'essentiel en collaboration avec StatoilHydro et différentes universités, ont permis de développer un flux incessant de technologies innovantes favorisant l'intégration des opérations.

Exploiter un champs d'hydrocarbures à distance suppose de mettre en place

de nouvelles procédures de travail destinées à augmenter les taux de récupération et la production quotidienne, à réduire les coûts et à améliorer la santé, la sécurité et l'environnement. Sur ce plan, la technologie joue un rôle décisif. Acteur clé dans le domaine de l'intégration des opérations, ABB s'est servi des mêmes technologies pour améliorer ses propres performances.

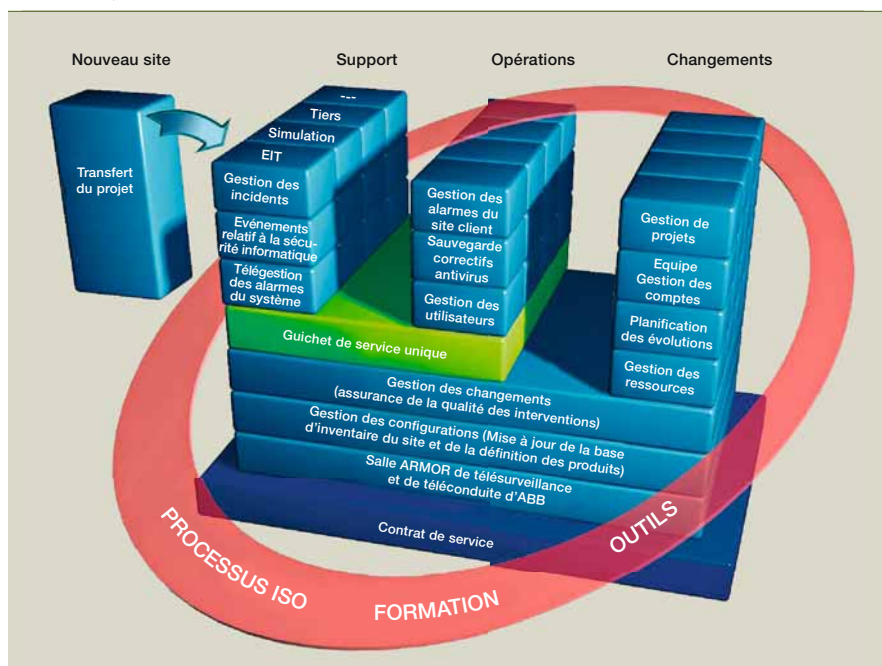
Ces récentes années, les technologies de l'automatisation et de l'information pour l'industrie des hydrocarbures ont progressé à un rythme soutenu. Ces avancées ont, à leur tour, fondamentalement transformé le mode d'interaction d'ABB avec ses clients du secteur et la manière de gérer et d'entretenir leurs actifs. De la même façon que ses clients sont devenus plus efficaces dans leur travail et en matière de sécurité, ABB a développé sa suite applicative Service Environment™ pour exploiter le savoir-faire, les produits et les services de ses différentes divisions, et utiliser au mieux les ressources des clients, des partenaires et des fournisseurs.

ABB Service Environment™

Où trouver l'expert dont on a besoin ? Souvent, il est disponible en interne, chez un fournisseur de systèmes ou chez un prestataire tiers.

Traditionnellement, cet expert se rend sur place pour résoudre le problème. Et, si au lieu de se déplacer, il pouvait accéder à distance au site ? Que de temps et d'argent gagnés, et d'émissions polluantes évitées ! De partout, il interviendrait en quelques minutes au lieu de plusieurs jours. Des outils perfectionnés de surveillance d'état et de diagnostic, avec accès à distance sécurisé, résoudraient les problèmes logistiques liés au déplacement physique des experts. Or réagir rapidement, en toute sécurité et de manière cohérente à une demande de service à distance sup-

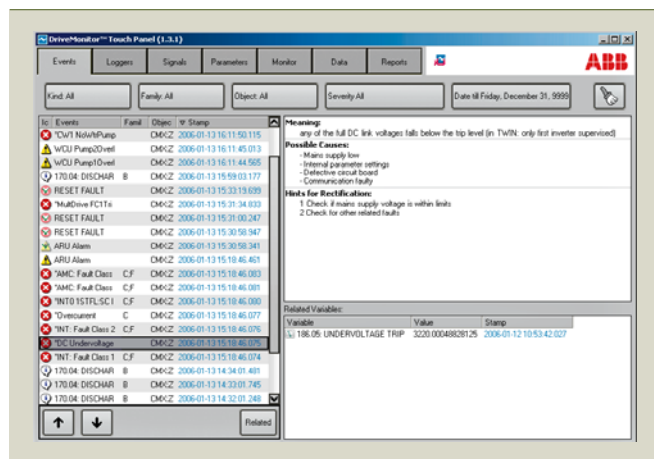
1 L'offre Service Environment™ d'ABB a été développée pour répondre aux besoins de l'industrie du pétrole et du gaz. Elle inclut une panoplie complète de services qui s'inscrivent dans la vision de l'intégration des opérations.



Note

¹⁾ Par intégration des opérations, StatoilHydro entend une collaboration pluridisciplinaire et interentreprise, transversale et transfrontalière, favorisée par le temps réel et de nouvelles procédures visant à sécuriser, optimiser et accélérer les processus décisionnels. Source : www.isa.org/intech/20080401 (consulté en décembre 2008)

- 2 Recopie d'écran de DriveMonitor™. La liste des événements affichés inclut les alarmes, les paramètres modifiés et les messages de diagnostic propres à l'application.



pose de revoir les modes d'organisation, les méthodes de travail et les procédures.

Telle est précisément la finalité de la solution Service Environment™ d'ABB, développée pour permettre aux industriels du pétrole et du gaz de concrétiser leur vision de l'intégration des opérations [1]. Elle s'appuie sur les TIC pour :

- Garantir la sécurité et l'intégration des données ;
- Authentifier les utilisateurs (accès physique et connexion) ;
- Accéder à distance aux systèmes ABB et tiers au sein du site client ;
- Mettre en place des outils collaboratifs pour interconnecter les experts du client, d'ABB et de prestataires tiers.

Toutes les interventions effectuées à distance sur les systèmes du client se font à partir d'une salle appelée ARMOR™ (*ABB Remote Monitoring and Operations Room*), pierre angulaire de l'infrastructure TIC. Une intervention est déclenchée :

- par une demande manuelle du client ;
- selon un calendrier préétabli ;
- automatiquement à la suite d'une alarme générée par un système de surveillance d'état fourni par ABB ou par un tiers.

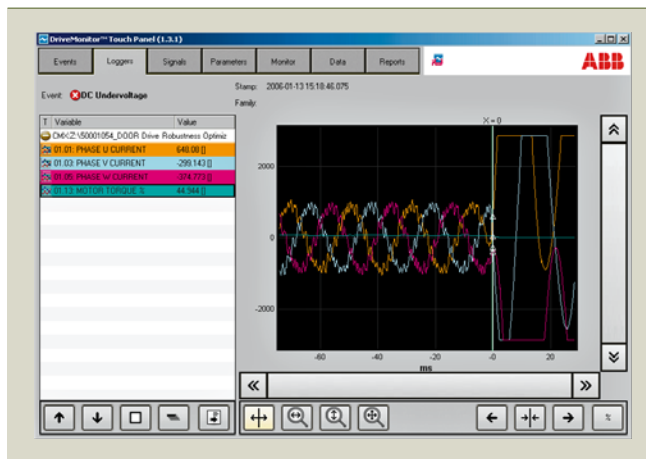
Toutes les demandes d'intervention arrivent au centre Service Environment™ d'ABB, guichet unique qui les transmet à l'équipe d'experts concer-

née, prête à agir dans un temps donné. La sécurité et la qualité des interventions de chacune des équipes sont garanties par un ensemble complet de procédures conformes à la réglementation sur la santé, la sécurité et l'environnement de l'industrie pétro-gazière. Tous les changements apportés au système en cours d'intervention sont consignés et conservés par les systèmes de gestion des configurations et de gestion des changements de Service Environment™.

Les procédures et le code de conduite jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement au quotidien de Service Environment™ et d'ARMOR, notamment pour veiller à ce que ceux qui interviennent à distance soient pleinement conscients qu'ils agissent sur des installations réelles. La salle ARMOR peut être comparée à une ambassade : même si elle se trouve au sein d'ABB, ce sont les règles et les procédures de l'entreprise et du site client qui s'appliquent dès que l'on y pénètre.

Les systèmes de gestion des actifs industriels pour les applications de surveillance d'état, de suivi des performances, d'analyse et de diagnostic peuvent considérablement augmenter la productivité opérationnelle d'un site. Les enrichir de fonctionnalités d'accès et de collaboration à distance, soit intégrées directement dans Service Environment™, soit proposées à part, accroissent encore la valeur de ces systèmes.

- 3 En sélectionnant l'onglet *Loggers*, tous les signaux échantillonnés HF avant et après l'événement sélectionné sont affichés.



Leader des secteurs de l'énergie et de l'automation, un grand nombre des outils de gestion des actifs d'ABB ont été développés à partir du retour d'expérience de ses technologies clés. DriveMonitor™ compte parmi celles-ci. Il s'agit d'un système intelligent de surveillance et de diagnostic des variateurs de vitesse moyenne tension (MT) qui permet d'y accéder en toute sécurité et de n'importe où.

Les variateurs de vitesse et DriveMonitor™

Les systèmes d'entraînement de puissance à vitesse variable deviennent rapidement une technologie incontournable pour l'industrie des hydrocarbures. Comparés aux turbines à gaz, ils sont nettement plus avantageux en termes de disponibilité et de rendement énergétique, ils offrent plus de souplesse fonctionnelle et sont plus performants sur le plan de la santé, de la sécurité et de l'environnement. Ce type de système peut fonctionner en continu pendant 5 ans sans aucune intervention de maintenance. Indispensables au fonctionnement d'un site, ils exigent toutefois très peu d'attention. Pour autant, la défaillance d'une machine électrique tournante peut entraîner d'énormes pertes de production avec un impact important sur l'environnement du fait du torchage. De plus, un équipement sur lequel on intervient rarement participe peu au retour d'expérience et les experts certifiés sont rares.

Maintenance et productivité

DriveMonitor™ est un outil qui collecte, enregistre, traite et présente toutes les données accumulées dans un variateur de vitesse. Couronné par un prix, il possède des fonctionnalités structurées de surveillance d'état, d'analyse des défauts et de résolution des problèmes. La grande quantité de données générées par un variateur de vitesse ABB, associées aux fonctionnalités de diagnostic de DriveMonitor™ et au savoir-faire des experts certifiés, écourtent considérablement les délais d'intervention. Si les compétences existent, elles ne sont en général pas disponibles sur site et encore moins au milieu de la nuit ! Avec DriveMonitor™ raccordé à un parc d'entraînements à vitesse variable – soit en version autonome, soit intégré à Service

Environment™ – un expert peut immédiatement intervenir en ligne à partir de n'importe quel site du client ou conformément à un contrat de services avec ABB. Contrairement aux grosses machines électriques tournantes, un entraînement à vitesse variable est normalement plus rapide et plus facile à réparer une fois le problème identifié.

Dans le cadre d'un projet de collaboration de R&D entre ABB et Statoil-Hydro (Encadré), DriveMonitor™ a été installé sur un compresseur de l'usine de traitement et de compression des gaz de Kollsnes. En particulier, il a été intégré à l'infrastructure TIC de StatoilHydro et testé pour une série de cas nécessitant un accès à distance. DriveMonitor™ et les procédures de travail qu'il met en œuvre est l'illustration probante du concept d'intégration des opérations, à savoir l'utilisation efficace de ressources limitées soit internes à l'entreprise, soit externes, indépendamment de leur localisation. En d'autres termes, il collecte et organise les données qui deviennent accessibles de n'importe où, de manière contrôlée et sûre. Des experts peuvent ainsi collaborer à distance avec le personnel du site.

DriveMonitor™ répond aux besoins essentiels suivants :

- 1) Suivi d'état et historisation des données d'un entraînement à vitesse variable pour accélérer le dépannage, améliorer le diagnostic et renforcer la collaboration, l'accès et l'assistance à distance d'un expert ;

collecter et enregistrer les alarmes, événements, données d'exploitation ainsi que tout changement apporté aux paramètres et à la configuration.

- 2) Organisation, traitement et présentation des informations pour identifier et localiser les changements et les problèmes.
- 3) Instructions et assistance pour différents niveaux d'expertise : personnel de maintenance du site, équipes locales d'ABB Service et spécialistes de l'usine ABB Drives.

Tous les événements sont enregistrés avec les fichiers journaux des valeurs de mesure et autres données des entraînements liés à chaque événement. Ces informations peuvent être conservées sur toute la durée de vie du variateur. L'accès à l'historique de l'entraînement est une source précieuse d'informations pour une analyse et un diagnostic efficaces des défauts.

L'interface utilisateur est organisée pour faciliter la navigation entre les différents écrans de surveillance d'état, de diagnostic et d'édition de rapports. DriveMonitor™ est fourni avec des valeurs préreçues et des informations sur les différents modèles de variateurs ABB. L'utilisateur dispose ainsi de consignes très précises sur les différents types d'événement, les critères de déclenchement, les données à rapatrier, de même que le regroupement des paramètres du variateur et leur description. Il peut également configurer lui-même les critères de déclenchement et sélec-

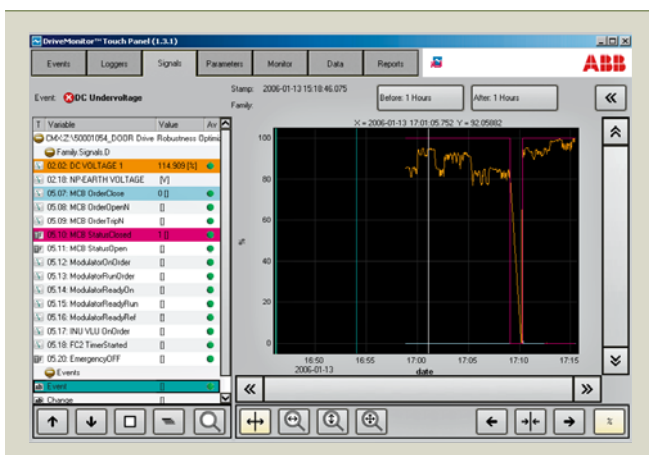
Encadré Intégration des opérations

Lancé en 2006, le projet « TAIL – Integrated operations », entend :

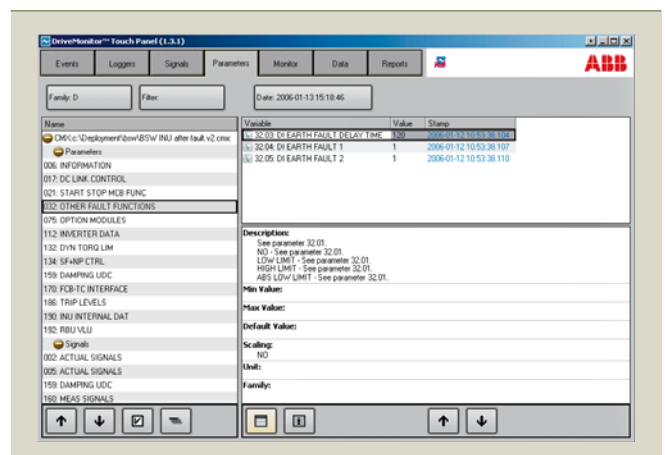
- augmenter la production journalière d'au moins 5 % en limitant les pertes dues à des défaillances opérationnelles, arrêts de maintenance et équipements contre-performants ;
- réduire de 30 % les coûts de fonctionnement, de construction et de maintenance ;
- diminuer de 50 % le nombre d'incidents liés à la santé, la sécurité et l'environnement ;
- allonger la durée d'exploitation des champs pétroliers et gaziers de Statoil-Hydro.

site : www.isa.org/intech/20080401
(consulté en décembre 2008)

- 4 L'onglet *Signals* affiche la valeur de certains signaux au moment du réarmement d'un défaut.



- 5 L'onglet *Parameters* affiche les groupes de paramètres liés à l'événement sélectionné.



tionner les sources de données. DriveMonitor™ est capable de récupérer et de stocker n'importe quel type d'information disponible dans le système de commande du variateur (événements ponctuels, valeurs analogiques, etc.). Qui plus est, tous les paramètres du variateur sont accessibles et complétés d'informations détaillées sur leur modification.

La figure 2 reproduit l'écran de l'onglet *Events* qui affiche une liste des événements : défauts et alarmes du variateur, paramètres importants modifiés, messages de diagnostic propres à l'application. Lorsque l'utilisateur sélectionne une alarme ou un défaut de la liste, le système ouvre une fenêtre avec une description du problème, les causes probables et des conseils pour le résoudre.

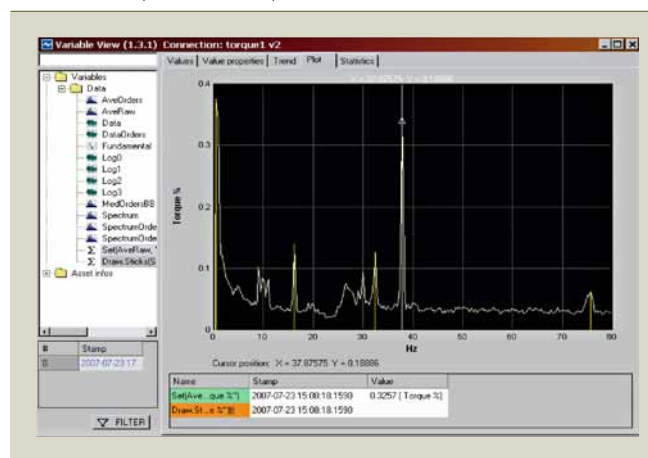
Les informations affichées par les trois onglets suivants varient en fonction de l'événement sélectionné. L'onglet *Loggers* affiche les signaux pertinents échantillonnés en haute fréquence avant et après l'événement sélectionné 3. L'onglet *Signals* présente la valeur de certains signaux au moment du réarmement du défaut 4, ce qui permet de vérifier que ce réarmement a eu les effets escomptés.

Le quatrième onglet (*Parameters*) indique les groupes de paramètres se rapportant à l'événement sélectionné 5 en spécifiant le moment précis où la valeur de chaque paramètre a été modifiée. Enfin, c'est dans l'onglet *Monitor* que l'utilisateur sélectionne les données à collecter et à stocker. Il peut puiser dans la liste complète des signaux du système de commande du variateur.

Accès à DriveMonitor™

Un variateur est un actif critique qui doit être protégé de toute malveillance ou utilisation incorrecte. C'est la raison pour laquelle DriveMonitor™ contrôle l'accès à l'information fournie par son système de commande. Seules les personnes habilitées ont accès aux données. Si le personnel à distance désire modifier les paramètres du

6 DriveMonitor™ possède également un ensemble d'outils mathématiques et statistiques avancés.



variateur ou la configuration de DriveMonitor™, les droits d'accès pour une session spécifique doivent explicitement être obtenus du personnel habilité du site client.

Chaque entreprise pétrogazière met en place des architectures et des outils différents de travail collaboratif. C'est pourquoi ABB développe des produits qui offrent toute la souplesse requise pour être interfacés avec les solutions les plus courantes. DriveMonitor™ a été testé auprès de différents clients qui utilisent également d'autres outils de travail collaboratif comme Citrix, Microsoft LiveMeeting, VNC et IBM Lotus Sametime.

Les variateurs aux premières loges

Outre ses fonctions de surveillance d'état et de diagnostic des variateurs, DriveMonitor™ possède également un ensemble d'outils mathématiques et statistiques avancés 6. Appliqués aux informations très utiles et détaillées fournies par le variateur, ces outils permettent de suivre l'état et les performances du moteur, de la machine entraînée, voire de toute la chaîne de production, sans instrumentation supplémentaire. En d'autres termes, le système de commande d'un variateur ABB accède instantanément à des données échantillonnées rapidement. De surcroît, le modèle dynamique et précis du moteur stocké dans le variateur peut fournir des calculs supplémentaires comme, par exemple, le couple moteur.

DriveMonitor™ peut lire des données autres que celles du variateur, notamment celles d'un système de conduite des procédés, autorisant une analyse plus fine des interactions entre les différents sous-systèmes (entraînements à vitesse variable et procédés).

Les variateurs au service de la productivité

Grâce aux solutions logicielles Service Environment™ et DriveMonitor™ d'ABB, les problèmes peuvent être résolus plus rapidement et à moindre coût par un expert qui ne doit plus se déplacer.

Dans certains cas, ils peuvent même être évités, ce qui réduit d'autant son coût d'intervention. Trente minutes d'une session de travail collaboratif avec un expert ou consacré à un contrôle qualité rarement effectué par le personnel du site peuvent prévenir des erreurs. Ce mode de travail renforce non seulement la motivation du personnel du site, mais lui fait également acquérir de nouvelles compétences sous la houlette d'experts. D'autres services peuvent être proposés et mis en œuvre en continu ou de manière proactive comme, par exemple, le suivi des performances des boucles de régulation et de l'état des équipements à intervalle régulier, avec un minimum de ressources.

Trond Haugen

Edgar Jellum

ABB AS, Strategic R&D for oil, gas and petrochemicals
Oslo (Norvège)
trond.haugen@no.abb.com
edgar.jellum@no.abb.com

Michal Orkisz

ABB Poland
Cracovie (Pologne)
michal.orkisz@pl.abb.com

Roulements de tambours

pour atteindre des sommets de productivité

Margret Bauer, Guido Sand, Iiro Harjunoski, Alexander Horch



Source : ThyssenKrupp

En avril 2008, une cinquantaine d'experts industriels et académiques se sont réunis pour débattre des grandes tendances de l'optimisation du pilotage et du suivi de production. Seize communications ont plus particulièrement traité de l'optimisation du MES (*Manufacturing Execution System*) dans le *process*, synthétisant les applications industrielles de l'optimisation mathématique ainsi que les acquis et l'évaluation des outils de modélisation et logiciels d'optimisation.

Chaque année, l'association allemande rassemblant des spécialistes de la recherche opérationnelle «GOR» (*German Operations Research*) organise des journées techniques. Au printemps dernier, c'était au tour d'ABB d'orchestrer la 80^{ème} édition de ce rendez-vous, sur le thème «Optimisation du suivi de production»¹⁾, pour rendre compte de l'explosion des projets MES²⁾ dans l'industrie des procédés et affronter les défis d'une filière (producteurs, automaticiens...) qui se voit de plus en plus imposer un accroissement de la production et une exploitation de l'outil productif à son maximum.

Question d'«optimisation»

Le voyageur de commerce qui organise ses rendez-vous auprès d'une vingtaine de clients situés en autant d'endroits différents est un exemple type de problème d'optimisation. Tant qu'il s'agit d'établir un itinéraire, tout va bien; l'affaire se corse quand il doit opter pour le *meilleur* parcours! Certes, notre homme peut se tourner vers un spécialiste de l'optimisation... encore faut-il savoir ce qu'il entend par «meilleur». Est-ce la route la plus rapide ou la plus directe? ou encore l'itinéraire qui lui permettra de descendre dans son hôtel préféré?

Tout dépend donc de sa propre définition du «meilleur» et des aspects du trajet à «optimiser». Notre quotidien fourmille de ces questions d'optimisation, notamment dans nos déplacements: qui n'a pas cherché le trajet Paris-Lyon le plus rapide? Quel moyen de transport sera le plus «productif» en un temps donné? Comment notre commercial, libéré de ces contraintes, pourra-t-il ainsi dégager

plus de temps pour les siens? L'amélioration continue répond en partie à ces dilemmes; elle commence par trouver une solution qui, d'affinement en perfectionnement, débouche sur une *meilleure* solution: une démultiplication qui permet souvent de parfaire les procédés de production en vue d'une plus grande productivité.

Si l'amélioration permanente a du bon, puisqu'elle se traduit par du *mieux*, que dire de l'optimisation qui trouve LA *meilleure* solution! Au sens mathématique, l'optimisation consiste à pointer la meilleure de toutes les solutions envisageables. C'est pourquoi l'ensemble de ces possibilités peut s'énoncer par un «modèle» formel décrivant le but de l'opération (*objectif*), les variables intervenant dans la décision et les contraintes en présence.

L'optimisation mathématique suscite un intérêt grandissant avec la montée en puissance du calcul informatique et des algorithmes toujours plus poussés.

L'optimisation mathématique revient à trouver le minimum ou le maximum de cette fonction objectif en choisissant les valeurs d'un ensemble de variables de décision qui satisfont aux contraintes. A chaque objectif précisé correspond un optimum local et global **1**. Or, contrairement à l'amélioration continue, l'optimisation mathématique ne se borne pas à

approcher le point optimal: elle cherche la meilleure solution d'ensemble.

Tout un monde

L'optimisation mathématique est une méthode bien définie basée sur une représentation formelle du problème d'optimisation. Elle résout un problème réel en trois grandes étapes **2**:

- 1) L'identification du problème;
- 2) Sa modélisation (expression en termes mathématiques);
- 3) L'élaboration d'algorithmes de résolution.

Dans l'industrie, la solution au problème posé est mise en pratique dans l'environnement de production. Les outils d'optimisation font en effet partie intégrante du MES (cf. **Encadré 1**, p. 16) qui s'intercale entre le niveau du contrôle-commande, domaine des automatismes et de la supervision, et celui de la planification occupé par l'informatique de gestion (ERP). La réussite de leur mise en œuvre passe forcément par des capacités de suivi temps réel et de configuration en ligne, ainsi qu'une connectivité établie et une fiabilité à toute épreuve **3a**.

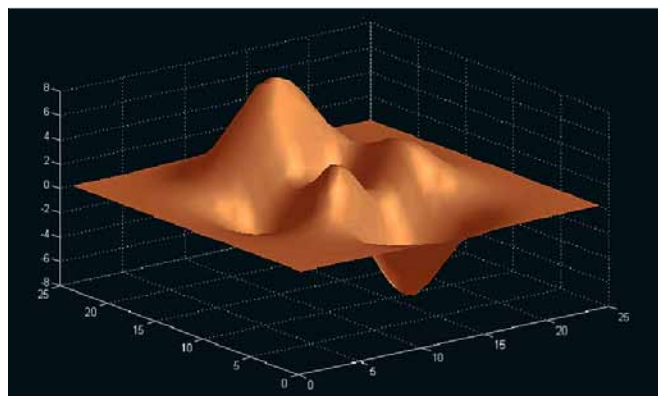
Notes

¹⁾ Cette rencontre fut organisée à la fois par le docteur Guido Sand, du centre de recherche institutionnel du Groupe ABB, et le professeur Josef Kallrath, responsable du groupe de travail du GOR. Pour en obtenir les actes (transparents), contactez Guido Sand à l'adresse Guido.Sand@de.abb.com.

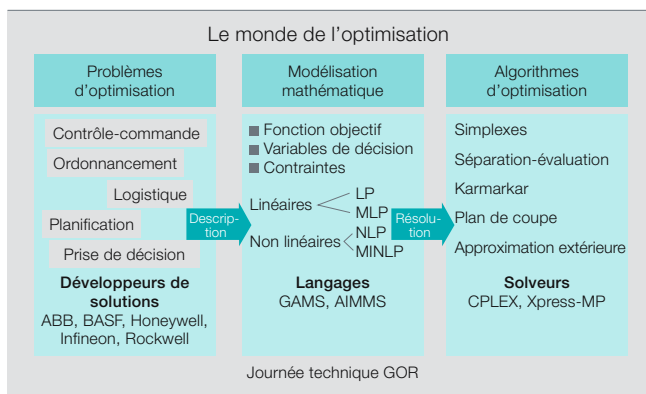
²⁾ Système informatisé de pilotage, de suivi, d'ordonnement et de gestion du procédé, des flux matières, des effectifs et de toutes les ressources indispensables au bon fonctionnement d'un site.

³⁾ Les développeurs de solutions, les langages de modélisation et les solveurs mentionnés ici furent présentés à l'occasion de cette journée d'étude; d'autres y participèrent sans pour autant apparaître dans ce tableau.

1 Objectif d'optimisation, fonction de deux variables



2 Principales composantes de l'optimisation mathématique³⁾



Maintenance et productivité

Problématiques

La planification et l'ordonnancement de la production sont de véritables viviers d'applications d'optimisation industrielle ^{3b}. Leur mission? Allouer des ressources rares (humaines, matérielles, matières premières, énergie) à des tâches précises, sur une période donnée. L'optimisation mathématique permet d'en déterminer le meilleur usage au regard de contraintes de production ciblées. Consommation et facture d'électricité peuvent, par exemple, être revues à la baisse en optimisant l'efficacité énergétique des équipements et en faisant fonctionner les procédés électro-intensifs aux heures creuses ^{3c}.

Toutefois, même si bien des problématiques industrielles ont été analysées et améliorées en conséquence,

nombreux sont les secteurs pour lesquels la *meilleure* solution reste une inconnue et le potentiel d'optimisation, considérable. Citons notamment :

- L'ordonnancement de la production (volume et type de produit) ;
- L'ordonnancement des machines pour chaque lot de produits ;
- La planification et l'affectation des capacités (besoins en ressources humaines et matérielles).

L'optimisation mathématique suscite un intérêt grandissant avec la montée en puissance du calcul informatique et des algorithmes toujours plus poussés.

Modéliser

Pour exprimer un problème d'optimisation en termes mathématiques, il faut commencer par le définir claire-

ment. S'agit-il de maximiser la production ou de minimiser la consommation d'énergie? ou les deux? L'objectif étant clarifié (ce qui n'est pas toujours une mince affaire), l'étape suivante consiste à identifier les variables décisionnelles, autrement dit les choix possibles. Exemple : un procédé gourmand en électricité peut-il être basculé sur des tranches tarifaires plus économiques? De quels équipements dispose-t-on et quelles machines sont les mieux adaptées à la tâche en question? Les matières premières peuvent-elles provenir de plusieurs fournisseurs? Ces questions résolues, passons à la définition des contraintes.

Chaque problème à résoudre apporte son lot de contraintes. Un procédé peut être tributaire de ressources limitées : matières premières, capacité de traitement ou même de stockage du produit fini... Or tous ces postes sont freinés par des goulets d'étranglement... qu'il n'est pas toujours aisé de localiser!

Pour exprimer un problème d'optimisation en termes mathématiques, il faut commencer par le définir clairement.

Les fonctions objectif et leur corrélation avec les variables de décision et les contraintes s'expriment sous la forme d'égalités et d'inégalités⁴⁾ mathématiques. L'énoncé complet est un « programme mathématique », le terme *programme* ne devant pas être utilisé dans son acception courante⁵⁾. On distingue ainsi différents types de programme mathématique, selon la nature de sa formulation. Si toutes les équations (objectif et contraintes) ne sont énoncées qu'à l'aide de termes

3 Communications

	Thème abordé	Intervenant	Entreprise
a	Exigences des solutions de MES durables et des technologies dans les industries de transformation	Ansgar Münnemann	BASF, Allemagne
b	Panorama des méthodes de planification et d'ordonnancement pour une optimisation globale de l'entreprise	Ignacio Grossmann	Carnegie Mellon University, USA
c	De l'intérêt de l'optimisation pour répondre aux exigences croissantes de l'efficacité énergétique – Etudes de cas	Bazmi Husain	ABB, Suède
d	Fabrication : rôle des systèmes de modélisation algébrique	Jan-Henrik Jagla	GAMS, Allemagne
e	Optimisation des procédés de fabrication et de la planification sous AIMMS	Frans de Rooij	AIMMS, Pays-Bas
f	Planification, mise en lot et ordonnancement intégrés de la fabrication avec Plant PowerOps d'ILOG	Julien Briton	ILOG, France
g	Résoudre des problèmes complexes de planification et d'ordonnancement de la production avec Xpress-MP	Oliver Bastert	Fair Isaac, Allemagne
h	Les exigences de l'optimisation de la production pour une réussite durable	Alexander Horch	ABB, Allemagne
i	Optimisation de la chaîne logistique pétrogazière	Marco Fahl	Honeywell, Allemagne
j	Conduite de process et optimisation avancées dans l'industrie moderne	Eduardo Gallestey	ABB, Suisse
k	Exploitation tout automatique des réseaux de distribution d'eau et optimisation des programmes de pompage	Jan Poland	ABB, Suisse
l	Commande prédictive par modèle sous contraintes probabilistes pour la gestion énergétique du bâtiment	Manfred Morari	ETH Zürich, Suisse
m	Ordonnancement non anticipatif dans les systèmes de fabrication de semi-conducteurs impliquant des réglages	Hermann Gold	Infineon Technologies, Allemagne
n	Les défis de l'optimisation de la production face à une complexité accrue	Iiro Harjunkoski	ABB, Allemagne
o	Intégration de l'optimisation de la fabrication suivant l'ISA95	Thomas Schulz	Rockwell Automation, Allemagne
p	Ordonnancement de la production sous incertitudes	Sebastian Engell	TU Dortmund, Allemagne

Notes

⁴⁾ Une « égalité » est une proposition stipulant que deux constantes sont égales, ce qui équivaut à une équation ; une « inégalité » est une proposition énonçant la taille relative, l'ordre ou la différence entre deux objets : supérieur à (>), inférieur à (<) ou différent de (≠).

⁵⁾ Faux ami ne désignant pas un programme informatique mais un modèle d'optimisation formel ; dans cette logique, la « programmation mathématique » consiste en la résolution d'un programme mathématique, à savoir l'optimisation mathématique.

linéaires assortis de variables continues, l'optimisation est appelée « programmation linéaire » (abrégée « LP » pour *Linear Programming*) et se formule comme suit :

maximiser $c^T x$
suivant $Ax \leq b$

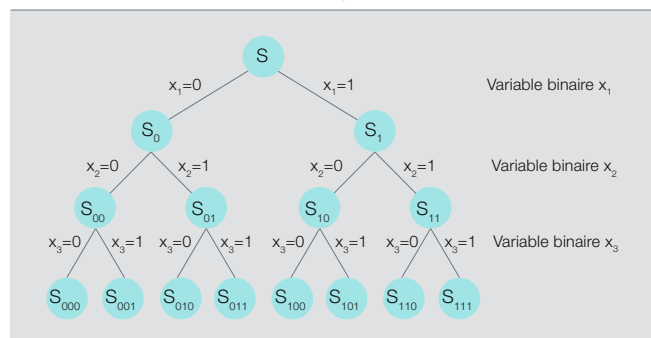
avec x = vecteur de variables, c et b = vecteurs de paramètres connus, A = matrice de paramètres connus, $c^T x$ = fonction objectif et $Ax \leq b$ = contraintes⁶⁾.

Dès qu'une équation comprend un terme non linéaire, par exemple le produit de 2 variables de décision ($x_1 \cdot x_2$), le programme devient non linéaire (« NLP » pour *Non Linear Program*). Bien souvent, les décisions sont de type binaire puisque les questions posées appellent des réponses par oui ou par non : « Rendrai-je visite au client x aujourd'hui ? Oui/non ».

De même, de nombreuses variables sont des entiers : un charpentier, par exemple, ne peut fabriquer qu'un nombre entier de tables, jamais une portion de table ! Dans ce cas, le problème est un programme mixte entier linéaire (MILP) ou entier non linéaire (MINLP).

Si les langages de modélisation de ces programmes mathématiques ont été majoritairement élaborés pour la recherche opérationnelle, ils ont aussi trouvé un emploi dans le développement d'applications. Deux langages de modélisation sont dédiés aux problèmes d'optimisation : GAMS et AIMMS. Hérités de l'optimisation économique

5 Arbre binaire de résolution de programmes mixtes entiers linéaires



3d), ils suscitent un intérêt croissant dans l'industrie, avec des fonctions classiques comme le débogage, le profilage et l'analyse de données 3e. Ces systèmes s'interfacent avec certains solveurs du commerce, adaptés aux différents types de programme mathématique.

Trouver l'optimum

La difficulté de la tâche va de pair avec le nombre de variables à prendre en compte et la complexité du problème. En règle générale, même les programmes linéaires volumineux peuvent se résoudre relativement rapidement, la meilleure solution se situant au niveau des contraintes ou à l'intersection des contraintes. La performance d'un procédé, par exemple, peut être limitée par le couple « quantité produite-débit » ; autrement dit, son maximum sera exactement égal à sa quantité produite-débit limite. La résolution de problèmes non linéaires, surtout non convexes⁷⁾, est plus épineuse 4 : il faut alors mettre en œuvre des algorithmes complexes ou diviser le problème en sous-problèmes convexes.

Des décisions discrètes peuvent aussi compliquer un problème d'optimisa-

tion étant donné l'explosion exponentielle du nombre de solutions envisageables au regard du nombre de choix possibles. La gamme opératoire de 3 produits A, B et C fabriqués par une même machine, donne 3 factoriel (3!), soit $1 \cdot 2 \cdot 3 = 6$ séquences différentes (ABC, ACB, BAC, BCA, CAB et CBA). En temps normal, pour réaliser 100 produits différenciés, il faudrait plusieurs machines.

La fabrication de 20 produits sur une seule machine donnerait 20! différentes séquences, soit un nombre de 18 chiffres. En clair, même un supercalculateur serait incapable de tester toutes les possibilités en un temps raisonnable, la résolution de 1 million de combinaisons par seconde nécessitant l'équivalent de 77 000 années pour trouver la solution optimale. Ce problème de gamme opératoire s'apparente beaucoup à celui du voyageur de commerce dont le nombre d'itinéraires possibles s'élève aussi à 20!

La résolution de problèmes MILP ou MINLP fait traditionnellement appel à des algorithmes de séparation-évaluation qui permettent de trouver une solution optimale en n'explorant qu'une partie des possibilités, concrètement, en éliminant des branches entières de l'arbre des solutions 5.

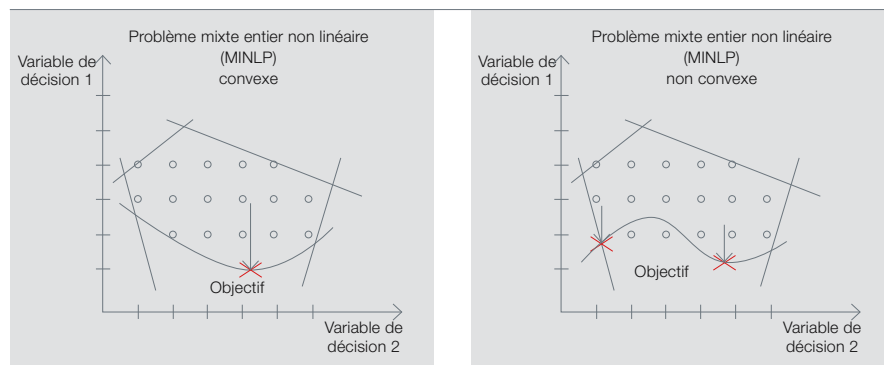
De nombreux solveurs du commerce, tel CPLEX d'ILOG, peuvent traiter de très lourds problèmes d'optimisation avec plusieurs processeurs se partageant les calculs en parallèle 3f. Xpress-MP Optimizer est réputé pour sa capacité à résoudre des problèmes instables ou numériquement complexes, souvent caractéristiques des industries de transformation 3g. Pour remédier au coût unitaire encore prohibitif de ces algorithmes sophistiqués (plusieurs milliers de dollars), l'optimisation pourrait très bien se démocratiser en devenant un « service »

Notes

⁶⁾ Sachant que chaque contrainte d'égalité équivaut à deux contraintes d'inégalité, la formule se prête aux contraintes aussi bien d'égalité que d'inégalité.

⁷⁾ Qualifie un problème décrit par une fonction suivant une courbe ou un tracé non convexe.

4 Deux grands types de problème d'optimisation : programmation non linéaire convexe et non convexe



Maintenance et productivité

acheté à la demande [3h]. Le serveur américain NEOS® permet d'ores et déjà de charger ses problèmes d'optimisation sous GAMS ou AMPL et de récupérer les solutions en temps réel. Certes, la démarche ne vaut pas forcément pour toutes les applications mais c'est un bon moyen de tester et de valider ses solutions d'optimisation avant d'investir dans des solveurs hors de prix.

Des intentions aux actes

Les problèmes d'optimisation industrielle sont habituellement difficiles à résoudre : souvent non linéaires, ils peuvent contenir des variables binaires. Il n'est pas rare que la performance des outils classiques, insuffisante, réclame des développements sur mesure. Ce type de programmation mathématique utilise des modèles d'optimisation minutieusement conçus et des stratégies de résolution intelligentes, souvent basées sur la décomposition du problème. Dans pareil cas, le noyau de l'optimisation (énoncé et mise en œuvre du problème) ne représente qu'au maximum 10 à 15 % des efforts. La compréhension du problème, le développement des idées, le dialogue avec les clients, les essais, la documentation, le marketing... absorbent le reste. La journée technique du GOR confirma cette opinion partagée par les intervenants (internes ou externes à ABB) qui ont exposé plusieurs solutions applicatives d'optimisation des performances industrielles : logistique des usines de gaz naturel liquéfié [3i], optimisation et ordonnancement des processus économiques

dans l'extraction minière [3j], optimisation des programmes de pompage dans les réseaux d'eau [3k], optimisation en ligne de la gestion énergétique des bâtiments [3l], ordonnancement des lots de production de semi-conducteurs [3m].

Dans la foulée, voyons trois solutions d'optimisation mathématique ABB très réussies, qui ont déjà fait l'objet de publications et animé les débats de cette journée technique du GOR.

Planification et optimisation de la production de cuivre

L'affinage du cuivre permettant de débarrasser le minerai de tous les autres éléments enchaîne plusieurs étapes durant lesquelles le matériau est transporté dans des poches de coulée par ponts roulants. Les grosses usines comptent plusieurs lignes d'affinage parallèles et synchronisées pour éviter à la fois les goulets d'étranglement et la surcharge. La complexité de cette logistique s'explique par le temps d'affinage, lui-même tributaire de la composition du minerai.

La productivité est ici dictée par l'ordonnancement des lots de production. ABB a pour cela développé une solution d'optimisation débouchant sur une planification optimale du procédé [1] [6]. Il fallait définir un programme qui maximise la production de l'usine, en calculant la quantité optimale de matières et le chronogramme détaillé de chaque lot tout en tenant compte de contraintes telles que la disponibilité des équipements à chaque étape

de l'affinage et la durée des différents traitements et opérations de maintenance. Ce problème d'optimisation fut résolu par programmation MILP, à l'aide du logiciel ILOG CPLEX qui permet de créer le programme de production et de définir la recette optimale de chaque lot. Objectif : minimiser le temps de fabrication total⁹⁾ tm de tous les produits p sur toutes les machines m , soit :

$$\min tm$$

fonction de

$$tm \geq tf_{pm} \quad \forall p, m$$

tf étant l'heure de fin de fabrication d'un produit p sur une machine m . Cette solution d'optimisation a démontré qu'il était possible d'accroître la production de l'usine de 20 000 tonnes de concentré de cuivre à l'année.

Efficacité énergétique des laminoirs à chaud

Dans un train de laminage à chaud, les brames d'acier sont chauffées à plusieurs centaines de °C pour être transformées en tôles minces. La vitesse de laminage est une importante variable de décision.

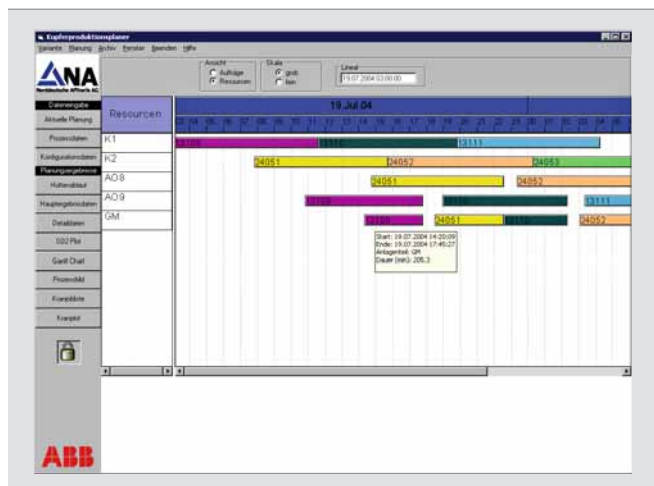
Minimiser la consommation énergétique est l'un des objectifs d'optimisation à la portée de l'opérateur, tout en respectant les limites supérieures et

Notes

⁸⁾ Pour en savoir plus, rendez-vous sur <http://www-neos.mcs.anl.gov/> (dernière consultation : décembre 2008).

⁹⁾ « Total » signifie jusqu'à l'achèvement du dernier produit sur la dernière machine.

6 Production optimisée du cuivre et diagramme de Gantt [1]



7 Solution d'optimisation des laminoirs à chaud [2]

Configuration et réglage de l'optimisation du laminage

Objectif

Minimisation de la PUISSANCE/ENERGIE totale de laminage ou
Maximisation de la VITESSE DE LAMINAGE ou
Minimisation des dérives par rapport à la puissance visée (REPARTITION DE CHARGE) ou
Minimisation des dérives par rapport à la largeur visée ou à la section visée (REMPLISSAGE DES CANNELURES)

Paramètres bornés

... < Ecartement des cylindres < ...
... < Vitesse des moteurs < ...
... < Traction entre passes < ...
... < Largeur < ...
... < Section < ...
... < Vitesse de laminage < ...
... < Température des billettes < ...

Variables

Ecartement des cylindres, vitesse des moteurs



inférieures de grandeurs et paramètres comme la largeur et la section des barres, la vitesse de laminage, la traction entre passes, l'écartement des cylindres et la vitesse des moteurs. Ce qui se résume à la question : quelle est la meilleure vitesse de laminage à chaud si le train est limité par la puissance et le couple moteur disponibles ?

Le logiciel ADMTM (*Adaptive Dimension Models*) d'adaptation dimensionnelle par modèles ABB exprime les solutions d'optimisation du procédé sous la forme d'un programme non linéaire¹⁰⁾ [2]. Son interface de dialogue s'attache non seulement à réduire au minimum la consommation énergétique mais aide aussi à arbitrer entre plusieurs objectifs d'optimisation tels que maximiser la vitesse de laminage et minimiser les dérives par rapport à la puissance, la largeur ou la section de laminage visées [7].

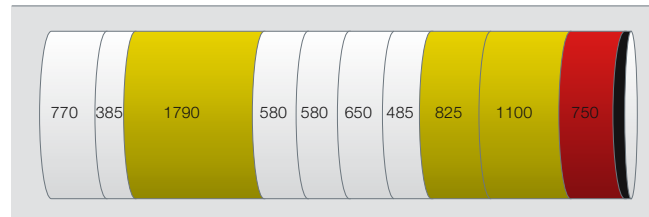
Le logiciel ADMTM d'adaptation dimensionnelle par modèles ABB exprime les solutions d'optimisation du procédé sous la forme d'un programme non linéaire.

Optimisation de la découpe de bobines de papier

Une machine à papier produit des bobines en feuille continue (« bobines mères ») de 10 m de large qui sont ensuite découpées en bobineaux (« bobines filles ») conformes aux commandes du client. La solution *Qtrim*¹¹⁾ d'ABB reprogramme le plan de découpe existant d'une bobine mère [3] afin de minimiser les résidus de coupe ou « chutes de laize » et d'optimiser les différents profils de qualité de la bobine. En clair, il faut découper au mieux les bobineaux aux dimensions du client tout en respectant ses critères et exigences de qualité. La solution réside dans la formule mathématique :

$$\max \sum_{r,j} c_{rj} : x_{d_{rj}}$$

8 Découpe optimisée d'une bobine mère (qualité A = blanc, B = jaune, C = rouge) [3]



avec indice r = bobineau et indice j = tranche de la bobine mère discrétisée (correspondant à une position sur cette bobine). Le coefficient de coût c_{rj} représente la valeur du bobineau r au point j . La variable binaire $x_{d_{rj}}$ indique si le bobineau r est affecté ($x_{d_{rj}} = 1$) ou non ($x_{d_{rj}} = 0$) à la tranche j .

On obtient en sortie un plan de découpe qui minimise les pertes résultant de la non-qualité, avec des perspectives de marges bénéficiaires accrues de 15 % [8].

Complexité et incertitude, ennemies de la performance

Il existe aujourd'hui de nombreuses solutions d'optimisation de la productivité des procédés continus. Pour autant, certaines questions, évoquées lors de notre journée d'étude, sont encore sans réponse. L'une d'elles est la complexité toujours croissante des problèmes rencontrés [3a]. Bien des problèmes résolus manuellement dans le passé doivent désormais être optimisés à l'aide des mathématiques. De même, il est possible de regrouper des problèmes distincts portant sur un même procédé : on optimise ainsi le procédé en jouant sur les deux tableaux de la production et de la consommation d'énergie. De plus en plus d'informations pouvant être mesurées, mémorisées et exploitées aux fins d'optimisation, le nombre de variables de décision et de contraintes explose. Sachant que cette complexité accrue plombe la performance du process, il faut résoudre ses problèmes en l'espace de quelques secondes ou minutes.

Autre question à débattre : intégrer et associer étroitement les logiciels d'optimisation aux technologies de l'information [3a] car ils doivent se nourrir des données d'autres systèmes

(contrôle-commande, planification de l'activité, logistique). Des travaux de normalisation et standardisation industrielles s'y emploient : l'ISA95, par exemple, décrit les règles d'interfaçage entre fonctions de planification et d'exécution.

Enfin, la majorité des solutions d'optimisation présume que les paramètres d'entrée sont corrects. Les décisions doivent donc être prises en s'appuyant sur des informations disponibles *avant* exécution de l'algorithme d'optimisation. Or, en production réelle, la valeur correcte des paramètres n'est souvent pas connue ! Résultat : la production d'un lot peut très bien prendre en moyenne 10 minutes, comme dans certains cas 8 et dans d'autres plus de 12. La levée de ces incertitudes est le défi majeur de ces solutions d'optimisation d'applications industrielles [3a]. C'est dans une symbiose des algorithmes évolutifs et des algorithmes classiques que réside le potentiel de résolution de ces problèmes.

Margret Bauer

Guido Sand

Iiro Harjunkoski

Alexander Horch

ABB Corporate Research

Ladenburg (Allemagne)

margret.bauer@de.abb.com

guido.sand@de.abb.com

iio.harjunkoski@de.abb.com

alexander.horch@de.abb.com

Notes

¹⁰⁾ Site ABB <http://www.abb.com/metals> Industries et utilités → Métal → Profile Mills [EN] → Profile Mill Products [EN] → ADM [EN]

¹¹⁾ Site ABB <http://www.abb.com/cpm> → Guide Produits Collaborative Product Management → CPM for the Pulp and Paper Industry → Quality Based Re-Trim Optimization [EN]

Bibliographie

- [1] Harjunkoski, I., Beykirch, G., Zuber, M., Weidemann, H. J. *L'âge du cuivre – Solution de planification et d'optimisation de la production du cuivre*, Revue ABB, 4/2005, p. 51–54
- [2] Daneryd, A., Olsson, M.G., Lindkvist, R. *ABB lamine les coûts énergétiques – Des modèles pour doper en ligne l'efficacité énergétique des laminoirs à chaud de produits longs*, Revue ABB, 2/2007, p. 49–52
- [3] Harjunkoski, I., Sjönevirta, S. *Coupe franche – Optimiser la découpe des bobines de papier pour gagner en rentabilité*, Revue ABB, 4/2006, p. 53–58

Touche finale

ABB innove dans la mesure d'épaisseur du papier avec un capteur optique sans laser aux performances très prometteuses

Anthony Byatt

L'industrie du papier rêve depuis longtemps d'un capteur d'épaisseur précis et fiable qui ne présente aucun risque de marquage ou de rupture de la feuille. Avec le nouveau capteur ABB, ce rêve devient réalité! Les papetiers peuvent désormais mesurer en continu un des paramètres clés de la qualité de toutes les sortes de papier. Sa précision, sa résolution et sa fiabilité laissent loin derrière tous les autres capteurs d'épaisseur optiques.

Parler de la planéité d'une feuille de papier est trompeur tant sa surface peut ressembler à la chaîne des Alpes vue à travers un microscope **1**! En laboratoire, on utilise un poids standard pour comprimer légèrement les crêtes et obtenir l'épaisseur résiduelle de la feuille. Cette mesure est un passage obligé pour la quasi-totalité des papetiers.

Dans la majorité des cas, la mesure d'épaisseur s'effectue en continu avec la feuille qui défile entre les deux éléments du capteur. Cette mesure applique le principe de la distance magnétique.

Parler de la planéité d'une feuille de papier est trompeur tant sa surface peut ressembler à la chaîne des Alpes vue au travers un microscope.

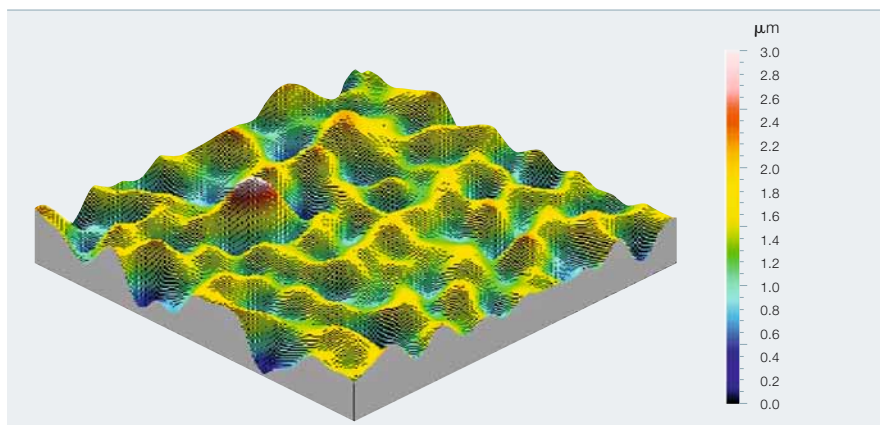
Actuellement, le capteur d'épaisseur le plus perfectionné d'ABB (modèle «GT») utilise ce principe simple, même si des années d'un travail de fourmi ont été nécessaires pour perfectionner les matériaux et minimiser le contact. Sa résolution est inférieure au micron sur une laize de 10 m qui défile à 120 km/h! Ce capteur ABB double contact, installé sur plus de 1000 machines à papier, est devenu une référence dans l'industrie papetière.

Les papetiers peuvent désormais mesurer en continu un des paramètres clés de la qualité de toutes les sortes de papier.

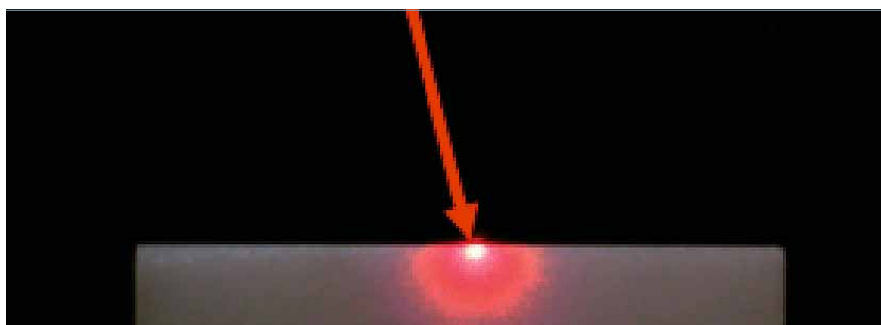
En contact direct

Or la mesure par contact soulève des problèmes de qualité : le papier couché peut être strié ; des impuretés sur le papier recyclé ou des défauts de couchage peuvent dégrader la surface du capteur, faussant la mesure ; des surépaisseurs dans le papier peuvent endommager, voire détruire, le capteur ou déchirer la feuille de papier.

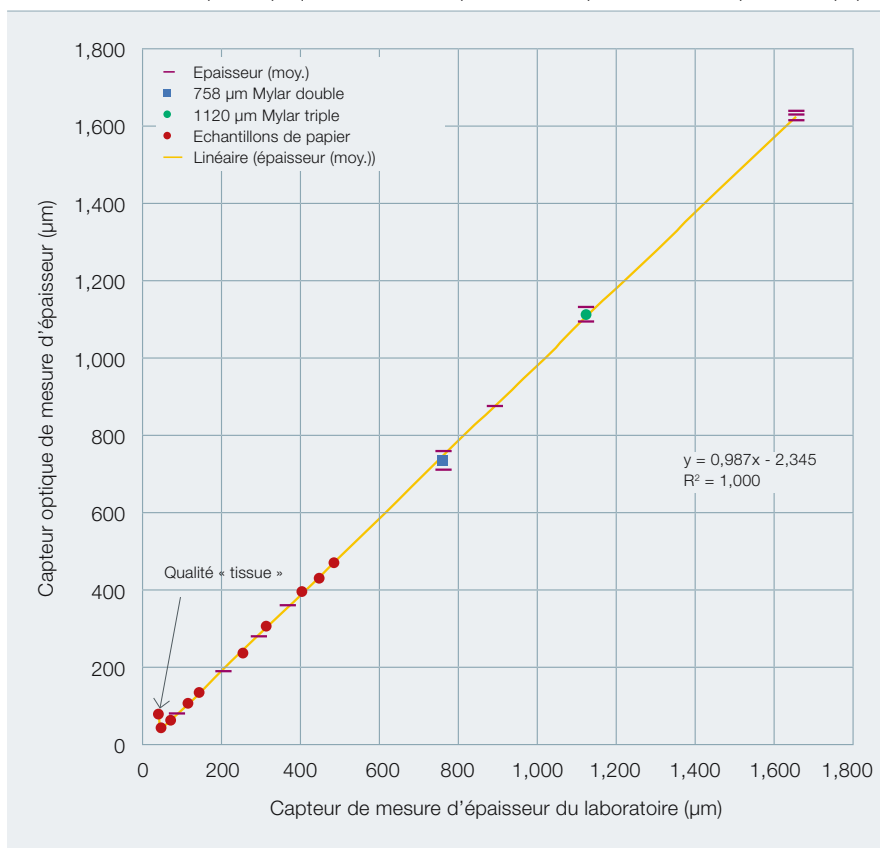
1 A l'échelle du micron, la surface d'une feuille de papier ressemble à la chaîne des Alpes!



2 Illustration de l'effet de rougeolement (*glow ball effect*) de la pénétration du rayon laser dans la surface du papier



3 Performance du capteur optique de mesure d'épaisseur ABB pour différentes qualités de papier



Solutions de productivité

Bien évidemment, la plupart du temps, ces problèmes n'existent pas et le capteur fonctionne correctement pendant des années. Dans le cas contraire, l'industriel perd sérieusement le contrôle de son procédé.

Avec son nouveau capteur optique, ABB révolutionne la mesure d'épaisseur en ligne.

La taille du capteur optique n'est que de 12 microns !

Pas touche !

L'idée de mesurer l'épaisseur du papier sans contact ne date pas d'hier. En effet, dès 1970, ABB fit œuvre de pionnier avec ses techniques de mesure à l'air. Les capteurs à triangulation laser offraient également une piste prometteuse, mais sont en proie à des mesures très erronées du fait de l'instabilité de la feuille qui défile à vive allure, de l'inclinaison d'une feuille non plane, de défauts d'alignement des capteurs, de l'état de surface, sans oublier la pénétration du rayon laser dans le corps du papier semi-transparent (effet de rougeoiement ou *glow ball effect*) [2]. Ces problèmes expliquent le peu de succès commercial rencontré par les capteurs à triangulation laser. Tout ceci incita ABB à s'intéresser au potentiel offert par des technologies utilisées dans d'autres secteurs industriels. Parmi celles-ci, la

mesure optique confocale retint plus particulièrement son attention.

Marché demandeur

Une première étude démontra que cette technique fonctionnait bien. Qui plus est, des dispositifs optiques déjà commercialisés pouvaient former l'élément principal du capteur. Le capteur optique sans laser avait franchi le cap des essais en laboratoire [3]; restait l'épineuse question de sa tenue en environnement industriel où il devait composer avec de fortes contraintes, notamment des vibrations haute fréquence (HF) nettement en dehors de sa résolution.

La mesure optique fournissait de plus infimes détails sur la variabilité de la machine [4]. La taille d'un élément du capteur à contact va de 1 à 2 cm alors que celle du capteur optique n'est que de 12 microns !

La précision, la résolution et la fiabilité du capteur ABB laissent loin derrière tous les autres capteurs d'épaisseur optiques.

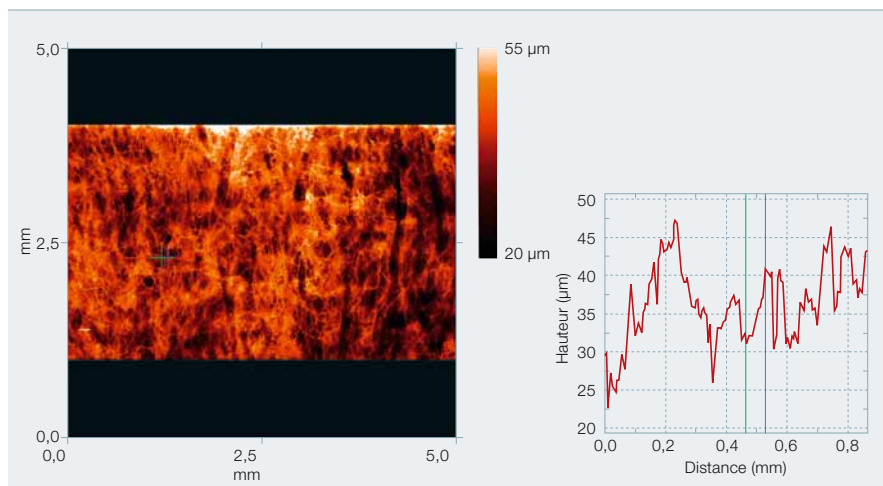
Du prototype au produit

Beaucoup restait à faire avant d'optimiser et de fabriquer en série le capteur. Le vieil adage « 5 % d'inspiration, 95 % de transpiration » se confirmait. En effet, comment conserver l'excep-

tionnelle résolution (± 1 micron) d'un capteur destiné à être monté sur un cadre d'acier qui sera soumis à d'importantes variations de température (valeur ambiante à 80 °C) avec tous les problèmes connexes de dilatation thermique !

Le produit a été lancé en mars de cette année au cours du salon ABB *Automation and Power World 2009* qui s'est tenu à Orlando en Floride. Nous reviendrons plus en détail sur ce nouveau capteur dans un prochain numéro de la *Revue ABB*.

[4] Profils haute résolution de la surface d'un papier standard (80 g/m²) mesuré par la technologie optique



Anthony Byatt

Centre d'excellence
ABB Pulp and Paper QCS
Dundalk (Irlande)
anthony.byatt@ie.abb.com

Robots écolos

Les procédés robotisés sont une source d'économies pour les industriels de la plasturgie

Anna Liberg, Malin Rosqvist, Alexander Farnsworth



Ecologie rime avec économie : voilà au moins un point sur lequel les pouvoirs publics, les entreprises et les consommateurs s'accordent. Protéger la nature n'est plus la lubie d'une poignée d'écolos, mais est devenu un réel enjeu de société. Les industriels, y compris les plasturgistes, ont pris conscience qu'en diminuant l'impact de leurs activités sur l'environnement, ils réduiraient leur facture énergétique, élément clé de leur écopformance. En réalité, la recherche d'efficacité énergétique est devenue une priorité majeure des entreprises. En plasturgie, les robots sont des leviers d'efficacité énergétique car, par leur précision et leur flexibilité, ils rationalisent et fiabilisent les procédés.

Solutions de productivité

L'efficacité énergétique joue un rôle de première importance dans la performance industrielle d'une entreprise. Gérer efficacement l'énergie est de la responsabilité de chaque personne et de chaque service. Progresser dans ce domaine suppose de fixer des objectifs qualitatifs et quantitatifs, et de mesurer les consommations. Pour améliorer l'efficacité de leurs procédés, les industriels doivent réfléchir non plus en termes de coûts d'acquisition, mais de coût global.

Cantex Inc. a dopé sa production de 30 % en pilotant les moteurs des vis de trois machines d'extrusion par des variateurs ABB de 75 kW, 90 kW et 110 kW.

« La plupart des usines de transformation des matières plastiques peuvent réduire leur facture d'énergie de 10 à 30 % par des actions à coût nul ou minimal et par des investissements, » explique Santiago Archila, responsable de la planification de la production chez le Canadien Husky Injection Molding Systems. Sa mission : renforcer l'écocoefficiencé de l'usine et tra-

quer les gisements de productivité des machines, un domaine où les économies potentielles sont énormes. En organisant la production plus intelligemment, on peut réduire le nombre de machines et, du coup, les dépenses d'énergie.

Les constructeurs de presses d'injection s'intéressent également de près au procédé complet pour améliorer l'efficacité énergétique de leurs produits. La presse, les moules et les périphériques forment un tout ; une configuration bien choisie et correctement installée sera moins vorace en énergie et matière, avec un taux de rebut en baisse. En optimisant les procédés, en limitant les arrêts machines et en raccourcissant les délais de réglage, de chauffage des moules et de démarrage, les temps improductifs énergivores peuvent être minimisés. Si la maintenance des moules et des machines reste primordiale, des solutions d'automatisation performantes donnent également des résultats spectaculaires.

Consommer moins d'énergie par pièce produite

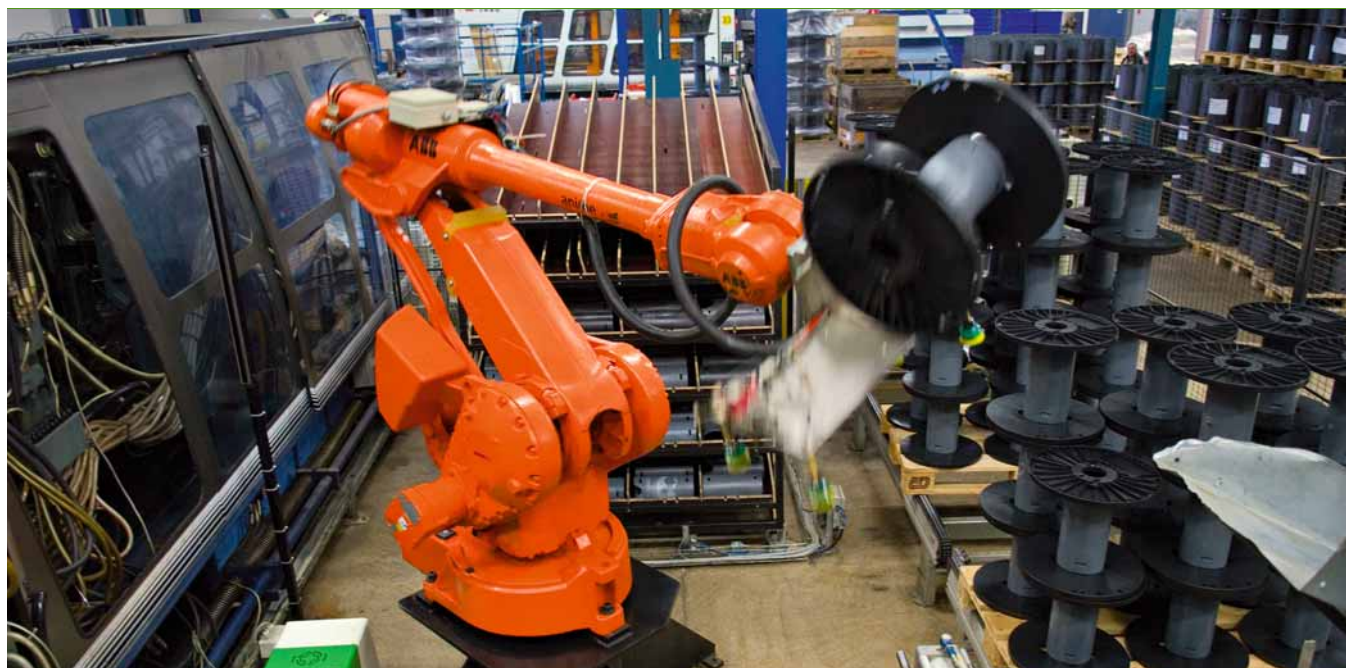
L'industrie de la plasturgie est confrontée à un certain nombre de défis, à commencer par le remplacement progressif des presses hydrauliques

par des presses électriques. Une étude du Suédois Materialdepån, fournisseur d'équipements et de matières plastiques, a comparé la consommation énergétique sur un an de deux machines de 160 tonnes, l'une hydraulique et l'autre électrique. Pour la même durée de fonctionnement, les coûts d'exploitation de la presse électrique étaient inférieurs de 7 000 dollars du fait de la moindre consommation électrique (7 kWh au lieu de 16 kWh).

Autre tendance forte dans la plasturgie : la réduction des rebuts qui, rappelons-le, est un des avantages majeurs des cellules robotisées.

TOYO, constructeur japonais de presses d'injection, annonce à ses utilisateurs une baisse de 30 à 70 % de la facture énergétique avec les machines électriques. Les économies peuvent atteindre 4 600 dollars/an par rapport à une presse hydraulique de 80 tonnes pour le même nombre d'heures de fonctionnement (coût des lubrifiants inclus). La presse hydraulique consomme 5,65 kWh contre 1,85 kWh pour l'électrique. Dans le cas d'une

1 Robot IRB 4400 réalisant l'extraction des pièces moulées d'une presse d'injection et l'assemblage des bobines de plastique chez Axjo en Suède.
[Photo : Alexander Farnsworth]



ligne avec plusieurs presses, les économies sont loin d'être négligeables.

Ces chiffres mettent en relief l'attrait croissant de la motorisation électrique dans ce secteur industriel. Ainsi, Cantex Inc., important fabricant américain de tubes en PVC (polychlorure de vinyle) a remplacé les variateurs à courant continu (c.c.) de 3 de ses 18 lignes d'extrusion par des variateurs de fréquence *ABB industrial drive*. L'entreprise a dopé sa production de 30% en pilotant les moteurs des vis de trois machines d'extrusion par des variateurs ABB de 75 kW, 90 kW et 110 kW.

Le système *Machine Sync* d'ABB réduit la consommation d'énergie et accélère les cadences de production en coordonnant mieux le robot et la presse.

Réduire le taux de rebut

Autre tendance forte dans la plasturgie : la réduction des rebuts qui, rappelons-le, est un des avantages majeurs des cellules robotisées. Inter-

national Auto Components (IAC), équipementier de rang 1¹⁾ pour l'industrie automobile, a réussi à réduire ses rebuts en robotisant sa production. Avant d'installer la dernière génération de cellule automatisée au sein de son usine de Skara, le Suédois affichait des pertes de produits (expédiés aux clients) de 150 pièces par million. Après installation des robots, ce chiffre est tombé à 50 pièces par million, un avantage décisif sur ce marché très concurrentiel. Tout gain de qualité se traduit par moins de rebuts et, par voie de conséquence, moins de pertes matière.

« Pour affronter la concurrence mondiale à partir d'un pays aux coûts élevés comme la Suède, nous devons être le plus efficaces possible. Ces robots sont la clé de notre efficacité, de la qualité et de la fiabilité de nos produits. Dans notre secteur d'activité, ils sont un must, » affirme Steve Hammond, directeur de l'usine IAC de Skara.

Autre démonstration des gains de productivité réalisables avec les robots industriels : le Singapourien First Engineering fabrique des moules et des pièces plastiques de très haute précision pour des produits high-tech

comme les lecteurs de disque dur et les périphériques de micro-informatique. Depuis que l'industriel exploite un robot 6 axes d'ABB, sa production est passée de 170 000 à quelque 300 000 pièces par mois, soit un gain de 75%. Les pièces sont de meilleure qualité, les coûts de main d'œuvre ont baissé et l'entreprise utilise l'énergie plus efficacement.

Simuler les tâches et trajectoires d'un robot avec l'outil logiciel RobotStudio d'ABB avant de l'insérer sur la ligne de production est un exemple de fabrication au plus juste.

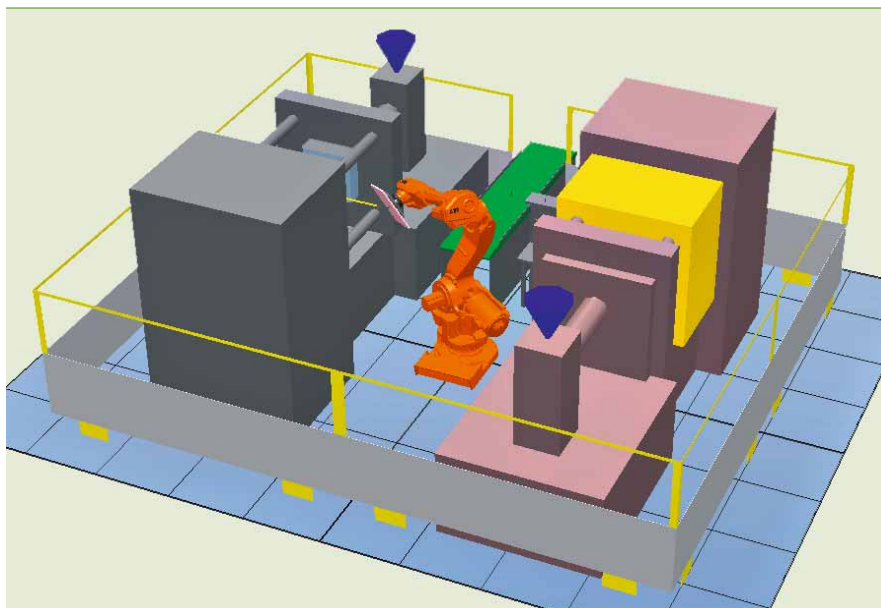
Optimiser les temps de cycle

Il existe, bien évidemment, d'autres moyens d'alléger la facture énergétique des procédés industriels. Citons le système *Machine Sync* d'ABB qui réduit la consommation d'énergie et accélère les cadences de production en coordonnant mieux le robot avec l'ouverture et la fermeture de la presse pour l'extraction des pièces

2 Chez IAC à Tidaholm (Suède), deux robots IRB 2400 découpent au jet d'eau des pièces automobiles. [Photo : Pontus Johansson]



3 L'outil logiciel RobotStudio d'ABB permet à l'ingénieur d'appliquer de préprogrammer sur ordinateur les mouvements du robot dans un environnement virtuel 3D.



Note

¹⁾ Sous-traitant de secteurs industriels spécifiques (dans ce cas précis, des constructeurs automobiles)

Solutions de productivité

Encadré Analyse du cycle de vie

En plasturgie, une démarche d'efficacité énergétique englobe un certain nombre d'actions destinées à réduire les consommations d'énergie et de matières premières (peintures, produits de revêtement et d'étanchéité, liants), à limiter les rebuts et à améliorer la productivité en minimisant les temps de cycle. Elle suppose une analyse du cycle de vie (ACV) des pièces plastiques depuis la réception des matières premières jusqu'au recyclage.

La peinture en bonne intelligence

L'entreprise australienne D&M est spécialisée dans la peinture de petites pièces automobiles. Trois robots IRB 5400 qui travaillent 12 heures par jour ont non seulement dopé la productivité de 80 %, mais également réduit la consommation de peinture de quelque 35 % grâce au système ABB Robobel 951, développé spécifiquement pour réduire les pertes.

Fiskars est une autre entreprise qui bénéficie des nombreux avantages de la pulvérisation robotisée. Cette société finlandaise fabrique, en autres, des haches high-tech dont la lame est revêtue de Teflon pour l'alléger et faciliter son utilisation. La précision du robot IRB 540 qui pulvérise le Teflon est telle qu'il utilise 30 % de produit en moins que la solution précédente. Il contribue non seulement à renforcer la sécurité du personnel, mais également à réduire l'impact du procédé sur l'environnement.

Solutions efficaces de conditionnement

L'offre ABB comprend plusieurs robots pour les applications de prise/dépose à la volée, de conditionnement et de palettisation, très fréquentes dans l'industrie agroalimentaire. Le FlexPicker est un robot particulièrement intéressant car il aide ce secteur industriel à réduire considérablement les rebuts et les surconsommations de matière et d'énergie, et à accroître la productivité.

Le producteur allemand de bretzels, Roland Murten AG, a fait passer son taux de rebut de 15 à 2,3 % réduisant, dans la foulée, la consommation énergétique de sa principale ligne de production (-12 %, soit une économie annuelle de 17 000 dollars). Walter Fuchs, responsable de la production, précise qu'il « *ne faut pas uniquement tenir compte des coûts à l'achat. La réduction des coûts de fonctionnement doit également être incluse et, dans notre cas, nous avons fortement réduit nos dépenses de main d'œuvre et d'énergie, ainsi que les pertes* ». Les robots sont des outils d'écocoefficiency et, à ce titre, participent pleinement à une démarche de réduction de l'empreinte écologique et de développement durable d'un industriel. Ben Miyares, vice-président des relations avec l'industrie de l'institut PMMI (*Packaging Machinery Manufacturers Institute*) et principal intervenant au 2007 ABB *Global Packaging Forum*, a insisté sur le fait qu'il fallait arrêter de penser qu'un robot est un gros investissement, mais plutôt réfléchir en termes de coût global.

moulées. Les temps de cycle sont plus courts et le nombre de pièces produites est en hausse. Autre avantage de cette synchronisation : les robots s'usent moins vite et on évite les collisions. Dans une configuration type avec un robot IRB 6650 en montage incliné et une presse de 3 000 tonnes de moulage de pièces automobiles standards, les temps d'extraction ont été réduits de 10 % par une meilleure synchronisation des deux machines. Pour un équipement fonctionnant jour et nuit toute l'année, avec un temps de démoulage de 10 secondes et un temps de cycle complet de 30 secondes, 35 000 pièces supplémentaires peuvent être produites.

Alléger les pièces

Autre défi pour les constructeurs automobiles et leurs équipementiers : alléger les voitures pour réduire leur consommation. Il s'agit de remplacer des pièces principalement en acier et aluminium par des pièces plus légères en magnésium et plastiques composites.

De nouvelles techniques sont à l'étude pour fabriquer des pièces qui associent matériaux composites et fibres de verre, textiles et métaux pour obtenir des propriétés comparables à celles des métaux en termes de rigidité, de résistance aux chocs et de vieillissement. Fabriquer ces pièces nécessite de déposer des inserts dans ces matériaux et de manipuler les pièces entre différents procédés d'emboutissage et de moulage.

Seuls des robots 6 axes sont capables de réaliser ces opérations car les pièces doivent être positionnées avec une extrême précision tout au long du procédé. Par conséquent, ce type de robot joue un rôle important dans le développement d'écoproduits de haute technicité.

Fabriquer au plus juste

Les techniques de découpe au laser, au jet d'eau ou mécanique sont utilisées pour nettoyer, ébavurer²⁾, percer et parachever des pièces moulées, thermoformées ou expansées que l'on retrouve dans nos voitures (ex., moquette intérieure, pare-chocs, airbags). Elles sont également utilisées dans la fabrication des produits

Pièces automobiles peintes par des robots ABB chez D&M (Melbourne, Australie).



blancs³⁾ et des pièces de grandes dimensions comme les chaises, casiers, etc. Pour arriver aux bons résultats, on procède souvent par tâtonnements successifs, au prix de nombreuses pièces perdues et d'énergie consommée inutilement; or ces opérations peuvent aujourd'hui être simulées par des outils informatiques pointus.

Simuler les tâches et trajectoires d'un robot avant de l'insérer sur la ligne de production est un exemple de fabrication au plus juste. L'outil logiciel RobotStudio d'ABB permet à l'ingénieur d'application de programmer les mouvements du robot hors ligne sur son ordinateur dans un environnement virtuel 3D, de peaufiner toutes les opérations et de charger ensuite le programme directement dans le robot. L'empirisme appartient au passé et l'industriel économise à la fois de la matière et de l'énergie.

L'entreprise suédoise ABB Kabeldon a créé une ligne d'assemblage de plusieurs variantes de sectionneurs-interrupteurs à fusibles. L'intégrateur de systèmes AVT-Specma a utilisé RobotStudio pour simuler le procédé complexe, ce qui a permis non seulement de réduire considérablement la quantité d'énergie et de matière consommée, mais également de faire gagner beaucoup de temps à la fois à l'intégrateur et au client. Tous les essais furent réalisés dans un environ-

nement virtuel avant de charger le programme dans le système de commande des robots.

Réduire les consommations de matière

Le traitement de finition des pièces moulées de toutes formes et de toutes tailles intervient dans l'atelier de peinture où d'importants gisements d'économie d'énergie et de matière ont été identifiés. L'application de peinture est un procédé industriel difficile où ABB a acquis une solide expérience. Sa robotisation permet d'optimiser le procédé complet et de minimiser les quantités de peinture utilisées. ABB a développé un système ultramoderne qui combine recirculation d'air, récupération des solvants et réduction des consommations énergétiques des cabines de peinture qui respecte en tous points la réglementation antipollution. Cette solution diminue la quantité d'air frais utilisé et, donc, l'énergie consommée, par un facteur de 10. Ces systèmes robotisés réduisent jusqu'à 30% les besoins de peinture par rapport à la pulvérisation manuelle [1].

C'est notamment le cas du nouveau pulvérisateur non électrostatique Robobel021-MINI. Il s'agit d'un équipement compact et léger pour les petites applications industrielles robotisées de peinture de pièces plastiques de faibles dimensions. Grâce à un débit de pulvérisation multiplié par 2, on utilise deux fois moins de pulvéri-

sateurs et de robots de peinture. La cabine de peinture occupe donc deux fois moins de place et le cycle de peinture est réduit de moitié avec, à la clé, des économies d'énergie et de peinture, et moins d'émissions de CO₂. Ces techniques et produits innovants aident les clients à atteindre, voire dépasser, leurs objectifs tout en réduisant l'impact de leurs activités sur l'environnement.

La chasse au gaspi

Quelle que soit l'application (moulage par injection, soufflage ou extrusion en amont, découpe et peinture en aval), l'automatisation robotisée est un vecteur d'amélioration de l'efficacité énergétique. A chaque étape de la fabrication d'une pièce plastique, les bénéfices pour l'industriel sont importants : temps de cycle optimisés, consommation de matières premières et taux de rebut en baisse, pièces plus légères.

Les robots ont décidément une âme d'écolo !

Anna Liberg

Malin Rosqvist

ABB Robotics

Västerås (Suède)

anna.liberg@se.abb.com

malin.rosqvist@se.abb.com

Alexander Farnsworth

Rédacteur indépendant

Stockholm (Suède)

Notes

²⁾ Enlever les traces et saillies d'une pièce moulée ou usinée.

³⁾ Terme générique désignant les gros appareils électroménagers.

Bibliographie

[1] Mills, P. *Applying robotics to your paint line*, Product Finishing Magazine, juillet 2006

Lectures complémentaires

Bredin, C. *Plastics made perfect*, ABB Review Special Report Robotics, p. 46-49, 2005

Qi, L., Yin, X., Wang, H., Tao, L. *Virtual engineering I*, ABB Review Special Report Dancing with the Dragon, p. 86-89, 2008

Zhang, D., Qi, L. *Virtual engineering II*, ABB Review Special Report Dancing with the Dragon, p. 90-92, 2008

Un robot IRB 6650 extrait des cuillères d'une presse à injection chez l'industriel belge deSter.



Les robots prennent la clé des champs

Des gisements de sécurité et de productivité pour l'industrie du pétrole et du gaz
Charlotte Skourup, John Pretlove

Presque tous les secteurs d'activité cherchent à automatiser leurs procédés pour être plus productifs et plus efficaces. Les robots industriels, automatismes par excellence, sont conçus pour décharger l'homme de tâches répétitives, lourdes, pénibles ou dangereuses. Or l'industrie du pétrole et du gaz utilisait jusqu'à présent des robots pour des opérations très spéciales où la sécurité primait. Mais les choses évoluent. En effet, les entreprises du secteur commencent à élargir les domaines d'application des robots pour également gagner en productivité et efficacité. Une de ces applications vise la téléconduite des gisements d'hydrocarbures, au premier chef ceux situés en environnements dangereux ou zones isolées. Leader de la robotique industrielle, ABB travaille à développer les futurs opérateurs robotisés des champs pétroliers et gaziers.



Un robot orange évolue sur une plate-forme, vérifiant le fonctionnement de différents équipements et remplaçant une soupape de sécurité. Deux autres robots travaillent à proximité. Tous les trois sont supervisés par un opérateur, confortablement installé dans un centre de conduite à plusieurs centaines de km, qui a sélectionné et déclenché des tâches à effectuer au vu d'un rapport de maintenance conditionnelle établi par le système d'automatisation. Responsable de la sécurité, l'opérateur commande à ce système de reporter certaines tâches car il a inspecté l'équipement dans le détail avec la caméra 3D montée sur un des robots et identifié d'autres composants à démonter et remplacer.

Même si cette scène semble futuriste, elle n'est pas si éloignée de la réalité. En effet, certaines opérations dans l'espace et au fond des océans sont déjà exécutées par des robots télécommandés plutôt que par l'homme. Pourquoi alors ne pas utiliser des robots sur ces plates-formes pétrolières et gazières pour améliorer la productivité et la sécurité tout en réduisant les risques pour la santé et l'environnement?

Fréquemment, l'industrie manufacturière utilise les robots pour exécuter des tâches répétitives, lourdes, pénibles ou dangereuses pour l'homme.

Défis technologiques, économiques et humains

L'industrie du pétrole et du gaz doit relever un certain nombre de défis techniques et économiques. La consommation mondiale d'énergie progressant, la demande en pétrole et gaz reste forte malgré le développement d'autres sources énergétiques.

Or les champs existants et les nouveaux gisements deviennent plus difficiles et plus coûteux à exploiter. La plupart des gisements faciles d'accès sont déjà en exploitation, laissant les réserves les plus éloignées et les plus complexes à explorer. De plus, le personnel expérimenté approche rapidement de l'âge de la retraite au moment même où leur expérience sera la plus utile pour exploiter ces réserves. La demande devant continuer à croître, une forte pression s'exerce sur la réduction des coûts et sur l'amélioration du rendement énergétique. Tous ces défis sont le signe annonciateur d'une hausse des investissements dans des solutions et stratégies innovantes pour optimiser l'exploitation de l'existant et développer de nouveaux champs d'hydrocarbures. Pour y faire face, les industriels sont disposés à investir dans des technologies, procédures et compétences nouvelles.

Pour renforcer l'efficacité et la sécurité de leurs procédés, les industriels font appel à des experts dans des domaines pointus. Souvent, cette collaboration se fait à distance (ex., entre le

personnel d'un centre de conduite et un spécialiste ou un opérateur sur site) ¹. C'est ainsi que le Norvégien StatoilHydro a développé le concept « d'intégration des opérations¹⁾ » (encore appelé *eField*, *iField*, *SmartField*, etc.) pour relever les nombreux défis auxquels la filière est confrontée. Il s'agit de développer des technologies, des pratiques et des compétences pour atteindre les objectifs fixés.

Robotique industrielle

Les robots industriels se sont largement imposés dans de nombreux secteurs, tout particulièrement en production manufacturière où ils sont synonymes d'efficacité et de productivité. La plupart du temps, l'industrie manufacturière les utilise pour exécuter des tâches répétitives, lourdes, pénibles ou dangereuses pour l'homme. Qui plus est, ces tâches exigent une fiabilité et une précision très élevées pour lesquelles les robots industriels sont précisément conçus.

L'industrie automobile a joué un rôle clé dans l'essor de la robotique industrielle, lui permettant d'accroître la productivité, la flexibilité, la fiabilité

1 Salle de collaboration ABB-Shell : exemple de centre de conduite intégré



Note

¹⁾ Par intégration des opérations, StatoilHydro entend une collaboration pluridisciplinaire et interentreprise, transversale et transfrontalière, favorisée par le temps réel et de nouvelles procédures visant à sécuriser, optimiser et accélérer les processus décisionnels. Afin d'identifier les méthodes, modes opératoires et technologies nécessaires à cette intégration, StatoilHydro a désigné un consortium de R&D regroupant ABB, IBM, SKF et Aker Solutions. Un des 7 sous-projets de TAIL IO est axé sur la technologie robotique afin de compléter et élargir les capacités humaines d'intervention et de contrôle dans les installations de surface en mer et les installations à terre. Il s'agit de développer des solutions de pointe associant télérobotique et visualisation avancée pour faciliter l'inspection à distance et la télémaintenance, de même qu'identifier et combler des failles technologiques.

Solutions de productivité

et la qualité des produits à moindre coût. Sur les lignes de production, les robots ont remplacé les ouvriers et les ateliers robotisés sont le plus souvent totalement automatisés, tournant 24 h/24 et 7 j/7. Les applications vont de la découpe, de l'assemblage et du soudage de tôles à la peinture, au traitement de surface et à la maintenance de pièces ². Les robots sont en général conçus pour une application spécifique voire, dans certains cas, pour une seule et même tâche comme ouvrir et fermer les portes d'une voiture.

Lors de la robotisation d'un site manufacturier, il est nettement plus avantageux de modifier les procédés de A à Z que d'automatiser des tâches ici ou là.

Accroître le degré d'automatisation implique de modifier à la fois la technologie, les processus et l'organisation du travail. Même si les systèmes robotisés effectuent des travaux fastidieux, ils peuvent rarement se passer d'intervention humaine. En effet, les opérateurs restent indispensables pour surveiller et piloter leur fonctionnement et, à ce titre, ils font partie intégrante de la chaîne d'automatisation et assument la responsabilité en bout de chaîne du travail des robots. Bien évidemment, une automatisation accrue suppose une redéfinition des postes de travail, appelant de nouvelles compétences en planification, pro-

grammation et maintenance pour maintenir la productivité. Un préalable indispensable à la réussite d'un projet d'automatisation manufacturière est la préparation et la conduite du changement avec une nouvelle description des postes, des fonctions et des responsabilités.

Accroître le degré d'automatisation implique de modifier à la fois la technologie, les processus et l'organisation du travail.

Robots pour champs pétroliers et gaziers

L'industrie du pétrole et du gaz a, jusqu'à présent, utilisé de manière limitée les robots, se contentant d'automatiser des opérations qui sont difficiles ou impossibles pour l'homme, ou encore qui posent des problèmes pour la santé, la sécurité ou l'environnement. A titre d'exemple, citons l'inspection des équipements sous-marins et des conduites d'hydrocarbures, l'automatisation des opérations de forage et de tractage des puits et des contrôles spéciaux d'inspection. Très souvent, cette automatisation a entraîné des baisses de productivité allant à l'encontre de l'objectif initial de la robotique. Aujourd'hui, les choses évoluent, le secteur commençant à percevoir les robots comme un moyen d'accroître l'efficacité et la productivité,

et de résoudre des problèmes de santé, de sécurité et d'environnement. En effet, les opérations d'extraction du pétrole et du gaz sont généralement dangereuses et risquées. Les installations *offshore* opèrent dans des mers difficiles aux conditions climatiques extrêmes. De plus, l'atmosphère peut, par exemple, contenir de fortes concentrations de gaz toxiques comme l'hydrogène sulfuré (H₂S). Le recours aux robots permettrait de réduire les risques pour l'homme. Conçus et fabriqués pour fonctionner non-stop, ils peuvent exécuter des tâches très diverses. La hausse de la demande en énergie et la difficulté croissante d'extraire économiquement le pétrole et le gaz vont obliger les industriels à revoir leur stratégie et leur mode de pensée, en particulier s'ils veulent améliorer la production des champs arrivant en fin de vie et exploiter les gisements marginaux et plus petits.

Les opérateurs pétroliers et gaziers peuvent faire appel aux robots, d'une part, pour des tâches qui exigent des machines spéciales et, d'autre part, pour des applications où les robots industriels tels qu'ils existent peuvent être utilisés. La poursuite du développement de l'*offshore* profond est largement tributaire des véhicules sous-marins ROV (*Remotely Operated Vehicles*), réservés aux tâches

² Robot ABB de peinture dans l'industrie automobile



³ Robot ABB inspectant un équipement



d'exploration et d'inspection et aux interventions sur les structures de production. Ce domaine d'application est particulier à ce secteur et exige de concevoir des robots totalement nouveaux.

Dans l'industrie du pétrole et du gaz, les robots effectueront des tâches d'inspection et d'exploitation destinées à maintenir les équipements en bon état de marche.

D'autres opérations s'apparentent davantage aux applications manufacturières où les robots exécutent inlassablement les mêmes tâches avec des avantages prouvés. Pour autant, l'industrie du pétrole et du gaz affiche des différences marquantes avec le manufacturier classique. Les robots y effectueront des tâches d'inspection et d'exploitation destinées à maintenir les équipements en bon état de marche ³. Ils exécuteront donc plusieurs tâches différentes, dont certaines imprévues. De plus, les installations offshore de surface²⁾ où l'espace est restreint, devront être modifiées pour que les robots puissent se mouvoir sans entrave et accéder aux différents équipements. La conception de ces installations de surface automatisées doit s'appuyer sur la génération existante de robots industriels, avec des modifications mineures pour résister aux environnements contraignants ; une véritable mutation pour le secteur du pétrole et du gaz.

Télérobotique

Robotiser les plates-formes pétrolières et gazières pose de multiples problèmes à la fois techniques et organisationnels, y compris pour le personnel. Même si la robotique a fait ses preuves dans d'autres secteurs industriels, elle doit être adaptée à des besoins et contraintes spécifiques : environnements difficiles, sites isolés ⁴ et intégration des systèmes, supposant l'accès total aux données collectées.

Par conséquent, on ne demandera plus au robot de répéter inlassablement les mêmes tâches, mais plutôt d'exécuter, à la demande et à la perfection, différentes opérations. Il devra fonctionner selon plusieurs modes, allant du tout-automatique, sans aucune intervention humaine, au tout-manuel respectant à la lettre les ordres d'un opérateur, en passant par un certain nombre de tâches effectuées en mode semi-automatique où l'homme intervient à différents degrés. Il s'agit donc d'une rupture avec les applications classiques de la robotique industrielle en ce sens que l'homme, en tant que décideur, s'intègre dans la chaîne d'automatisation pour collaborer avec les robots et le système de contrôle-commande. Ainsi, si l'automatisation robotisée veut réussir dans l'industrie du pétrole et du gaz, elle se doit d'intégrer de manière transparente l'homme, la technologie et l'organisation, à l'image de tous les systèmes homme-machine.

Les contraintes des installations pétrolières et gazières font que les robots

devront être antidéflagrants et résister aux fortes sollicitations climatiques. Ceux installés en mer devront endurer des températures et des vents extrêmes, l'eau salée, la neige et le givre, alors que ceux à terre devront supporter les tempêtes de sable, les rayons du soleil, la pluie et l'humidité, les températures extrêmes de même que différents gaz toxiques comme le H₂S. On est loin du cahier des charges pour un fonctionnement fiable des robots au sein des usines !

Pour porter ses fruits, un projet d'automatisation doit se plier aux particularités du site. Il est beaucoup plus difficile d'automatiser des tâches au sein de l'existant que sur du neuf construit tout spécialement. Les sites existants ne sont pas agencés pour accueillir des robots industriels standard, surtout les installations offshore de surface qui sont généralement compactes et où il est même difficile pour l'homme d'y travailler. Les modifier représente de lourdes dépenses et offre des possibilités limitées. Il est souvent plus efficace de concevoir

⁴ Plate-forme offshore gazière Troll A de StatoilHydro en mer du Nord



Note

²⁾ Parties non immergées d'installations pétrolières ou gazières (ou de navires).

Solutions de productivité

des installations neuves ou de modifier en profondeur les procédés existants en regroupant les tâches et en tenant compte des besoins d'évolutivité du site. Cette flexibilité est la clé des gains de productivité et de la réduction des coûts.

La téléprésence permet à l'opérateur humain de conserver sa place dans la chaîne d'automatisation et ainsi utiliser ses compétences cognitives pour compléter la puissance des télérobots.

Si la robotisation d'une tâche, d'une application ou d'une installation est avantageuse sur le plan de la sécurité et de la productivité, elle pose des difficultés supplémentaires en matière de maintenance et d'exploitation. Les robots industriels sont, certes, conçus pour remplacer l'homme, mais ils restent des machines qui doivent être supervisées et commandées. Le robot lui-même et son mode de fonctionnement doivent être transparents à l'opérateur humain. Ce dernier a pour mission de commander le robot, via le système d'automatisation, au vu des besoins de surveillance, d'inspection et de maintenance des équipements productifs. Les données d'état de ces équipements doivent être collectées

soit automatiquement soit à la demande. Sachant qu'il est impossible de reproduire les capacités sensorielles de l'homme, les procédés doivent être appréhendés différemment. Cependant, les robots peuvent recourir à des techniques impossibles pour l'homme, comme les rayons x ou la chromatographie informatisée. Cette « téléprésence » permet une représentation avancée de l'état du procédé en conservant à l'opérateur humain sa place dans la chaîne d'automatisation et en lui permettant d'utiliser ses compétences cognitives pour compléter la puissance des télérobots. Dans ce contexte, ces derniers trouvent tout naturellement leur place dans le concept d'intégration des opérations. Les différentes équipes qui y participent devront bien comprendre le procédé et baser leurs décisions sur ces représentations.

Le système d'automatisation récupère et traite les données collectées par le robot avant de les stocker pour utilisation ultérieure par d'autres applications ou les présenter à l'opérateur directement, par exemple, sous forme d'un relevé. Elles servent alors à la prise de décision. Les membres de l'équipe peuvent également rechercher activement des informations ou les demander. Le but est d'utiliser toutes ces données pour surveiller en temps réel le procédé et prendre les décisions qui optimiseront le fonctionnement des installations.

Une difficulté majeure de la télérobotique au sein de l'industrie pétrolière et gazière est, précisément, l'éloignement des sites qui peuvent se trouver à plusieurs centaines de km des côtes et où des opérations complexes sont menées en dynamique dans des conditions très rigoureuses. Le moindre dysfonctionnement peut avoir des conséquences majeures pour l'environnement et les équipements. La sécurité et l'efficacité des opérations à distance sont cruciales pour ces installations sans présence humaine, créant de la valeur ajoutée et optimisant la productivité des sites distants.

Le but est d'utiliser les données d'exploitation pour surveiller en temps réel le procédé et prendre les décisions qui optimiseront le fonctionnement des installations.

Le secteur a clairement intérêt à automatiser ses procédés, en commençant par des opérations individuelles comme la manutention et l'assemblage des conduites pour le forage ou des tâches liées au raclage³⁾. Il s'agit d'opérations risquées pour l'homme, qui offrent de bonnes opportunités pour améliorer la santé, la sécurité et l'environnement. Un progrès majeur dans le futur serait d'automatiser complètement des parties importantes des installations, voire leur intégralité, avec un impact potentiel important sur la flexibilité et la productivité.

5 Laboratoire d'essais des robots ABB à Oslo (Norvège)



Laboratoire d'essais ABB de télérobotique

Actuellement, trois robots ABB sont testés sur une plate-forme pilote pleinement opérationnelle d'un laboratoire ABB à Oslo 5, réalisant des tâches demandées par un système de contrôle-commande ou par un opérateur. Ce dernier utilise à distance un modèle 3D du procédé pour l'interface avec les robots ; il définit et lance les tâches, et reçoit en retour des informations d'état. Les robots sont le prolongement de ses « yeux, oreilles et mains » comme s'il était sur place et capable de comprendre l'état fonctionnel des équipements. La plate-

forme reproduit une installation avancée de téléinspection. Le système robotisé est également configuré pour assurer des tâches de maintenance

En collaboration avec StatoilHydro, ABB s'attelle à résoudre à la fois les problèmes techniques et humains avec un ambitieux projet de recherche conjoint pour automatiser les installations pétrolières et gazières.

comme, par exemple, ouvrir et fermer une vanne, remplacer des capteurs sans fil ou des composants, ou encore manipuler des pièces.

Ce laboratoire constitue un banc d'essai unique pour explorer, tester et valider des concepts pour les futures applications robotisées de l'industrie du pétrole et du gaz. Il fait partie d'un

6 Robot ABB sur portique équipé d'une caméra pour des tâches d'inspection



projet de recherche plus ambitieux mené en collaboration avec StatoilHydro pour intégrer les opérations automatisées et télécommandées. En général, un des trois robots assure des tâches d'inspection et les deux autres des tâches de maintenance collaborative. Le robot d'inspection est fixé sur un portique 6 alors que les deux robots de maintenance sont sur rails. Par ailleurs, un robot ABB étanche a été monté à l'extérieur du site StatoilHydro de Kårstø (sur la côte orientale de la Norvège) pour tester pendant six mois sa tenue aux fortes intempéries. Il s'agit d'une installation pilote pour le développement d'un robot capable de résister aux environnements extrêmes.

Ces deux bancs d'essais de robots ABB constituent d'excellents terrains d'expérimentation de différentes tâches automatisées pour la filière du pétrole et du gaz.

Opérateurs robotisés du futur

Les installations pétrolières et gazières recèlent d'énormes potentiels de productivité et d'efficacité dont une part importante pourra être exploitée grâce aux robots. De plus, leur utilisation pour des tâches à haut risque permettra d'améliorer les performances sur le plan de la santé, de la sécurité et de l'environnement. Ces tâches, qui ne sont pas toujours anticipées, constituent des missions inhabituelles pour les robots. Ils devront donc intégrer des fonctions autres que les capacités sensorielles de l'homme pour intervenir sur les équipements et assurer leur maintenance. L'opérateur de conduite aura un nouveau rôle à jouer, à savoir superviser et commander les robots, et prendre des décisions opérationnelles. Les solutions robotisées permettront de rentabiliser l'exploitation de champs marginaux et isolés.

Les plus gros gains apparaîtront lorsque les robots seront pleinement intégrés au système d'automatisation, devenant des outils d'aide à la décision. Le concept d'intégration des opérations a pour finalité de mettre à la disposition des décideurs réunis en équipes (virtuelles) des données temps réel pour les aider à décider plus rapidement. L'opérateur robotisé

est une des nombreuses solutions permettant de récupérer et de tester des données pour arriver à cette intégration. Les robots ont le gros avantage de pouvoir collecter ces données dans des environnements interdits à l'homme (ex., forte teneur en H₂S) ou avec des techniques dangereuses (rayons x).

Les deux bancs d'essais de robots ABB constituent d'excellents terrains d'expérimentation de différentes tâches automatisées pour la filière du pétrole et du gaz.

L'apport réel de la robotique dépendra de la volonté des industriels de réinventer leur mode d'organisation et de travail pour aboutir à une intégration totale et ainsi surmonter les difficultés techniques de l'intégration des opérations.

En collaboration avec StatoilHydro, ABB s'attelle à résoudre à la fois les problèmes techniques et humains avec un ambitieux projet de recherche conjoint pour automatiser les installations pétrolières et gazières. L'accès à des sites opérationnels doublé d'un savoir-faire unique en robotique, production d'hydrocarbures et intégration des systèmes font qu'ABB est bien positionné pour développer des systèmes intégrés d'automatisation robotisée parfaitement adaptés aux contraintes du secteur.

Charlotte Skourup

John Pretlove

ABB Process Automation

Oslo (Norvège)

charlotte.skourup@no.abb.com

john.pretlove@no.abb.com

Note

6 Opérations d'inspection et de nettoyage réalisées à l'intérieur même des conduites sans interrompre la circulation des hydrocarbures.

La propulsion électrique met les gaz

La propulsion électrique ABB accroît le rendement énergétique et la capacité des navires méthaniers

Jan Fredrik Hansen, Alf Kåre Ådnanes

L'accélération de la demande mondiale d'énergie a accru les besoins en infrastructures flottantes de liquéfaction du gaz naturel et en terminaux méthaniers. Des volumes croissants de gaz naturel liquéfié (GNL) devront donc être transportés au cours des années à venir, induisant une augmentation du nombre et de la taille des navires méthaniers.

Si le rendement énergétique des systèmes traditionnels de propulsion de ces navires (turbines à vapeur) atteint péniblement 30 %, celui des systèmes de propulsion électrique les plus récents dépasse déjà 40 %. Pour un méthanier, cela représente une réduction de près d'un tiers du combustible consommé. De plus, la souplesse de la propulsion électrique

permet d'accroître le volume réservé à la cargaison ; sur un navire de 145 000 m³, on peut ainsi gagner quelque 10 000 m³.

Dès la fourniture des premiers systèmes de propulsion électrique pour navires méthaniers en 2003, ABB s'est imposé en leader mondial du marché.



La croissance ininterrompue de la demande énergétique mondiale sert d'aiguillon à la quête de nouvelles sources d'énergie. Depuis plus de 30 ans, le gaz naturel a contribué à satisfaire une partie de cette demande. Entre les sites de production et les centres de consommation, l'essentiel du transport empreinte des conduites terrestres ou sous-marines (pour des distances plus courtes comme, par exemple, entre la mer du Nord et l'Europe). A partir de la fin des années 1960 et pendant les années 1970, le développement de champs gaziers toujours plus éloignés des côtes, en eaux profondes et sur des sites isolés, a accru la production de GNL et son transport par voie maritime. Les navires méthaniers étaient construits avec des cuves isolées spéciales permettant de transporter le gaz liquéfié refroidi à -162°C .

Important fournisseur d'équipements électriques pour le marché de la construction navale, ABB participa à la conception et à la fourniture d'appareillages électriques HT isolés dans l'air pour plus de 40 méthaniers entre 2000 et 2006.

Pour répondre aux besoins énergétiques croissants des pays asiatiques, principalement le Japon, les importations de GNL ne cessèrent d'augmenter, obligeant à construire des méthaniers toujours plus grands. Alors qu'au cours des décennies 1970 et 1980, les navires étaient principalement construits au Japon, la Corée du Sud émergea pendant les années 1990 comme un constructeur naval de premier plan. Au tournant du siècle, la majorité des méthaniers était construit par les Sud-coréens. La taille des navires n'a cessé d'augmenter, passant d'une capacité standard de $138\,000\text{ m}^3$ à $145\,000\text{ m}^3$. Tous les bâtiments faisaient l'objet de contrat d'affrètement à très long terme (jusqu'à 30 ans) pour acheminer par voie maritime le GNL lorsque le transport par gazoduc n'était pas économi-

que ou était techniquement impossible. Les terminaux de liquéfaction-chargement et de réception du GNL, y compris les infrastructures annexes, étaient conçus pour fonctionner en continu : le retard d'un navire au terminal perturbait toute la chaîne du GNL.

La fiabilité des méthaniers et la robustesse des machines et systèmes de propulsion étaient donc primordiales, reléguant au second plan le rendement et la consommation énergétique. Les systèmes de propulsion à turbines à vapeur étaient les plus utilisés pour leur excellent niveau de fiabilité. Rappelons que le GNL embarqué est refroidi à -162°C ; selon la technique d'isolation des cuves et l'état de la mer, une faible quantité de gaz stocké s'évapore pendant le voyage. Ce vaporisat, complété de fioul lourd, servait de combustible aux chaudières, produisant la vapeur pour entraîner la turbine du navire.

Les avantages de la propulsion électrique

Si les turbines à vapeur sont très fiables et exigent un minimum d'entretien, il n'en va pas de même de leurs chaudières qui nécessitent une maintenance régulière. Pour prévenir les problèmes, deux chaudières sont généralement installées pour un rendement thermique inférieur à 30%. D'autres solutions, comme les moteurs à combustion interne, affichent des rendements de 45 à 50%. En changeant le système de propulsion, le potentiel d'économie de combustible est donc énorme. Pourtant, la propulsion classique à vapeur restera longtemps privilégiée pour sa fiabilité, les méthaniers comptant parmi les derniers grands navires à conserver ce mode de propulsion.

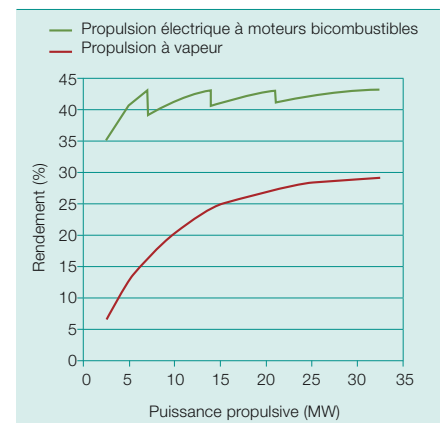
Alors que la taille des bâtiments ne cessait d'augmenter, il en allait de même des besoins d'énergie électrique, utilisée en grande partie par les énormes pompes électriques immergées dans les cuves et servant à décharger le GNL aux terminaux de réception. Cette puissance installée dépasse les 10 MW pour des méthaniers de $140\,000\text{ m}^3$ de capacité, nécessitant l'installation à bord d'équipements électriques haute tension (HT). Les premiers méthaniers équi-

pés de centrales de production d'énergie électrique HT de 3,3 kV et 6,6 kV furent commandés en 2000. Important fournisseur d'équipements électriques pour le marché de la construction navale, ABB participa à la conception et à la fourniture d'appareillages électriques HT isolés dans l'air pour plus de 40 méthaniers entre 2000 et 2006.

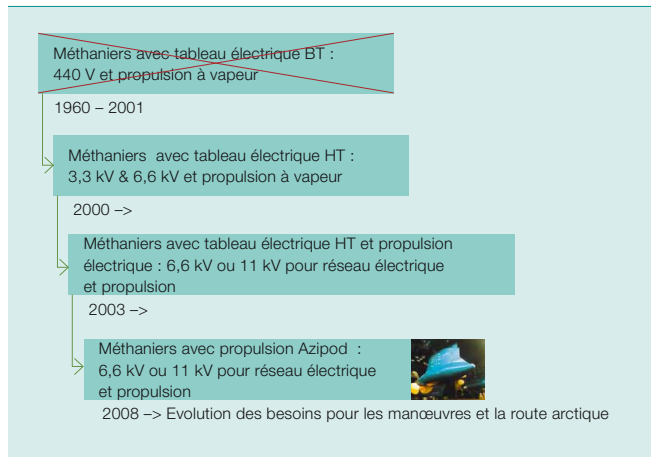
Si ce type de navire continuait d'être construit avec une propulsion à vapeur, d'autres solutions faisaient l'objet d'un intérêt croissant. En 2000, Wartsila lança sur le marché des moteurs bicom bustibles, fonctionnant indifféremment au gaz et au diesel. Ces moteurs quatre temps étaient essentiellement conçus pour produire de l'énergie électrique. Ils tournaient à vitesse constante et nécessitaient un réseau de distribution et un système de propulsion électriques pour entraîner l'hélice. Même en tenant compte des pertes en ligne, le rendement propulsif global de ce système, appelé DFEP (*Dual-Fuel Electric Propulsion*), était d'environ 42%, soit très supérieur aux 30% des turbines à vapeur. Aujourd'hui, deux fournisseurs se partagent le marché des moteurs bicom bustibles, Wartsila et MAN.

En 2003, Gaz de France (aujourd'hui GDF Suez) commandait aux Chantiers de l'Atlantique (devenus STX Europe) les trois premiers navires méthaniers dotés du nouveau système DFEP. Dans le sillage de cette première mondiale, d'autres chantiers navals et armateurs suivirent et, fin 2005, prati-

1 Courbes de rendement de combustible en fonction de la charge sur l'hélice de la propulsion électrique à moteurs bicom bustibles et de la propulsion à vapeur



2 Etapes du développement des navires méthaniers de nouvelle génération



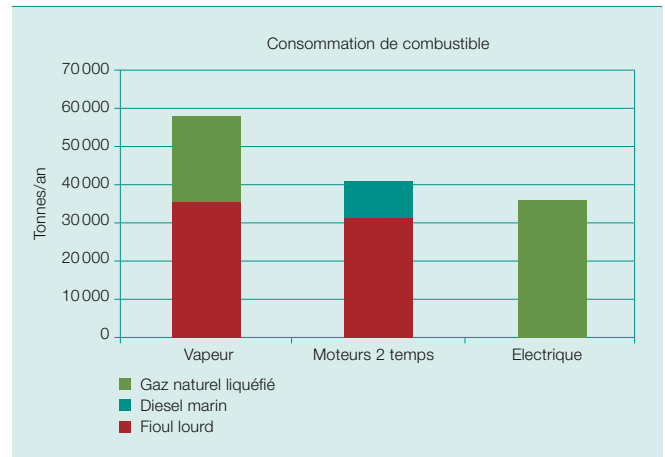
quement toutes les nouvelles commandes de méthaniers entre 145 000 et 170 000 m³ de capacité spécifiaient un système DFEP [2]. Le principal argument de Gaz de France était le suivant : l'entreprise pouvait livrer plus de gaz en polluant moins.

Pour autant, la propulsion électrique n'est pas retenue pour tous les méthani-
ers. Ainsi, les navires de capacité
maximale de 260 000 m³ du projet
Qatargas seront équipés d'un système
propulsif traditionnel à moteurs deux
temps et d'une unité auxiliaire de reli-
qufaction du vaporisat avec réinjec-
tion dans les cuves. Ce système,
cependant, exige encore une grosse
centrale électrique HT pour alimenter
les pompes de déchargement et l'unité

de reliquefaction dont la consommation électrique peut atteindre 6 MW, soit beaucoup plus que les pertes de puissance enregistrées par une centrale de propulsion électrique. Avec une puissance propulsive de 30 MW, par exemple, celles-ci ne dépassent pas 2,5 MW **3**.

Le système DFEP ne dope pas seulement la performance énergétique mais également la capacité des navires. L'implantation des équipements de la centrale de production d'énergie et de l'appareil propulsif offre plus de souplesse que les systèmes de propulsion mécanique. Même si du matériel électrique supplémentaire est installé, la souplesse du système DFEP permet d'accroître le volume réservé à la cargaison. Les moteurs peuvent être

3 Calcul annuel de consommation de combustible des différentes solutions de propulsion en fonction du rendement et d'une durée de fonctionnement de 7 500 h/an

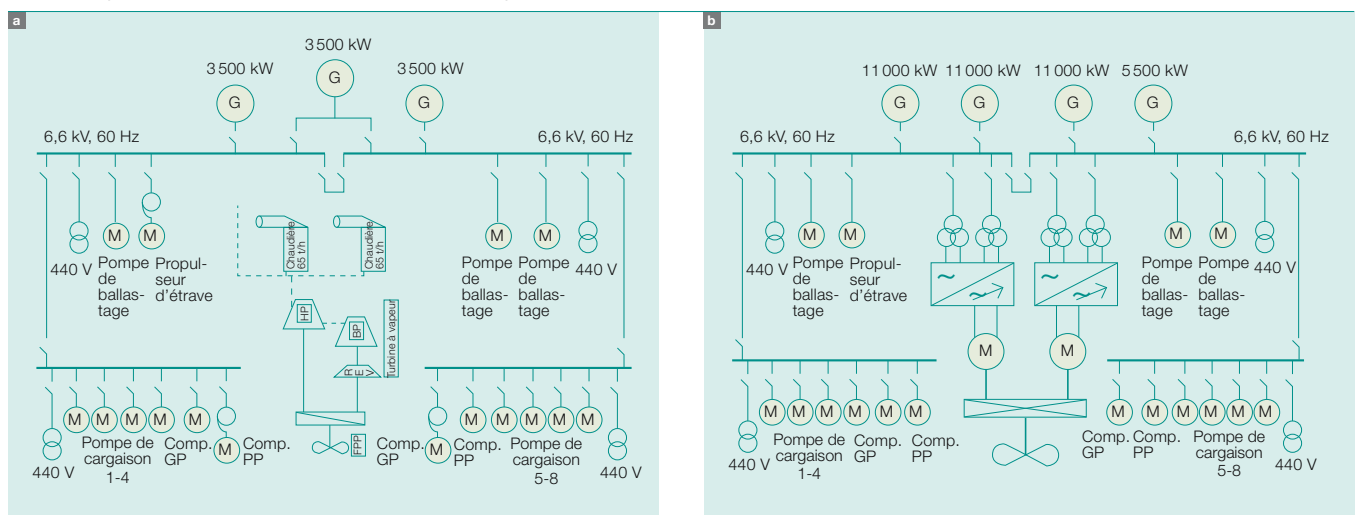


montés sur un pont moins bas, raccourcissant les conduites de gaz d'échappement. Il n'y a aucun accouplement mécanique entre les équipements (générateurs, convertisseurs, transformateurs et moteurs de propulsion). Exclusivement raccordées par câbles, les machines peuvent être implantées pour un gain de place optimal. Ainsi, la capacité des méthaniers standard de 150 000 m³ environ peut être accrue de plus de 6 % sans modifier les dimensions externes des navires.

Configurations et équipements ABB

DFEP met en œuvre deux technologies distinctes : d'une part, les moteurs quatre temps bicom bustibles, une nouveauté sur le marché en général et

4 Configuration type d'une propulsion électrique commune à tous les navires en construction comparée à celle d'un système classique à vapeur **a** et configuration d'une centrale de production d'énergie électrique pour méthanières traditionnels **b**.



dans la construction navale en particulier et, d'autre part, la propulsion électrique, une première pour les méthaniers mais qui équipe depuis le milieu des années 1980 essentiellement les paquebots de croisière. Le transport maritime et le marché du GNL étant timorés, il leur fallut du temps pour accepter de «changer une équipe qui gagne», à savoir un système de propulsion fiable et largement éprouvé. Avant que les premiers armateurs ne virent de bord, la propulsion électrique devait faire ses preuves et acquérir de la maturité. Une fois les gains d'espace et de rendement énergétique démontrés, d'autres armateurs et chantiers navals emboîteraient le pas. Les économies d'exploitation étaient trop importantes pour faire la sourde oreille. Pour autant, cette technologie n'était envisageable que si sa fiabilité égalait celle des systèmes classiques de propulsion à vapeur.

Dès le début des travaux de développement, des configurations très différentes furent examinées : nombre de moteurs, nombre d'hélices, redondance, etc. Parmi les deux ou trois retenues, une configuration s'imposa largement ⁴.

Dans celle-ci, la centrale de production d'énergie comprend quatre moteurs bicom bustibles semi-rapides, chacun avec son générateur. La puissance des générateurs varie légèrement d'un projet à l'autre, mais est en général optimisée pour les opérations les plus fréquentes du navire – chargement et déchargement du GNL, navigation – dont les besoins électriques varient. La centrale d'énergie HT est séparée en quatre sections distinctes avec deux tableaux électriques principaux et deux tableaux pour la cargaison, ce cloisonnement ne servant qu'à optimiser l'espace. Le système propulsif est également divisé en deux sous-systèmes avec chacun un transformateur, un convertisseur de fréquence et un moteur de propulsion. Enfin, les deux moteurs sont accouplés mécaniquement via un réducteur avec une seule sortie pour l'arbre d'hélice. Le système est donc à la fois simple et fiable tout en offrant une redondance suffisante pour assurer le fonctionnement de l'hélice

lorsqu'une intervention de maintenance ou une réparation exige l'arrêt d'un des moteurs ou des réseaux électriques. Du point de vue mécanique, le système propulsif est presque identique à un système classique à vapeur, avec un réducteur et une seule sortie pour l'arbre d'hélice. Certaines configurations possèdent des hélices jumelées qui assurent 50% de redondance jusqu'à l'arbre d'hélice. Du point de vue électrique, ce système jumelé est identique au système à une seule hélice, à l'exception du système de contrôle-commande (situé sur la passerelle du bateau) qui permet de commander la vitesse de chaque hélice indépendamment.

ABB jouit d'une longue expérience dans la propulsion électrique, en particulier dans les navires de croisière. En novembre 2008, le Groupe avait fourni ou en commande des systèmes de propulsion et de production d'énergie électrique pour 33 méthaniers.

Les méthaniers nécessitent de 25 à 30 MW de puissance propulsive ; chaque moteur de propulsion fournit donc entre 12,5 et 15 MW. Les valeurs nominales varient selon les besoins de puissance en fonction de la vitesse du navire et de la forme de la coque.

En général, ABB fournit tous les équipements électriques HT d'un navire, depuis les générateurs jusqu'aux moteurs de propulsion, ainsi que les systèmes de contrôle-commande. Le Groupe jouit d'une longue expérience dans la propulsion électrique, en particulier dans les navires de croisière aux besoins propulsifs et énergétiques semblables à ceux des navires méthaniers. En fait, en novembre 2008, ABB avait fourni ou en commande des systèmes de propulsion et de production d'énergie électrique pour 33 méthaniers.

Les produits ABB destinés au marché de la propulsion électrique sont fabri-

qués dans ses usines spécialisées dans les applications marines. Pour répondre aux fortes exigences de fiabilité des méthaniers, ABB capitalise sur son retour d'expérience dans les paquebots de croisière et puise dans son portefeuille complet de produits. Ses générateurs AMG et moteurs AMZ synchrones ⁵ affichent des valeurs de rendement parmi les plus élevées du marché. Pour certains projets, ces moteurs et générateurs ont atteint respectivement des rendements de 97,9% et 98,4%, sur bancs d'essais en usine¹⁾.

L'appareillage moyenne tension Uni-Gear d'ABB, très robuste, ainsi que les cellules de démarrage moteur UniMotor isolées dans l'air, avec disjoncteurs HD4 (au SF₆) et VD4 (sous vide), sont utilisés pour les réseaux de distribution HT. Les enveloppes métallisées et anti-arc de l'appareillage assurent une

⁵ Moteur de propulsion AMZ



⁶ Transformateur RESIBLOC® d'ABB



Note

¹⁾ Le rendement est mesuré lors des essais de réception usine sous tension sinusoïdale et en ajoutant les pertes dues aux harmoniques et les pertes auxiliaires.

Solutions de productivité

très bonne protection des personnes, même celles travaillant à proximité immédiate. Les armoires disposent également d'un système de verrouillage des portes et de séparation des compartiments pour empêcher l'accès aux organes sous tension.

Le transformateur RESIBLOC® d'ABB possède une résistance mécanique élevée, idéale pour les ambiances marines (vibrations et mouvements du navire par gros temps)

Les entraînements du système de propulsion mettent en œuvre le transformateur RESIBLOC® en résine moulée ⁶, exclusivité ABB, ainsi que le convertisseur de fréquence moyenne tension (MT) ACS6000. Le premier possède une résistance mécanique élevée, idéale pour les ambiances marines (vibrations et mouvements du navire par gros temps). Autre

⁷ Onduleur du convertisseur de fréquence ACS6000



avantage du RESIBLOC® : la distribution linéaire de la tension de choc entre les enroulements, essentielle dans les applications marines où les transitoires de tension de commutation sont beaucoup plus raides que la tension de choc normalisée utilisée généralement pour les transformateurs.

L'ACS6000 est un convertisseur de fréquence à onduleur à source de tension ⁷ introduit sur le marché par ABB en 2000. Son algorithme de commande DTC® (*Direct Torque Control*), breveté par ABB, permet de piloter les moteurs synchrones AMZ, fiabilisés et aptes à fournir toute la puissance requise par les méthaniers.

Le verdict de la mer

Depuis 2003, année de commande des premiers méthaniers à propulsion électrique, plus de six navires équipés de systèmes ABB ont pris la mer et sont encore en service. Leurs performances ont confirmé, voire dépassé, les spécifications en termes de pilotage et de rendement énergétique. Il faut savoir que lorsque les moteurs d'un système DFEP fonctionnent au gaz, ils sont plus sensibles aux variations de charge que lorsqu'ils fonctionnent au diesel. Le système propulsif (plus gros consommateur d'énergie du navire) doit impérativement maintenir la charge sur l'appareillage électrique aussi constante que possible, même par forte houle. C'est pour cette raison que le système propose deux modes de pilotage :

- un mode de régulation de vitesse où celle-ci est maintenue quasi constante ;

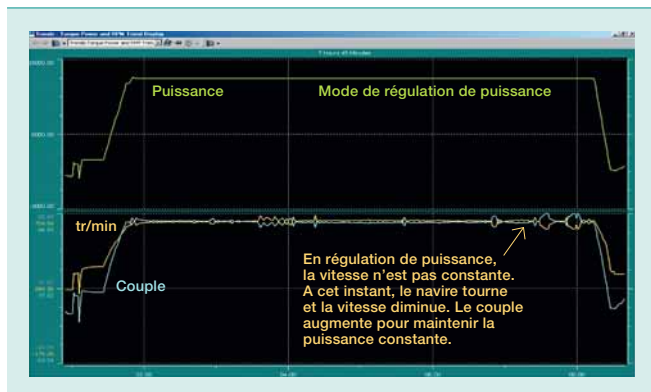
- un mode de régulation de puissance où c'est la puissance qui est maintenue à un niveau quasi constant.

Lors de la manœuvre du navire, la régulation de vitesse est automatiquement sélectionnée pour réagir rapidement aux ordres du commandant sur la passerelle. En pleine mer, au-dessus de 50% de puissance, c'est la régulation de puissance qui prend le pas de sorte que la vitesse et le couple à l'hélice peuvent varier selon l'état de la mer, avec une consommation électrique presque constante ⁸. Au cours d'un essai d'endurance de six heures en navigation à pleine puissance propulsive (régulation de puissance), les données collectées indiquèrent une consommation effectivement constante du système de propulsion. Ces performances exceptionnelles sont le fait de l'algorithme DTC du convertisseur de fréquence ACS6000 qui est capable d'ajuster le couple moteur en quelques millisecondes et de compenser immédiatement les variations de couple induites par la houle sur l'hélice.

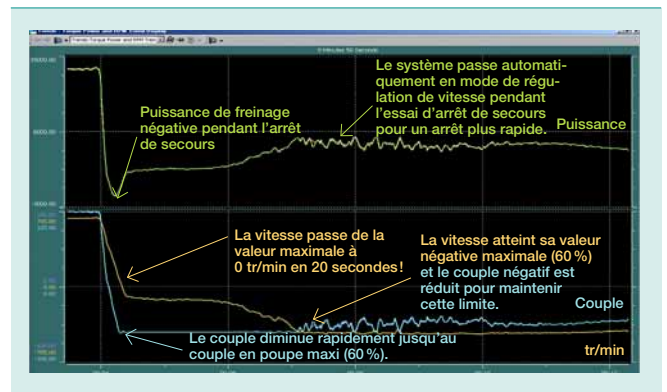
Lors de l'application de la charge maximale (100%) aux systèmes de propulsion, le rendement mesuré était de 94,3 %, réducteur compris.

Des essais d'arrêt de secours ont démontré que le système était capable d'inverser la poussée pour stopper rapidement le navire ⁹. Dans ce cas, le moteur électrique est meilleur que la propulsion mécanique car il peut

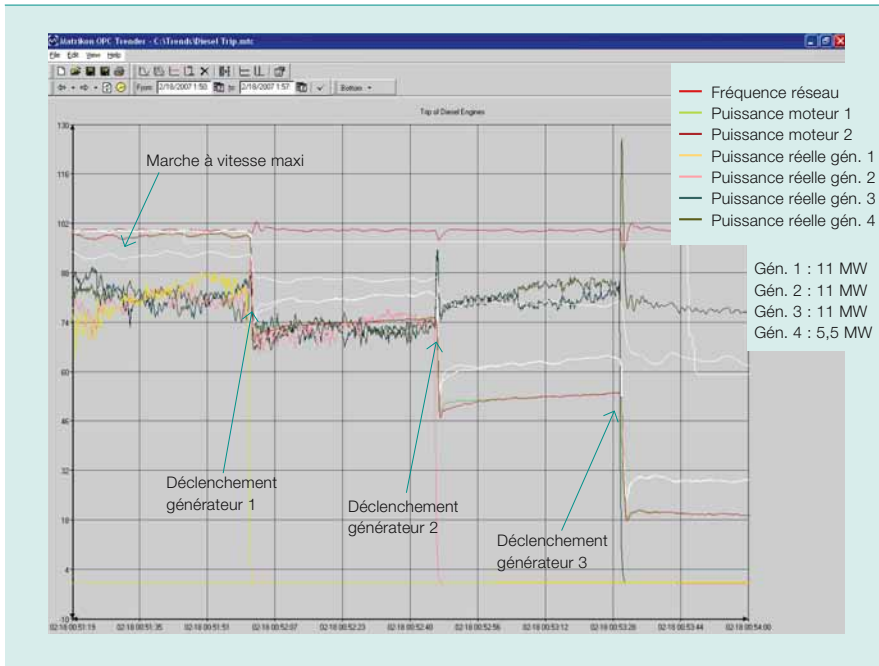
⁸ Valeurs de puissance, de couple et de vitesse mesurées lors d'essais en mer ; essais d'endurance – mode régulation de puissance



⁹ Valeurs de puissance, de couple et de vitesse mesurées sur les moteurs de propulsion lors de l'essai d'arrêt de secours



10 Essai de prévention de *black-out* avec déclenchement des générateurs sous 100 % de charge



appliquer un couple de sens inverse stable sur l'arbre, à toutes les vitesses. Le moteur fonctionne alors en générateur, renvoyant au système propulsif l'énergie de l'hélice jusqu'à son arrêt complet. Cette énergie est dissipée dans des résistances de freinage séparées afin de ne pas perturber les moteurs principaux. Les essais ont montré que le navire pouvait s'arrêter en 7 minutes environ, soit beaucoup plus vite qu'avec un système classique à vapeur qui en nécessite 20 à 30.

Autre fonctionnalité remarquable de la propulsion électrique : la prévention des pannes générales de réseau (*black-out*) autorisant le maintien en exploitation même en modes dégradés. Le scénario catastrophe est le déclenchement d'un ensemble générateur-moteur entraînant d'autres déclenchements en cascade et un *black-out*. La diminution rapide de la puissance propulsive protège les autres générateurs. Dès détection du déclenchement d'un générateur, le système de contrôle-commande de la propulsion réduit instantanément la puissance pour éviter de surcharger les générateurs

restants. Cette fonctionnalité fut testée en mer sur une configuration à trois générateurs de 11 MW et un de 5,5 MW : les trois premiers furent déclenchés, successivement, jusqu'à ce que le petit de 5,5 MW soit seul en marche. Résultats : les générateurs restèrent protégés et les équipements réussirent leur examen de passage sans panne **10**.

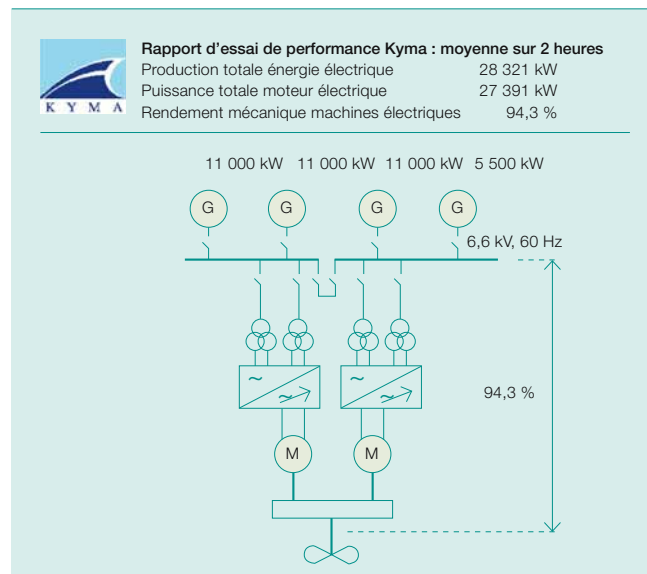
Pour vérifier les rendements, l'armateur installa un système à jauges de

contrainte KYMA²⁾ mesurant la puissance mécanique à l'arbre d'hélice. En comparant ces mesures à la charge électrique fournie aux systèmes propulsifs par les réseaux électriques, il détermina le rendement du système propulsif, réducteur inclus.

Lors de l'application de la charge maximale (100%) aux systèmes de propulsion, le rendement mesuré était de 94,3% **11**, alors que les calculs sur des équipements analogues donnaient 93,6% (y compris 1,5% de pertes estimées dans le réducteur). Ces résultats montrent que le rendement du système est supérieur aux valeurs théoriques.

Le marché du GNL ne cesse d'évoluer avec des volumes qui devraient augmenter ces prochaines années encore plus rapidement. Pour les navires méthaniers, d'autres modes de propulsion sont envisagés, notamment des turbines à vapeur à hauts rendements, des moteurs deux temps à injection de gaz, etc. Aujourd'hui, avec la disparition des contrats à 30 ans et l'avènement des marchés au comptant (*spot*) les méthaniers doivent être plus souples en termes de vitesse d'exploitation, de distance parcourue, de type de combustible, etc., toutes exigences qui renforcent l'attrait de la propulsion électrique. Les futurs méthaniers conçus pour traverser l'Arctique devront être équipés d'une propulsion électrique semblable à celle des brise-glace et paquebots de croisière (et plus récemment des pétroliers et porte-conteneurs), sur lesquelles les performances et les fonctionnalités du système Azipod® d'ABB ont largement fait leurs preuves.

11 Mesure du rendement entre l'arbre d'hélice et le tableau électrique



Jan Fredrik Hansen

Alf Kåre Adnanes

ABB Process Automation

Oslo (Norvège)

jan-fredrik.hansen@no.abb.com

alf-kare.adnanes@no.abb.com

Note

²⁾ Fournisseur norvégien d'instrumentation de mesure des performances des navires. L'instrumentation n'a pas été commandée par ABB ni par le chantier naval, mais directement par l'armateur pour valider les performances. Pour en savoir plus, connectez-vous à <http://www.kyma.no/>

L'intelligence mène la course

Le diagnostic des appareils de terrain, gage de fiabilité

Andrea Andenna, Daniel Schrag, Armin Gasch, Paul Szász



Attentifs aux progrès techniques de la dernière décennie, les clients de l'instrumentation de process sont de plus en plus exigeants. Les technologies de traitement numérique du signal et de communication haut débit, entre autres, ont tellement dopé les échanges entre l'atelier et le système de contrôle-commande distribué que les appareils de terrain doivent aujourd'hui fournir des diagnostics poussés, assortis de mesures ultra-précises.

Ces dernières années, les chercheurs d'ABB ont travaillé d'arrache-pied pour être à la hauteur de ces exigences avec des instruments de terrain multifonctions offrant une pléiade d'innovations. Des fonctions de diagnostic supplémentaires, comme la redondance automatique de la sonde ou la surveillance de la dérive capteur, par exemple, sont les facteurs de différenciation du nouveau transmetteur de température pour montage en tête TTH300 d'ABB. Des fonctionnalités comme la détection de bulles de gaz, le diagnostic du colmatage des électrodes et la mesure de conductivité équiperont la prochaine génération de débitmètres électromagnétiques (DEM); dans la foulée, les futures versions à effet Vortex et à tourbillons s'enrichiront d'un algorithme de suppression automatique des vibrations.

L'époque où le capteur se contentait de mesurer est bel et bien révolue. Les contraintes de coût et l'impérieuse nécessité d'améliorer les performances de la production en réduisant ses temps d'indisponibilité poussent les industriels à réclamer des instruments de process doués pour le diagnostic, le calcul, la communication... bref, «intelligents». A l'évidence, nombre de ces clients veulent substituer à l'inertie de la maintenance préventive une maintenance *prédictive* et une gestion des actifs industriels à la fois plus efficaces et mieux ciblées [1] **Encadré**.

Bien conscients de cette tendance, ABB et ses concurrents font plus ou moins de l'«autodiagnostic» le mot d'ordre des nouvelles générations d'instruments.

Cette évolution du cahier des charges des capteurs de process trouve écho dans les récentes recommandations NAMUR et VDI/VDE [2], qui mettent en exergue l'intérêt de l'utilisateur final pour une métrologie toujours plus robuste et précise. D'où la pluralité des missions confiées aux capteurs, de la simple mesure des paramètres *process* à des données intermédiaires et tendancielle sur les propriétés du produit aux fins de contrôle (quantité produite, variation de la production, sous-produits, proportion de corps solides polluants dans les gaz, qualité...).

La numérisation du signal et les communications haut débit permettent aux appareils de fournir des diagnostics poussés et des mesures ultraprécises.

Electronique intelligente pour appareils multifonctions

Dans le passé, le signal électrique d'un capteur primaire servait à alimenter un dispositif de lecture. Or l'explosion de l'électronique numérique au cours des dernières années permet d'extraire des informations utiles et importantes, directement

du signal brut d'un capteur. L'essor des microprocesseurs et des convertisseurs en technologie DSP (*Digital Signal Processor*) améliore la qualité et la précision de la mesure ainsi que la linéarité du signal en sortie du transducteur, tout en réduisant les bruits parasites. A cela s'ajoutent des fonctions de diagnostic comme

Encadré Des capteurs sous pression

Les capteurs industriels (débit, pression...) opèrent souvent dans des conditions climatiques et de production extrêmes. L'agressivité du milieu est source de corrosion, d'abrasion, d'obstruction des équipements et des conduites **photo**. Et lorsqu'un appareil ne fonctionne plus correctement, il faut réparer.

Les équipements «à autodiagnostic», capables de reconnaître et de remonter les défaillances ou dégradations du procédé, sont les ingrédients essentiels d'une stratégie de maintenance efficace. Il n'est pas rare que les nouvelles générations d'instruments sachent déceler non seulement leurs propres défauts internes (dérive, vieillissement...) mais aussi les variations du procédé (écoulements pulsatoires, bulles...) tout en suivant l'état fonctionnel des autres composants qui leur sont raccordés. La détection, voire la compensation, de la plupart de ces effets fait appel à des algorithmes dédiés de traitement du signal.



l'autocontrôle de l'appareil (détection des défauts électroniques, par exemple), la surveillance des données *process* (vérification de l'ouverture des prises d'impulsion d'un transmetteur de pression...) et autres fonctionnalités de pointe. C'est aussi là qu'interviennent les techniques de sécurité.

Jusqu'à une date récente, l'innovation fonctionnelle était le pré carré du niveau contrôle-commande, bien mieux loti en puissance de calcul. Aujourd'hui, les progrès de l'électronique et du logiciel embarqué permettent de descendre dans l'atelier. Précisons que certaines fonctions évoluées ne peuvent être implantées que dans un appareil de terrain car elles requièrent des vitesses d'échantillonnage supérieures aux débits habituellement autorisés par les bus d'automatismes.

ABB n'a eu de cesse de créer des instruments de process multifonctions, conformes aux exigences accrues des clients.

Il existe deux façons de mettre en œuvre ces fonctions avancées dans un appareil :

■ *Privilégier l'approche «traitement du signal» pure* : les capteurs deviennent essentiellement *logiques* puisque ces ajouts fonctionnels sont implantés à l'aide de programmes mathématiques et d'algorithmes embarqués dans le processeur du transmetteur, sans toucher à l'élément sensible ni à la mécanique du capteur.

■ *Greffer un capteur du commerce au transducteur* : par exemple, le transmetteur 267/269 d'ABB mesure simultanément, grâce à sa technologie multicapteur, des variables multiples du procédé (pression différentielle, pression absolue et température) pour calculer le débit massique.

En général, la numérisation du traitement permet d'extraire l'information utile du signal brut, suivant deux méthodes : l'analyse mathé-

1 Capteurs de température et transmetteur TTH300 d'ABB



Solutions de productivité

matique directe des données et la modélisation physique, plus complexe. Dans le premier cas, le chronogramme du signal brut peut être étudié par une analyse de corrélation, du spectre ou du bruit afin de trouver les fonctions caractéristiques et les indications de dysfonctionnement. Autre facteur élargissant l'horizon des applications et fonctionnalités envisageables : l'émergence de nouveaux algorithmes et techniques de traitement du signal plus puissants, tels que l'analyse statistique du signal, l'analyse non linéaire des données, le filtrage adaptatif, les réseaux neuronaux et les ondelettes. Cette dernière méthode consiste à élaborer un modèle physique du système de détection par des équations décrivant les principes scientifiques sur lesquels repose le capteur ou par simulations. Le choix et le bien-fondé de l'une ou l'autre méthode (analyse avancée ou modélisation physique) tiennent beaucoup à l'application, à l'intégrité des données de mesure et à la puissance de calcul exploitable [3].

Les équipements à autodiagnostic, capables de reconnaître et de remonter les défaillances ou dégradations du procédé, jouent un rôle capital dans l'efficacité de la maintenance.

Plus intelligent mais plus contraignant ?

En instrumentation industrielle, il est un critère fondamental pour conserver ou accroître sa part de marché : le prix. L'importance de la richesse fonctionnelle est affaire de point de vue. Les exploitants de grosses unités de production continue dotées d'un vaste parc de capteurs/actionneurs onéreux, dont les vannes, sont enclins à payer plus pour des fonctionnalités de pointe. Les

fonctions de diagnostic des équipements et du procédé ont particulièrement la cote car elles promettent de réduire les coûts de maintenance et d'améliorer, en règle générale, la fiabilité opérationnelle du site. A l'inverse, les clients se contentant de fonctions élémentaires rechigneront à délier

leurs bourses. Il faut donc, en phase de développement fonctionnel, faire la part des choses entre coût et faisabilité technique.

La recherche ABB a toujours investi dans les diagnostics avancés et le traitement numérique du signal ; en attendent les paragraphes suivants.

Une mesure de température fiable

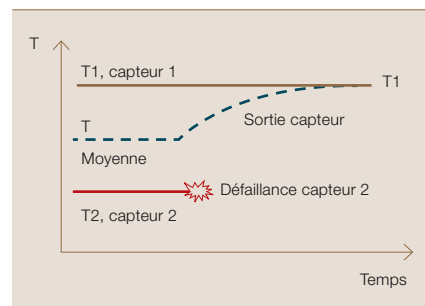
La thermométrie par sondes à résistance ou thermocouples offre une très grande précision fondée sur des principes de mesure directs, remarquables de simplicité. Faut-il en déduire que le traitement du signal n'apporte guère d'améliorations aux capteurs de température ? Ce serait oublier que la dérive ou même la casse des bonnes vieilles sondes thermiques usées par les conditions industrielles font le quotidien de l'instrumentiste ! Si la

défaillance est aisément détectée, une dérive de l'appareil peut dégrader le procédé ou engendrer une perte de qualité insoupçonnée. Dans bien des cas, la maintenance préventive traditionnelle impose une coûteuse campagne de réétalonnage annuel des sondes de température.

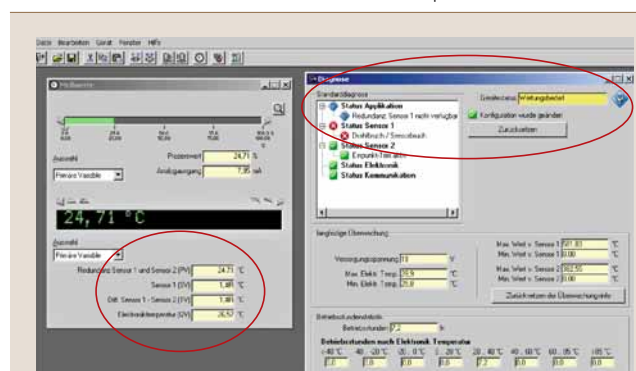
La demande de maintenance prédictive grandissant, les clients sont à l'affût de nouvelles solutions. La productivité des procédés dans lesquels la régulation thermique est primordiale augmente notablement quand la mesure est fiable. D'où le développement de fonctions de diagnostic de haute technicité pour les transmetteurs de température.

Le transmetteur Hart TTH300 d'ABB, commercialisé depuis avril 2006, affiche un large éventail de fonctions d'auto-diagnostic dans un boîtier compact de 44 mm de diamètre pour offrir une grande précision (jusqu'à 0,1 °C) doublée d'une fiabilité et d'une disponibilité élevées [1]. Pour en tirer pleinement parti, l'appareil intègre deux nouvelles fonctions de diagnos-

2 Sortie capteur avec la fonction de redondance capteur active : la défaillance d'un capteur donne lieu à une transition progressive vers le signal du capteur de secours.



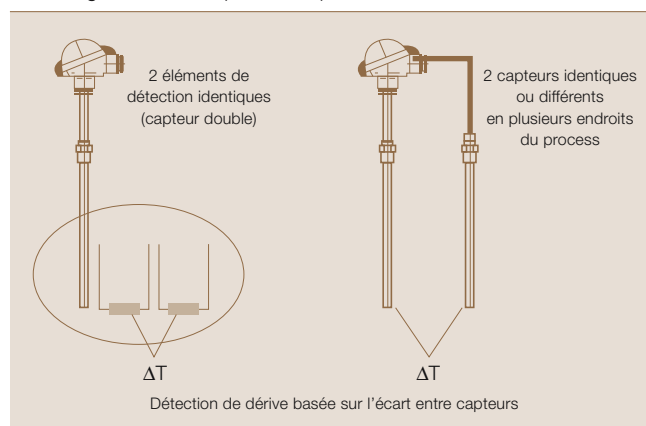
3 Ecran DTM de la fonction de redondance capteur active



Mesures correctes de température en continu

Indication de l'état fonctionnel des capteurs et des besoins de maintenance (redondance active, capteur 1 hors service à cause de rupture câble, remplacement du capteur défaillant)

4 Configurations de capteurs adaptées à la détection de dérive



Détection de dérive basée sur l'écart entre capteurs

tic : la «redondance capteur» et la détection de dérive. Doté d'une plus grande puissance de calcul, il peut réaliser des algorithmes en local, sans surcharger le réseau de communication.

Les transmetteurs de température Hart TTH300 d'ABB ajoutent à leur fiabilité et à leur précision une panoplie de fonctions d'autodiagnostic dans un boîtier compact de 44 mm de diamètre.

Par leur aptitude à gérer deux sondes platine ou thermocouples (ou ces deux techniques en parallèle), le TTH300 et sa redondance capteur font beaucoup progresser la disponibilité de la mesure. Auparavant, la défaillance d'un capteur de température obligeait à raccorder manuellement un nouveau capteur au transmetteur, entraînant de longs et coûteux arrêts de production. Aujourd'hui, dès qu'une défaillance est décelée par les diagnostics intégrés, le transmetteur bascule automatiquement sur le second capteur pour garantir la continuité de la mesure ² et en informe le gestionnaire des fichiers numériques descriptifs de l'appareil (*Device Type Manager*) ³. Le remplacement du capteur peut être programmé à moindres frais lors du prochain contrôle périodique, sans occasionner d'arrêt de production supplémentaire.

La dérive menace à la longue tous les capteurs soumis à des sollicitations mécaniques (milieu vibratoire) ou thermiques (échauffement). Même si cette lente évolution n'entraîne aucune altération extérieure visible, elle peut être fatale au procédé comme à la qualité du produit. Jusqu'à présent, on y remédiait par un étalonnage régulier mais coûteux du capteur, en termes d'indisponibilité : une intervention périodique qui peut s'avérer très souvent inutile lorsque les capteurs conservent leur stabilité en l'absence de contraintes environnementales sévères.

Depuis début 2007, le nouveau TTH300 apporte une réponse à ce

problème avec une maintenance prédictive consistant à surveiller la dérive capteur et à réétalonner au moment opportun. Concrètement, le TTH300 contrôle en permanence ses deux capteurs et compare leurs données ; s'ils fonctionnent dans la tolérance prescrite (donc, sans dérive), l'écart de mesure est infime. Par contre, quand l'un d'eux dérive, l'écart dépasse le seuil paramétré et déclenche l'envoi par le transmetteur d'une demande de réétalonnage ou de remplacement au prochain contrôle périodique. Ces actions étant subordonnées à l'apparition d'une dérive, la fréquence et le coût de la maintenance des capteurs baissent d'autant.

C'est sur un capteur double que la détection de dérive donne toute sa mesure ⁴ : bien que la dérive soit un phénomène imprévisible et aléatoire, des recherches en laboratoire ont confirmé que deux capteurs ne dériveraient pas de façon identique, même s'ils enduraient des conditions de vieillissement analogues. Autre possibilité : appliquer cette fonction à des capteurs implantés en différents endroits du procédé pour, par exemple, détecter les variations globales du profil d'écoulement. Cette configuration permet à son tour de détecter des problèmes ponctuels, tels que de mauvais échanges thermiques dus à l'accumulation de dépôts dans les conduites et équipements.

Le débitmètre électromagnétique, fiable et banalisé, a conquis bien des domaines : eau potable, eaux usées, agroalimentaire, papier et chimie.

L'utilisateur peut définir un seuil en fonction de la sensibilité du procédé à la dérive. La précision de réglage entre les deux capteurs détermine alors le seuil minimum d'alarme applicable. Avec une compensation d'erreur de mesure à un ou deux points, le seuil de détection avoisine 0,5 à 1°C car les caractéristiques d'un des deux capteurs diffèrent toujours de cette valeur. On peut encore abaisser ce seuil avec des informations de

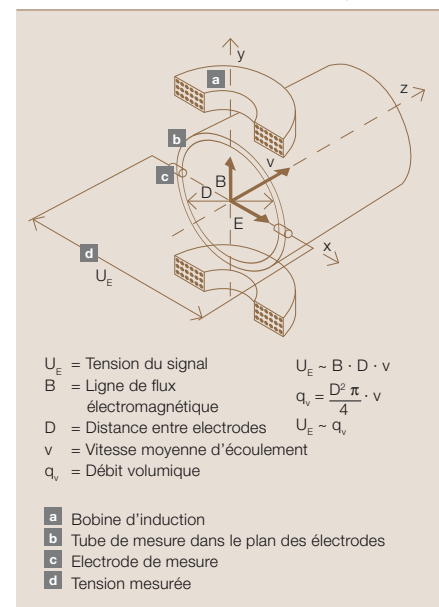
mesure plus précises ; il n'en demeure pas moins qu'il satisfait aux besoins de plus de 90 % des applications.

La détection du colmatage sur un débitmètre électromagnétique est une démarche pluridisciplinaire reposant sur une compréhension approfondie du procédé.

C'est magique !

Le marché mondial de la débitmétrie électromagnétique se chiffre à près de 700 millions de dollars. Inventé en 1941 par Bonaventura Thürlemann, ce principe de mesure fiable et banalisé a conquis un grand nombre de domaines : production d'eau potable, traite-

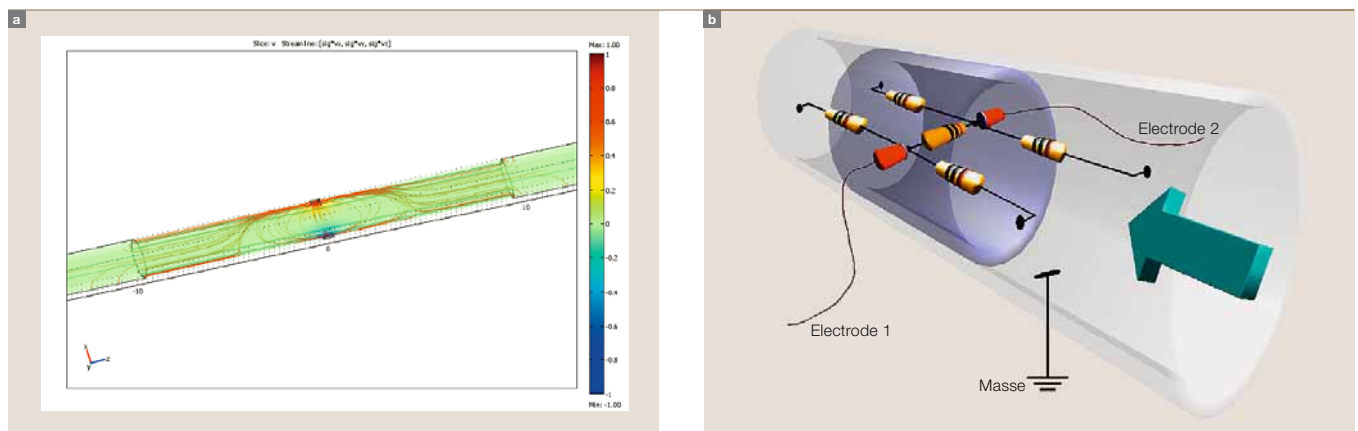
5 Principe du débitmètre électromagnétique



6 Encrassement d'un débitmètre électromagnétique dans l'industrie papetière



7 Simulation de champs et modèle de débitmètre à résistances électriques



ment d'eaux usées, industries agroalimentaire, papetière et chimique.

Son fonctionnement repose sur les lois établies par Faraday : un champ magnétique B , perpendiculaire au sens d'écoulement du fluide, est engendré par deux bobines disposées de part et d'autre du tube [5]. Ce champ induit dans le liquide conducteur une tension U_E captée par deux électrodes de mesure, directement proportionnelle au débit volumique q_v . Viscosité, densité, température et pression n'ont aucun effet sur la lecture de la vitesse moyenne d'écoulement v .

Le projet MAGIC s'est attaché à réaliser un DEM à mesure multivariable qui surveille non seulement le capteur mais diagnostique aussi les conditions du process : détection de bulles de gaz dans le milieu, encrassement du système, mesure de conductivité du liquide...

Le fait est que l'accumulation et l'adhérence de fluides ou de solides dans le système ne dégradent pas seulement les pompes et les canalisations mais aussi le DEM [6]. Qu'il soit isolant ou conducteur, le colmatage altère les électrodes : le premier type en rogne constamment la surface au point de mettre le DEM en panne, tandis que le second l'augmente progressivement jusqu'à provoquer un court-circuit. Il est donc capital de surveiller ce phénomène pour l'enrayer en amont.

Depuis une trentaine d'années, les Vortex sont la « génération montante » de la débitmétrie industrielle.

Un algorithme bien pensé

Le développement de diagnostics de colmatage pour débitmètre électromagnétique est une démarche pluridisciplinaire reposant sur une compréhension très fine du procédé. Le premier point d'ancrage fut les aspects théoriques des interfaces électrode-électrolytes. Des mesures effectuées en laboratoire dans diverses conditions, suivies de mesures *in situ* chez les clients d'ABB représentatifs de différentes applications permirent d'analyser les encrassements spécifiques du procédé.

Les effets des différentes propriétés de liquides et des matériaux de colmatage ont été analysés par des mesures et simulations ; celles-ci servirent ensuite à élaborer des modèles physiques d'équipements, qu'il restait à extrapo-

ler pour faciliter la conception de débitmètres de plus gros diamètres.

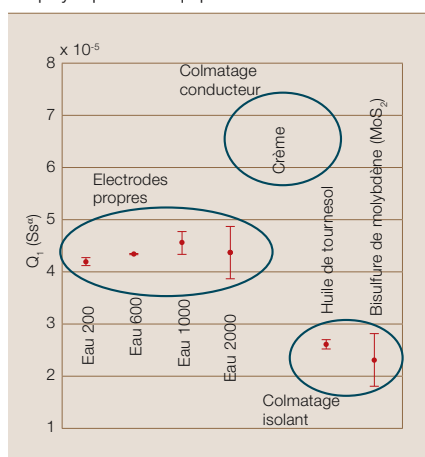
L'effet du colmatage sur un DEM est modélisé à l'aide de résistances liées à la fréquence, que l'on interpose entre les électrodes et la masse de l'appareil [7b]. Des éléments à phase constante reproduisent précisément les caractéristiques de l'interface électrode-électrolyte pour fournir des informations clés sur le colmatage réel (électrodes propres, encrassement conducteur ou isolant) du DEM et, par voie de conséquence, sur le système. L'inverse de l'impédance entre électrodes, à hautes fréquences, est nettement proportionnel à la conductivité du liquide dans le débitmètre.

L'offre de débitmètres ABB s'est enrichie de fonctions de mesure de conductivité et de détection des bulles de gaz.

Ces mesures expérimentales furent réalisées avec différents liquides colmatants. La conductivité de l'eau, comprise entre 200 et 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, n'influe guère sur l'interface électrode-électrolyte [8] ; à l'inverse, un colmatage conducteur (crème) ou isolant (huile ou lubrifiant au bisulfure de molybdène) modifie l'élément à phase constante, ce qui permet de mesurer le colmatage indépendamment de la conductivité du milieu.

Outre ces diagnostics, ABB a enrichi son offre de débitmétrie industrielle, en partenariat avec ses clients alle-

8 Détection du colmatage par modélisation physique de l'équipement



mands et suédois, d'une mesure de conductivité et d'une détection des bulles de gaz.

Pour renforcer leur immunité aux parasites, les Vortex d'ABB intègrent un second capteur piézoélectrique.

Immunité aux vibrations

Depuis une trentaine d'années, les débitmètres à Vortex sont les vedettes de la débitmétrie industrielle et poursuivent encore aujourd'hui leur ascension en s'affranchissant des vibrations parasites.

Leur principe ⁹ se base sur le phénomène de génération de tourbillons : le passage d'un fluide sur un corps perturbateur (*barreau*) crée, de part et d'autre de l'obstacle, des tour-

billons (*vortex*) dont la fréquence est proportionnelle à la vitesse du fluide. En aval, ce chemin tourbillonnaire est détecté par un capteur piézoélectrique, sensible aux variations oscillatoires de pression.

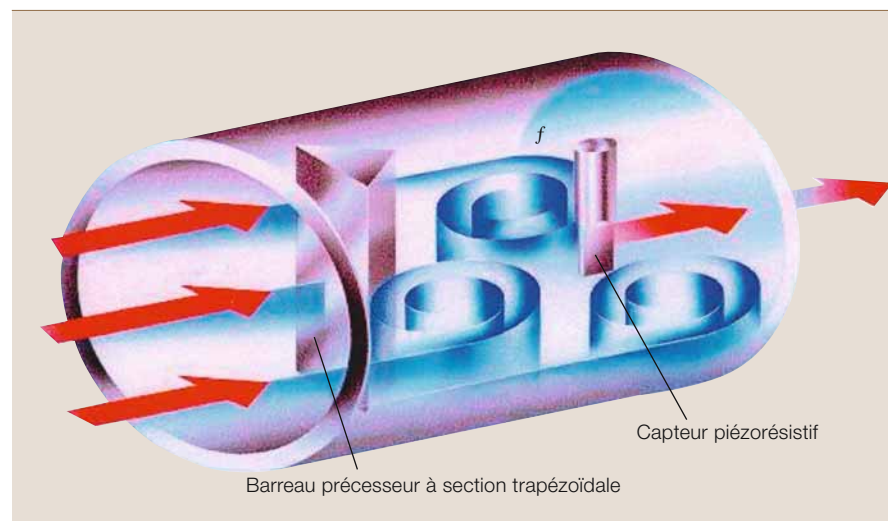
Le Vortex se basant sur une mesure de fréquence, les perturbations de type pulsations d'écoulement et vibrations de conduite (machines tournantes à proximité du débitmètre) peuvent compromettre sa performance. Pour y remédier, ABB a revu les algorithmes de calcul et le traitement du signal de ses débitmètres Vortex et à tourbillons.

En temps normal et sans bruit significatif, le spectre fréquentiel en sortie de capteur piézoélectrique présente un seul pic correspondant à la fréquence des tourbillons. En régime vibratoire, le spectre du signal piézoélectrique peut afficher des pics supplémentaires de forte amplitude ¹⁰ :

à gauche, le tracé du signal piézoélectrique montre un pic de 11 Hz dû au régime d'écoulement normal, suivi d'une perturbation grimpant à 30 Hz (presque 3 fois plus!), provoquée par les vibrations. Ces effets sont surtout manifestes aux petits débits lorsque l'amplitude des oscillations engendrées par les tourbillons est faible. Or ce problème ne peut être résolu par un simple filtrage du bruit « aveugle ».

Pour renforcer l'immunité aux parasites de ses débitmètres Vortex, ABB les a dotés d'un second capteur piézoélectrique monté à l'extérieur du tube, qui réagit seulement aux perturbations. L'algorithme de compensation mis en œuvre est capable d'éliminer les pics de vibration sans supprimer le pic d'écoulement lorsque les vibrations sont à la même fréquence. Sans cette stratégie, l'algorithme délivrerait la sortie faussée de 30 Hz ¹⁰. Le tracé de droite illustre le signal après compensation : le pic vibratoire a totalement disparu, le pic principal est intact.

⁹ Principe de la mesure à effet Vortex



Andrea Andenna

Daniel Schrag

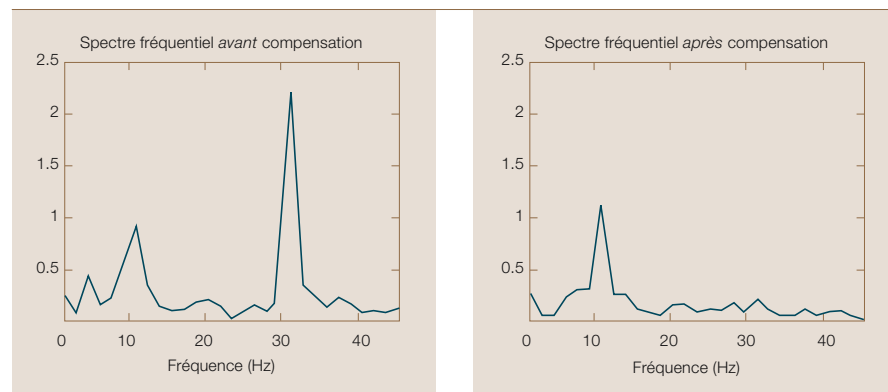
ABB Corporate Research
Baden-Dättwil (Suisse)
andrea.andenna@ch.abb.com
daniel.schrag@ch.abb.com

Armin Gasch

Paul Szász

ABB Corporate Research
Ladenburg (Allemagne)
armin.gasch@de.abb.com
paul.szasz@de.abb.com

¹⁰ Effets de l'algorithme de compensation en vibrations



Bibliographie

- [1] Gebhardt, J., Müller, P. O. *Droit de regard sur le process – Diagnostics à la fois : un usage de raison*, Revue ABB, 1/2006, p. 68–73
- [2] NAMUR, VDI/VDE (GMA), 2006, *Final Report Technology-Roadmap Process-Sensors 2005–2015*
- [3] Riegler, P. 2002, *Pitfalls of Advanced Data Analysis for Soft Sensors*, 11. ITG/GMA-Fachtagung Sensoren und Mess-Systeme, Ludwigsburg 63–66

Lecture complémentaire

Keeping, S., Volonterio, E., Keech, R., Johnston, G., Andenna, A. *Traitement de faveur*, Revue ABB, 4/2007, p. 12–17

Amélioration de la performance environnementale

Des solutions pour réduire les sous-produits et effluents industriels

Jean-Marie Hermant



Les industriels recherchent en permanence à optimiser leur production, fiabiliser leurs procédés et, bien entendu, réduire leurs coûts. Les solutions techniques qui leur sont proposées doivent anticiper les futurs besoins des sites, s'adapter à l'évolution du cadre réglementaire et répondre aux impératifs économiques.

L'activité Cellier propose des solutions et installations automatisées clés en main pour différents secteurs industriels (pâte et papier, lubrifiants, peintures et chimie de spécialité) obligés de réduire leurs rejets polluants depuis plusieurs années. Cette obligation impose de recourir à des technologies innovantes qui diminuent significativement la concentration en produits toxiques des effluents, ce que font précisément les solutions Cellier.

La société Cellier, intégrée à ABB France depuis 2000, est implantée sur le site idyllique d'Aix-les-Bains en Savoie et bénéficie de plus d'un demi-siècle d'expertise dans la préparation des sauces de couchage pour les papeteries du monde entier **Encadré 1**. Outre la fourniture d'unités de production clés en main, Cellier conçoit et réalise des solutions innovantes de formulation de produits chimiques, incluant le stockage des matières premières, des systèmes de transfert de poudre, de dispersion, de cuisson, de mélange, de filtration et de nettoyage des tuyauteries ainsi que des systèmes de supervision de procédés, soit comme équipement indépendant, soit sous forme d'unités intégrées. Par ailleurs, Cellier propose différents types de prestations (études, développement, approvisionnement et mise en service) pour la réalisation d'unités de fabrication de papier, carton et «tissue», de lignes de désencrage, d'installations de mélange de lubrifiants, d'usines de fabrication de graisses, de peintures industrielles et décoratives, ainsi que divers produits chimiques de spécialité (résines, adhésifs, etc.).

La pénurie d'eau affecte environ 40 % de la population mondiale. Il est donc important de préserver cette ressource précieuse et de la recycler efficacement.

Enfin, l'offre de Cellier comprend des solutions innovantes comme, par exemple, les systèmes de nettoyage en place (CIP), de filtration et de raclage qui aident les clients à réduire leurs rejets polluants en minimisant et en valorisant les sous-produits et effluents.

Agir pour le futur

Les industriels doivent réduire l'impact de leurs activités sur l'environnement pour de nombreuses raisons, au premier chef l'épuisement des ressources en eau et le renforcement des contraintes réglementaires.

On estime que la pénurie d'eau affecte environ 40 % de la population mon-

diale¹⁾ et que la situation ne cesse de s'aggraver en raison de la croissance démographique, de l'urbanisation et de l'exploitation accrue de cette ressource précieuse par les ménages et les industriels. C'est pourquoi chaque individu et chaque entreprise ont leur part de responsabilité dans la préservation de l'eau et son recyclage efficace.

Face à la nécessité grandissante de protection de l'environnement et à l'évolution permanente de la législation, la conscience écologique des consommateurs se développe de plus en plus.

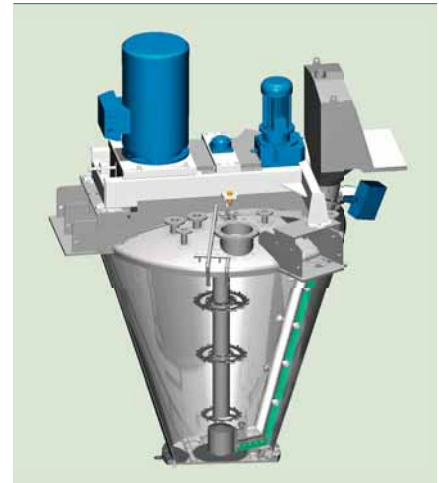
Pour commencer, un industriel peut limiter son «empreinte hydrique» (consommation d'eau douce) en réutilisant l'eau filtrée dans des applications habituellement consommatrices d'eau douce, comme le rinçage. Il peut également valoriser ses effluents en récupérant les matières premières concentrées ou les sous-produits.

La législation, comme les directives européennes REACH (enregistrement, évaluation et autorisation des substances chimiques) et IPPC (prévention et réduction intégrées de la pollution), vise à protéger à la fois l'environnement et la santé humaine. Des facteurs économiques entrent également en ligne de compte, l'objectif pour les usines étant de consommer moins d'eau et de produits chimiques, et d'accroître les opérations de traitement.

Face à la nécessité grandissante de protection de l'environnement et à l'évolution permanente de la législa-

tion²⁾, la conscience écologique des consommateurs se développe de plus en plus. Les entreprises à même d'anticiper sur l'avenir seront seules capables, sur le long terme, de gagner du temps et de l'argent et, donc, de renforcer leur rentabilité. Lorsque la

1 Solution de nettoyage en place Delicel CIP



Encadré 1 Cellier

La société Cellier, fondée en 1950, fabriquait à l'origine des cuves en acier inoxydable. Progressivement, elle a appliqué son savoir-faire à l'industrie papetière, bien implantée dans la région grenobloise, en proposant des mélangeurs, des cuves et des tuyauteries. Dans les années 1970, l'entreprise ouvre ses premières filiales en Grande-Bretagne, en Allemagne, aux États-Unis et au Brésil. À la fin des années 1980, Cellier était devenu leader mondial du secteur papetier et détenait près de 65 % du marché des unités de préparation chimiques et des «cuisines de couchage». Son expertise inclut maintenant le mélange de lubrifiants et d'additifs, la fabrication de peintures, de vernis et de résines, ainsi que d'autres produits chimiques.

Ses solutions s'adressent aux industriels désireux d'augmenter leur capacité de production, de modifier leur procédé, d'améliorer la qualité des produits ou de réduire les pertes et effluents. De plus, les industriels qui souhaitent moderniser leurs unités de production bénéficient ainsi d'une installation adaptée à leurs besoins et intégrant les derniers développements technologiques.

Notes

¹⁾ Organisation Mondiale de la Santé, www.who.int (site consulté en mars 2009)

²⁾ Amélioration des conditions de travail et de sécurité, protection de l'environnement

³⁾ Réduction des temps de cycle réalisée soit avec des réacteurs à haut rendement pour réduire le temps par lot, soit avec des lignes raclées pour transférer les produits en temps masqué.

Solutions de productivité

performance économique rejoint la performance écologique, l'industriel améliore à la fois son image, sa position concurrentielle et sa gestion des risques.

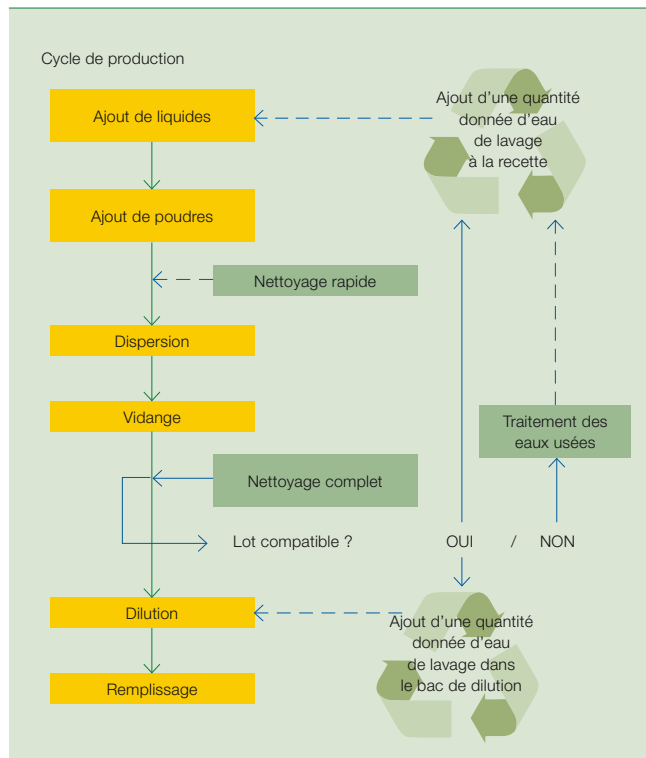
Pour aider les entreprises à améliorer leurs performances, Cellier propose des solutions de procédé innovantes et créatrices de valeur qui :

- optimisent les consommations et ressources ;
- optimisent les procédés et les capacités de production : fonctionnement en circuit fermé, disponibilité accrue des installations, maintenance allégée en minimisant les interventions des opérateurs, temps de cycle raccourcis³⁾ ;
- renforcent le degré de propreté de l'usine en optimisant les phases de nettoyage (ordonnancement des lots compatibles, lavage haute pression, recirculation des eaux usées) et en les automatisant via un système de nettoyage en place (CIP) ;

Les systèmes CIP nettoient les surfaces internes des cuves, tuyauteries et équipements connexes sans avoir à les démonter.

- facilitent la maîtrise des procédés en enregistrant, mesurant et gérant les composants, les besoins et les quantités consommées et produites. Les solutions Cellier garantissent également la précision des dosages

2 Cycle de production du Delicel CIP



et la reproductibilité des procédés grâce à un fonctionnement sûr (moins d'interventions manuelles) et à l'intégration des systèmes (traçabilité) ;

- réduisent et récupèrent les effluents en concentrant ou séparant des éléments solides : ces effluents nettoyés peuvent alors être valorisés comme eau de procédé ou de rinçage, comme utilité ou composant de recette.

Techniques de nettoyage en place

Les techniques de nettoyage en place (CIP = Clean-In-Place) comptent parmi les plus efficaces pour diminuer les effluents et contrôler leur production.

Les systèmes CIP nettoient les surfaces internes des cuves, tuyauteries et

équipements connexes sans avoir à les démonter. Le nettoyage est rapide et reproductible et nécessite peu de personnel. Ces systèmes sont parfaitement adaptés aux sites multi-produits fabriqués en lots de taille variable avec des équipements qui doivent fréquemment être nettoyés ou à des cycles de production de produits incompatibles. Totalement automatisées, les solutions CIP optimisent la quantité de produit nettoyant nécessaire avec, en plus, un nettoyage beaucoup plus efficace. Nous décrivons ci-après trois solutions innovantes proposées par Cellier.

Solution de mélange Delicel CIP

La solution Delicel CIP **1** combine une dispersion haute performance et un système de nettoyage automatique intégré. La dispersion et l'agi-

tation rapide se font sur la totalité de la hauteur de la cuve et pour plusieurs tailles de lots. Des buses haute pression, situées sur le bras d'agitation périphérique, garantissent un nettoyage de qualité. Les séquences de nettoyage automatiques utilisant des volumes d'eau contrôlés sont adaptées à chaque procédé.

Une séquence typique de nettoyage dans la fabrication de peintures se déroule comme suit :

- Mélange des poudres aux liquides dans le Delicel CIP avant transfert vers un bac de dilution : au cours de cette étape, l'eau est introduite via les buses de nettoyage afin d'éliminer toute trace de poudre restée sur les parois de la cuve.
- Auto-nettoyage du Delicel CIP et transfert de l'eau usée dans le bac de dilution.
- Dilution (ou finissage⁴⁾) et stockage dans le bac de dilution.

Le Delicel CIP présente de nombreux avantages. Primo, il réduit jusqu'à 90 % la quantité d'effluents produite et

3 Vanne raclable en H



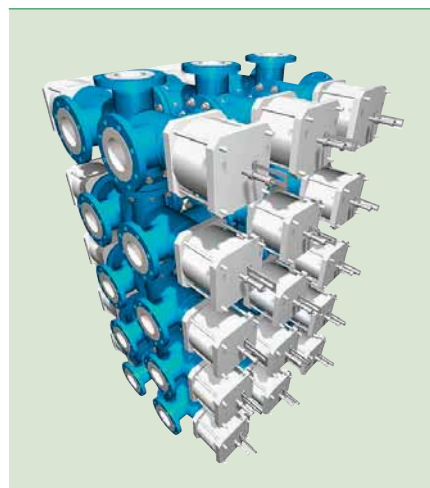
Note

⁴⁾ Nécessaire pour obtenir un produit dont la concentration finale est inférieure à la concentration initiale.

tout ou partie de l'eau de nettoyage peut être réutilisée. Secundo, le nettoyage est automatique et immédiat : les quantités de liquide de nettoyage sont contrôlées et le procédé ne nécessite aucune intervention humaine. Tertio, le temps de nettoyage est raccourci de moitié. Le système est rapidement vidé et nettoyé, prêt pour une autre opération de dispersion. La dilution se déroule en temps masqué, c'est-à-dire parallèlement à une autre opération de mélange.

De surcroît, la production est organisée en fonction de la compatibilité des lots, optimisant l'efficacité du nettoyage en termes de consommation de liquide de lavage, de temps de cycle et de qualité ².

4 Module de 15 vannes en H



Solutions de raclage des tuyauteries

Les opérations de transfert génèrent des effluents. Pour nettoyer et vider intégralement une tuyauterie, la technologie du raclage est mise en œuvre dans toutes les industries nécessitant le transfert d'un grand nombre de produits, compatibles ou non. Cette technologie consiste à déplacer un mobile étanche appelé « racleur » à l'intérieur de la tuyauterie pour la vider et la nettoyer. Un taux de récupération de 100 % du produit transféré est la norme plutôt que l'exception. Par ailleurs, on minimise la quantité de liquide de lavage utilisé en ne déplaçant qu'un petit volume entre deux racleurs.

Le système Delicel CIP réduit jusqu'à 90 % la quantité d'effluents produite et tout ou partie de l'eau de nettoyage peut être réutilisée.

Le raclage est une technique qui allie sécurité et protection de l'environnement. Ainsi, la réduction et la récupération des effluents s'effectuent en circuits fermés. De plus, elle permet le passage successif de produits différents dans la même tuyauterie. Les tuyauteries raclées sont devenues un véritable outil de procédé permettant de changer de produits et de les proportionner en évitant toute contamination croisée, ou encore de réaliser des

opérations de dosage ou transfert en temps masqué. Les ateliers deviennent alors plus flexibles et plus modulables car le réseau de tuyauteries est simplifié ou peut être étendu plus facilement tout en optimisant l'affectation des équipements (cuves, machines de conditionnement, etc.).

Cellier a développé une large gamme de composants de raclage comprenant des gares de départ et d'arrivée de racleur, des vannes de distribution, des vannes en croix ou en H ³. Ces dernières sont généralement installées au point d'intersection de trois tuyauteries qui peuvent être de diamètres différents, une intersection formant un point de communication ⁴. L'assemblage matriciel assure l'interconnexion de plusieurs points d'entrée et de sortie. Fonctionnant en tout-automatique, les systèmes de raclage sont plus sûrs, plus rapides et plus fiables ⁵ ⁶.

Dispositif vide-fûts

Le vidage manuel des fûts augmente le risque d'accident et/ou de gaspillage. Qui plus est, le manque de précision et de traçabilité du dosage est également un inconvénient majeur.

Le dispositif vide-fûts de Cellier sert principalement à transférer, sans perte, les additifs liquides contenus dans des fûts ou conteneurs ⁷. Il dose également le produit transféré, rince les fûts et tuyauteries une fois vidés et récupère le produit de rinçage ou l'intègre à la recette. Enfin, il est inter-

5 Manifold raclable, usine de lubrifiants industriels Sinopec (Chine)



6 Lignes raclées, usine de peintures Pintuco (Colombie)



Solutions de productivité

7 Dispositif vide-fûts



L'usine Dyrup d'Albi (France), qui fabrique des produits pour le traitement du bois, a réduit sa consommation de solvants de 60 % depuis 1990.



facé au système de supervision de l'usine et contribue à la gestion des recettes et à la planification de la production.

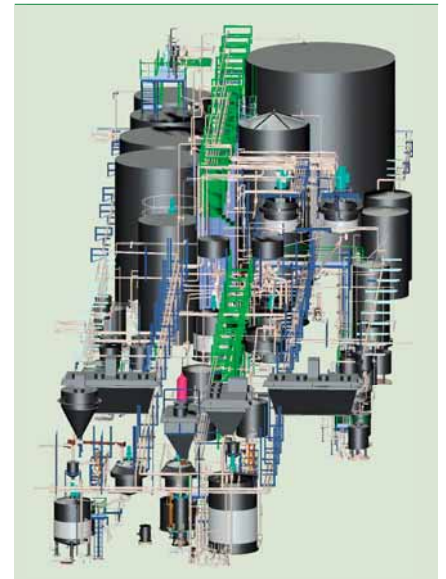
Avantages du système :

- Précision et fiabilité : le dosage est piloté par le gestionnaire des recettes ;
- Traçabilité : l'opérateur reçoit des instructions spécifiques sur un ter-

minal relié au système de supervision, pour l'aider à enregistrer le produit à transférer. La gestion des volumes résiduels et des stocks est ainsi simplifiée ;

- Sécurité, propreté et ergonomie ;
- Récupération des produits onéreux et recyclage des fûts nettoyés ;
- Réintroduction des produits de nettoyage dans la recette ;
- Maintenance facile.

Représentation 3D d'une unité classique de formulation chimique fabriquée par Cellier pour l'industrie papetière



8 Filtercel



Le dispositif vide-fûts de Cellier sert principalement à transférer, sans perte, les additifs liquides contenus dans des fûts ou conteneurs.

Filtercel – solution de filtration en ligne

Le Filtercel est un filtre en ligne haute pression dont le seuil de filtration varie de 50 à 500 μm [8]. Il sépare, concentre et élimine automatiquement les contaminants pour garantir la qualité du produit final. Le Filtercel combine un système auto-nettoyant à décolmatage continu (par racleurs) et une rampe de lavage haute pression rotative agissant sur le panier filtrant. Il peut être installé comme point de filtration unique ou monté sur un circuit de recirculation. Il convient aux produits à forte viscosité ou à concentration élevée en matières sèches. Il sert également à filtrer les dispersions pigmentaires de l'industrie

Atelier de fabrication de peintures, usine Blanchon Syntilor (France)



papetière ainsi que les résines, colles et peintures ⁹.

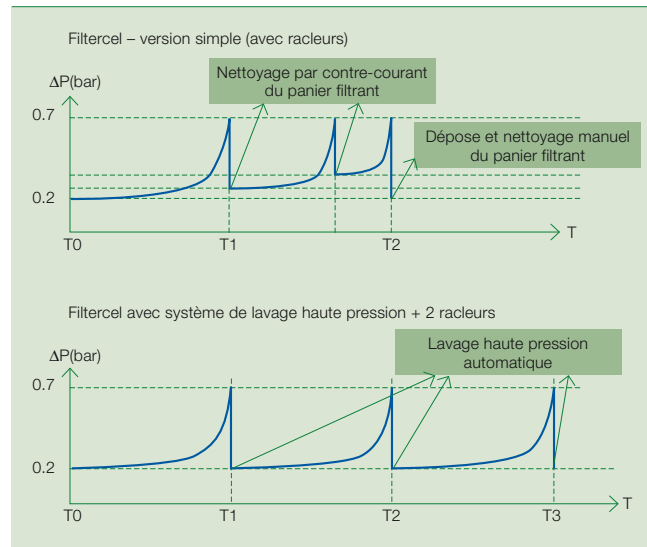
Le Filtercel est un filtre en ligne qui sépare, concentre et élimine automatiquement les contaminants.

Avantages de Filtercel :

- Réduction de 50 % de la consommation de liquide de nettoyage et efficacité accrue par l'action continue du racleur et le lavage haute pression du panier ;
- Minimisation des volumes d'effluents et des pertes de produit grâce à la concentration des contaminants et à leur évacuation automatique au cours d'une opération rapide de vidange ;
- Toutes les fonctions (nettoyage et vidange selon les besoins du procédé) sont automatiques pour un fonctionnement non-stop ;
- Simplification de la maintenance : le nettoyage automatique supprime tout besoin de démontage du panier métallique.

Le Filtercel réduit à la fois la fréquence de colmatage des filtres situés en aval

9 Courbes de performance de Filtercel : lot après lot, l'efficacité de filtration reste inchangée.



et les dégâts causés par les contaminants aux autres équipements aval.

Atouts du tout-automatique

Tout projet de réduction des effluents doit tenir compte des risques potentiels de défaillance des installations automatisées pouvant être à l'origine d'un accident écologique (débordement d'un réservoir, erreur de raccordement d'un flexible, fuite d'une pompe, etc.). L'automatisation constitue le moyen le plus efficace pour réduire, voire éliminer, le risque d'erreur humaine ou de dysfonctionne-

ment d'un procédé. Ses atouts sont nombreux : gestion et surveillance constante des procédés, modes d'urgence, mesures organisationnelles et acquittements par les opérateurs, dispositifs de sécurité et verrouillages.

La réussite d'un tel projet dépend principalement, d'une part, de processus simples et reproductibles et, d'autre part, de mesures rigoureuses. Les atouts de ce type de système automatique, avec indicateurs clés de performance, sont énumérés dans l'encadré 2.

Cellier ne cesse de développer des solutions innovantes.

Onze Delicel CIP ont récemment été installés dans une usine de peintures en Thaïlande, suite à la décision de l'exploitant d'améliorer à la fois les performances opérationnelles et environnementales. En France, un autre fabricant de peintures a intégré le procédé de nettoyage du Delicel CIP dans sa démarche de qualité. Ces réussites démontrent l'intérêt croissant des industriels pour des technologies plus respectueuses de l'environnement par la mise en place d'un véritable programme de gestion des consommations d'eau et de solvants, de réduction des rejets, tout en améliorant la rentabilité par l'abaissement des coûts de production.

Encadré 2 Avantages de la mise en œuvre de processus et méthodes simples et reproductibles avec des indicateurs clés de performance environnementale pour réduire les effluents

- Contrôle des flux matières : identification, enregistrement et localisation des produits et conteneurs,
- Contrôles des lots, des quantités et de leur statut (par exemple, quel composant dans quel lot, statut d'approbation du lot),
- Intégration du nettoyage en tant qu'étape de fabrication,
- Suppression ou limitation des opérations de nettoyage (lignes raclées),
- Concentration des effluents (pré-rinçage, lavage haute pression, filtration),
- Ordonnancement rigoureux de la production pour réduire le nombre de nettoyages,
- Regroupement des produits par famille selon leur compatibilité,
- Suivi du statut des équipements (degré de propreté et nom du dernier produit fabriqué),
- Standardisation de procédures éprouvées et reproductibles pour minimiser les risques d'erreur humaine ou d'accident,
- Enregistrement des transactions manuelles ou semi-automatiques,
- Mesure et gestion des effluents : le système étudie toute possibilité d'amélioration des performances, minimise les volumes d'effluents et permet leur réutilisation.
- Analyse des effluents à l'aide d'analyseurs ABB,
- Traçabilité avancée incluant toutes les informations pertinentes, la mesure des volumes et contenus, les historiques.

Jean-Marie Hermant

ABB Process Automation
Aix-les-Bains, Savoie (France)
jean-marie.hermant@fr.abb.com

Un appareillage compact et fiable

40 ans d'innovation dans l'appareillage d'interruption à isolation gazeuse de 52 à 1 100 kV

Lothar Heinemann, Franz Besold

Développer des produits de haute technologie est un travail de longue haleine. Il a fallu des années à ABB pour créer et perfectionner sa gamme d'appareils d'interruption à isolation gazeuse pour des tensions de 52 à 1 100 kV. Une écoute permanente du marché, un sens de la créativité et un savoir-faire inégalé ont permis au Groupe de s'imposer comme leader mondial dans cette technologie. C'est en innovant sans cesse qu'ABB a été capable de développer un appareillage compact, polyvalent, fiable et performant qui colle aux besoins du marché et s'adapte aux impératifs de chaque client.



ABB, ÉTERNEL PIONNIER

La fiabilité et la sécurité de l'alimentation électrique passent par les disjoncteurs qui protègent les réseaux des courts-circuits. Ces appareils, installés dans les centrales et les postes électriques, étaient traditionnellement isolés dans l'air ; or cette technologie a l'inconvénient d'être très encombrante car elle impose des distances d'isolement entre les parties actives et la terre qui peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres selon le niveau de tension. A l'inverse, un appareillage à isolation gazeuse s'affranchit de ces distances et les disjoncteurs peuvent donc fonctionner en toute sécurité dans un espace clos. Un poste qui met en œuvre cette technologie occupe ainsi 10 fois moins de place qu'un poste à coupure dans l'air ! [1]

Une écoute permanente du marché, un sens la créativité et un savoir-faire inégalé ont permis à ABB de s'imposer comme leader mondial dans la technologie de l'appareillage à isolation gazeuse et les services.

A travers le monde, des appareils à isolation gazeuse sont proposés par de nombreux fabricants bien connus qui jouissent de plusieurs décennies d'expérience dans le domaine de l'appareillage d'interruption. Plus récemment, d'autres fabricants ont ajouté à leur offre ce type de produits, intensifiant la concurrence sur ce marché, plus particulièrement sur le créneau des faibles niveaux de tension.

De l'extérieur, les produits de ces nouveaux venus semblent, à première vue, peu différents de ceux des fabricants de longue date d'appareils à isolation gazeuse. Pour autant, à y regarder de plus près, il devient évident que les produits de ces derniers bénéficient de longues années d'innovation, d'évolution et de développement **Encadré**.

Pour acquérir et conserver un haut niveau de savoir-faire dans ce domaine, il faut un personnel très motivé, capa-

ble de s'adapter en permanence au progrès technologique et aux nouvelles méthodes de fabrication. ABB doit sa réputation mondiale à son offre fournie de produits et services, fruit d'une stratégie de développement tirée par le marché, d'un savoir-faire et d'une inventivité hors pair.

Les produits ABB bénéficient de longues années d'innovation, d'évolution et de développement.

De lourds investissements en recherche-développement (R&D) sont obligatoires pour relever les défis technologiques du développement d'appareils à isolation gazeuse : utilisation de matériaux innovants, intégration dans les systèmes, besoins de fiabilité et franchissement de paliers technologiques [4,5,6].

La technologie de l'isolation gazeuse est apparue aux Etats-Unis, en 1936, avec un appareillage de 33 kV isolé au fréon. L'hexafluorure de soufre (SF_6), découvert au milieu des années 1950, est un gaz qui possède de remarquables propriétés diélectriques et d'extinction de l'arc électrique ; dès

le milieu de la décennie suivante, les premiers appareils au SF_6 arrivèrent sur le marché avec un large potentiel d'applications.

Au fil des ans et des développements successifs, ABB a mis au point une gamme de produits pour des tensions de 52 à 1 100 kV, intégrant de nombreuses innovations technologiques protégées par des brevets [7,8,9].

ABB a développé un appareillage compact, polyvalent, fiable et performant qui colle aux besoins du marché et s'adapte aux impératifs de chaque client.

Aujourd'hui, l'appareillage au SF_6 d'ABB regroupe 2 grandes catégories de produits : les appareils jusqu'à 170 kV **1** (presque exclusivement en triphasé) et les appareils de plus de 170 kV **2** (principalement en monophasé).

Applications < 170 kV

A la fin des années 1960, les assem-

Encadré Les 7 piliers de l'appareillage au SF_6

- Modularité des composants : les différentes possibilités d'assemblage autorisent une adaptation totale aux besoins de chaque client en termes d'encombrement et de coût.
- Flexibilité et sécurité du système : les parties actives de l'appareillage, sous tension élevée, doivent interagir efficacement avec l'organe de manœuvre (chambre de coupure, sectionneur et sectionneur de terre rapides ou non).
- Conformité normative [2,3] et traçabilité : tous les composants doivent avoir subi les essais de type et être certifiés, de préférence par un laboratoire indépendant.
- Automatisation des postes (ex., câblage client, commande numérique...) : chaque cellule d'appareils au SF_6 doit pouvoir communiquer à distance avec un poste et un centre de conduite du client.
- Savoir-faire du fabricant : gestion et suivi des commandes clients et des projets, études techniques, contrôle qualité, approvisionnements, production et assemblage en usine et sur site, exhaustivité et clarté de la documentation.
- Qualité de service : équipes de professionnels bien formés, capables d'intervenir rapidement dans le monde entier pour l'entretien et la maintenance de l'équipement, remplacer des composants ou modules dans des postes électriques, et assurer la migration technologique.
- Capacité d'innovation : une équipe de développement fiable et de haut vol, mêlant jeunes talents et ingénieurs expérimentés.

ABB, ÉTERNEL PIONNIER

blages d'appareils en enveloppe, équipés à l'origine de disjoncteurs à faible volume d'huile, furent remplacés par un appareillage au SF₆. Le premier produit commercialisé fut l'EBK-01 avec un niveau de tension de 123 kV, de courant de court-circuit de 31,5 kA et de courant de fonctionnement de 2 000 A. Il comportait un disjoncteur horizontal à double pression, simple à utiliser. Commercialisé en 1969, il possédait déjà des modules à jeux de barres triphasés. La quasi-totalité des appareils de la première série (cellules) livrés par ABB est encore en exploitation. En 1973, le disjoncteur EBK-02 supplantait l'EBK-01, avec des performances supérieures de 31,5 kA sous 145 kV (2 500 A).

Étape majeure suivante : le lancement, en 1978, du premier appareillage entièrement triphasé au monde : l'ELK-01 (145 kV, 31,5 kA et 2 500 A), équipé d'un disjoncteur vertical à soufflage forcé et à simple pression, d'une maintenance aisée. Il fut relayé par l'ELK-02 qui se démarquait nettement de ses prédécesseurs par sa plus grande modularité.

Jusque-là, les sectionneurs de ligne et les sectionneurs de mise à la terre de tous les modèles étaient logés dans des enveloppes séparées et les disjoncteurs étaient à commande hydraulique. L'ELK-03 (170 kV, 40 kA, 3 150 A), lancé en 1986, offrait des performances supérieures, une enveloppe unique pour loger les section-

L'ELK-03 d'ABB offrait des performances supérieures, une enveloppe unique pour loger les sectionneurs et les sectionneurs de terre ainsi qu'une commande hydro-mécanique à ressorts pour le disjoncteur.

neurs et les sectionneurs de terre ainsi qu'une commande hydromécanique à ressorts pour le disjoncteur. Ce modèle évolua deux ans plus tard pour incorporer la technologie des disjoncteurs à autosoufflage, diminuant ainsi l'énergie de manœuvre. Depuis, tout

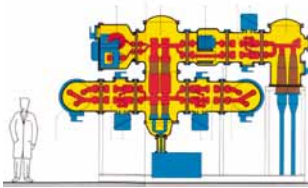
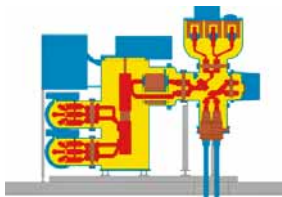
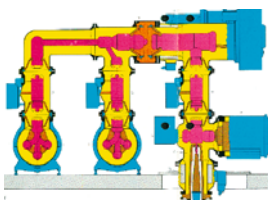
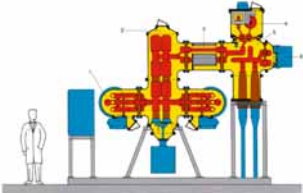
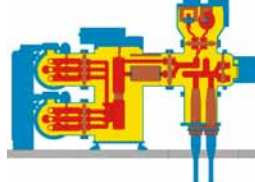
l'appareillage au SF₆ jusqu'à 170 kV intègre des disjoncteurs à autosoufflage.

1992 vit l'avènement de l'ELK-04 (170 kV, 40 kA, 3 150 A), beaucoup moins encombrant et avec un mode de raccordement totalement nouveau entre le jeu de barres et les modules de travée. Le gain de place était tel qu'il permit de loger la totalité de l'appareillage dans un seul conteneur industriel standard. Des années après son lancement commercial, l'ELK-04 demeure encore aujourd'hui l'un des types d'appareillage les plus compacts dans la catégorie des 170 kV.

D'autres progrès ont permis de porter ce type d'appareillage à 50 kA sous 170 kV (3 150 A) en 1997, puis à 63 kA sous 145 kV (4 000 A) en 2002, sans nuire à sa compacité. Ces versions possédaient également des disjoncteurs à autosoufflage et des commandes hydromécaniques à ressorts ³.

Un nouveau modèle, l'EXK-0, fut développé en 1996 avec des valeurs assignées inférieures (123 kV, 40 kA, 2 500 A) qui furent néanmoins rele-

1 Rapide historique de l'appareillage à isolation gazeuse pour les applications < 170 kV

ELK-01/02  1978 - ELK-01, entièrement triphasé 1980 - ELK-02, modulaire		EXK-0 (gamme actuelle)  1996 - 123 kV, 2 500 A, 40 kA 2003 - porté à 145 kV, 2 500 A 2005 - porté à 145 kV, 3 150 A
EBK-0  1969 - jeu de barres, triphasé 1973 - porté à 145 kV, 2 500 A	ELK-03  1986 - 170 kV, 40 kA 1988 - avec chambre de coupure à autosoufflage	ELK-04 (gamme actuelle)  1992 - 170 kV, 3 150 A, 40 kA 1997 - porté à 50 kA, 3 150 A 2002 - porté à 63 kA, 4 000 A

ABB, ÉTERNEL PIONNIER

vées successivement à 145 kV, 40 kA, 2 500 A en 2003, puis à 145 kV, 40 kA, 3 150 A en 2005.

Ces deux types d'appareillage, conçus à l'origine séparément pour répondre à des besoins différents, ont aujourd'hui convergé vers un système modulaire largement standardisé, non seulement pour les composants primaires (disjoncteurs, sectionneurs de ligne et de terre) mais également leurs organes de manœuvre. Cette modularisation de deux produits quasi identiques déboucha sur le lancement d'un produit unique sous l'appellation désormais familière d'ELK-04.

15 ans après son lancement commercial, l'ELK-04 demeure encore aujourd'hui l'un des types d'appareillage les plus compacts dans la catégorie des 170 kV.

Applications ≥ 170 kV

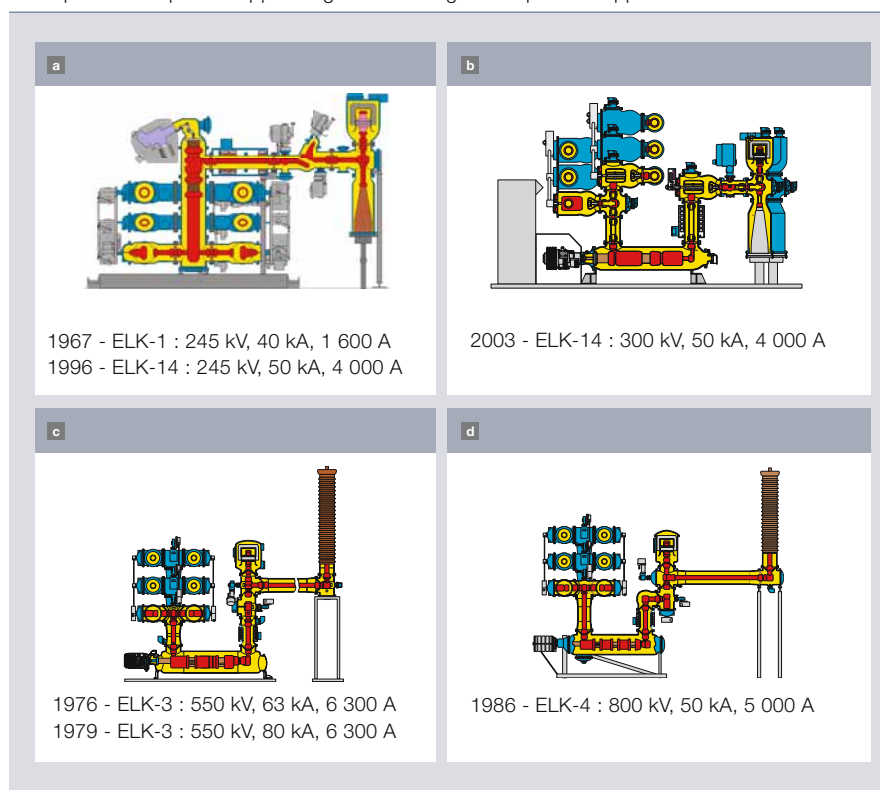
L'appareillage au SF₆ ELK-01 de 1967 était conçu pour des applications monophasées à un jeu de barres, avec un pouvoir de coupure de 40 kA sous 245 kV (1 600 A) ^{2a}. Ce type de produits fut développé parallèlement aux modèles EBK pour des niveaux de tension plus élevés. Chacun des disjoncteurs, équipés de chambres de coupure à soufflage forcé, était manœuvré par sa propre commande hydraulique.

L'ELK-3 fut, en 1976, le premier appareillage au SF₆ de 550 kV commercialisé. Ses disjoncteurs, avec chacun 3 chambres de coupure, furent les premiers à offrir un pouvoir de coupure de 80 kA pour un courant de fonctionnement de 6 300 A ^{2a}. Montés à la verticale, ils étaient équipés d'une commande hydraulique et de résistances de fermeture.

Le premier appareillage ELK-3 fut installé, en 1979, dans un poste élec-

trique au Canada où il subit des conditions climatiques extrêmes, jamais rencontrées auparavant. Développé selon le cahier des charges du client, ABB s'était assuré qu'il pouvait non seulement respecter ses spécifications techniques, mais également endurer des températures négatives. En 1981, ABB installait 51 cellules d'appareils au SF₆ ELK-3 (550 kV, 63 kA et 4 000 A) dans l'un des plus gros postes de transport du monde, au sein de la centrale hydroélectrique

2 Rapide historique de l'appareillage à isolation gazeuse pour les applications ≥ 170 kV



3 Poste classique équipé d'un ELK-04 à Majorque (Espagne) a Appareils dans l'air remplacés par un appareillage au SF₆ ELK-04 (Californie, USA) b



ABB, ÉTERNEL PIONNIER

brésilienne d'Itaipu. Chaque disjoncteur, monté en position verticale, possède 2 chambres de coupure, actionnée chacune par une commande hydraulique. Plus de 20 ans après son installation, ce poste protège toujours les réseaux électriques qui alimentent le Brésil et le Paraguay. Ce projet complexe exigea la conception et l'installation d'un poste extrêmement fiable et compatible avec les fréquences de 50 Hz et 60 Hz; chacun de ses composants devait être conçu pour être facilement remplacé en cas de besoin.

Plus de 20 ans après son installation, le poste à appareillage au SF₆ de la centrale hydroélectrique d'Itaipu protège toujours les réseaux électriques qui alimentent le Brésil et le Paraguay.

L'appareillage ELK-4 ^{2a}, fruit de nouvelles innovations, fut développé pour répondre aux besoins de performances accrus (800 kV, 50 kA et 5 000 A). Aussi compact que son prédécesseur, il permet d'installer un poste à très haute tension (THT) dans un espace restreint. Chaque disjoncteur, avec ses 4 chambres de coupure et ses résistances de fermeture, est monté à la verticale. Lancé en 1986, ce nouveau produit fut d'abord installé en Afrique

du Sud, sur un site à plus de 1 000 m d'altitude.

L'ELK-14 (245 kV, 50 kA et 4 000 A) fut développé en 1996 sur le modèle de l'ELK-1 ^{2a}. La chambre de coupure à autosoufflage était à commande hydromécanique, une première pour une tension supérieure à 170 kV. Quelques années plus tard, le succès de l'ELK-14 incita à doper ses performances à 50 kA sous 300 kV (4 000 A) ^{2b} et à loger les modules des sectionneurs et des sectionneurs de terre dans une seule et même enveloppe.

Début 2003, ABB équipa la centrale hydroélectrique du barrage des Trois Gorges, en Chine ⁴, d'un poste de 63 kA sous 550 kV (4 000 A) qui, à ce jour, demeure le plus grand poste à isolation gazeuse au monde! Avant de pouvoir mettre en service les 73 cellules, à l'automne 2008, il fallut résoudre de nombreux problèmes techniques et logistiques ⁵. Les disjoncteurs sont montés à l'horizontale et équipés d'une commande hydromécanique de type HMB ⁶. Très compact, ce poste a pu être installé sur la digue en béton du barrage.

Dernier défi relevé par ABB: le développement de l'appareillage au SF₆ ELK-5 pour la THT (1 100 kV, 63 kA et 6 000 A), qui remporte la palme de la compacité à ce niveau de performance [8] et se distingue par ses 4 chambres de coupure horizontales en série et ses résistances de fermeture en parallèle ⁷.

Les atouts de la modularité

Aujourd'hui, tous les types d'appareillage ont une architecture modulaire très standardisée, quel que soit le niveau de tension. A partir d'un nombre limité de modules de base, on peut ainsi satisfaire à des besoins très divers. Cette modularité s'applique aussi bien aux constituants primaires (disjoncteur, sectionneurs et sectionneurs de terre) qu'à leurs commandes. Tous les appareils au SF₆ intègrent aujourd'hui un disjoncteur à commande hydromécanique également modulaire pour adapter aisément la vitesse de déplacement des contacts des différentes chambres de coupure et donc obtenir une vitesse très rapide, en particulier en fin de manœuvre. L'impact mécanique de la manœuvre sur la chambre de coupure est donc très faible. L'énergie accumulée par les ressorts à disques n'est pas restreinte par la séquence «O – 0,3 s – FO»

L'appareillage au SF₆ ELK-5 pour la très haute tension (1 100 kV, 63 kA et 6 000 A) remporte la palme de la compacité à ce niveau de performance.

(ouverture – 0,3 s – fermeture) exigée pour la conformité normative et permet d'envisager des séquences plus complexes (ex., O – 0,3 s – FO – 0,3 s

⁴ Centrale hydroélectrique des Trois Gorges (Chine)



⁵ Poste à isolation gazeuse de 550 kA sous 550 kV (4 000 A) installé dans le barrage de la centrale chinoise



ABB, ÉTERNEL PIONNIER

– FO) sans recharge, ce qui est fréquemment le cas des marchés arabes et américains. De plus, les différents types de commande autorisent un fonctionnement unipolaire opportun et précis, indépendant du mécanisme, tout en commandant la commutation.

Outre cette modularité et cette harmonisation des mécanismes de manœuvre, l'appareillage peut utiliser la dernière génération de dispositifs numériques avec le protocole de communication normalisé CEI 61850 [10]. Des fonctionnalités de diagnostic et de surveillance d'état pour la gamme complète sont également proposées pour la dernière génération d'appareillage et pour moderniser l'appareillage existant, grâce à une architecture ouverte.

Ecoperformance

La technologie de l'isolation gazeuse évolue et progresse d'une part pour s'adapter à la dynamique du marché et aux contraintes normatives changeantes et, d'autre part, pour réduire son empreinte écologique. Cela suppose d'utiliser un minimum de composants potentiellement dangereux en cours de fabrication et un maximum de composants facilement recyclables en fin de vie. Il s'agit également

d'adopter une démarche d'écoconception des produits (moins de matières premières et d'énergie primaire lors de leur fabrication). Conformément aux objectifs de diminution des émissions de gaz à effet de serre du protocole de Kyoto (1997), on s'est efforcé de réduire les volumes de gaz SF₆ par module et, donc, par appareillage complet.

Dès les premiers travaux de développement des appareils au SF₆, cette réduction a été la priorité de chaque nouveau modèle [8]. Les plus récents contiennent 40 % de SF₆ de moins que leurs prédécesseurs pour des performances très supérieures. A performances égales, la réduction du SF₆ aurait été encore plus marquée.

Au fil des ans, ABB a fortement réduit les quantités de SF₆ utilisées dans son appareillage alors que les performances des nouveaux modèles ne cessaient d'augmenter.

Evolution du marché

Quels que soient les composants, primaires ou secondaires, tous les types d'appareillage au SF₆ se caractérisent par leur haut degré de standardisation et d'intégration fonctionnelle. Des produits modulaires aux spécifications en adéquation avec les besoins du marché sont les mieux à même de satisfaire chaque client.

Au niveau mondial, trois tendances fortes se dégagent nettement pour le marché de l'appareillage à isolation gazeuse :

Extension des postes et remplacement de l'appareillage

Souvent situés dans les zones densément peuplées des grands bassins industriels et des mégapoles, les postes de distribution doivent satisfaire une forte demande énergétique. Les prix du foncier y étant élevés, la compacité de l'appareillage au SF₆ constitue un réel avantage sur celui à coupure dans l'air très encombrant.

Hausse de la demande énergétique

Les grands centres urbains à forte concentration démographique et consommant toujours plus d'électricité exigent des niveaux de tension, de

6 Commande hydromécanique de type HMB



7 Poste à isolation gazeuse de 1 100 kV, Jingmen (Chine)



ABB, ÉTERNEL PIONNIER

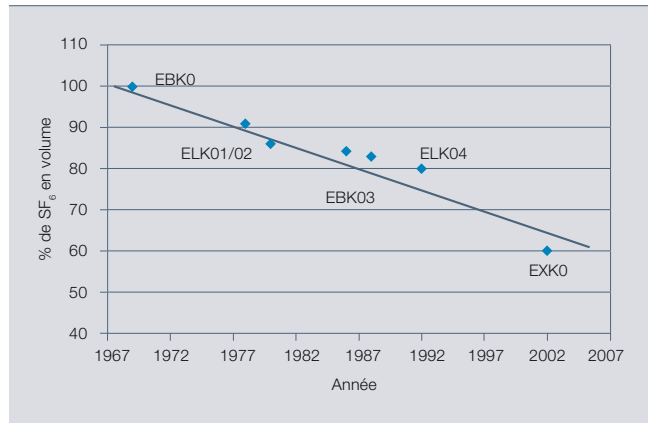
courant de court-circuit et de fonctionnement plus élevés [11,12]. Pour étancher cette soif d'énergie, l'électricité doit être acheminée plus efficacement et en toute sécurité tout en minimisant les pertes en ligne et l'impact visuel des infrastructures. Ces exigences d'efficacité sont satisfaites par les câbles à haute tension (HT). Or celle-ci doit être abaissée à des niveaux plus faibles en installant des transformateurs au plus près des consommateurs. Dans les zones densément peuplées, cela aboutit à une hausse incessante des capacités de transit des réseaux et, par voie de conséquence, des pouvoirs de coupure.

Amélioration de l'efficacité énergétique

De nouveaux types de postes électriques doivent être développés pour bâtir ou renforcer les infrastructures énergétiques des pays émergents ou de ceux qui disposent d'importantes ressources d'énergie primaire, comme la Russie ou le Moyen-Orient.

Les travaux de développement visent à réduire les quantités de SF₆ utilisées et à améliorer l'efficacité énergétique de toute la chaîne de fabrication. L'offre complète d'appareils au SF₆ exploite pleinement les dernières avancées dans les domaines de la fabrication

■ Réduction constante du volume de SF₆ dans les disjoncteurs de l'appareillage en 1 de valeurs assignées de tension 145 kV et de courant 2 500 A (volume normalisé à 100 kPa, à 20 °C)



(automatisation de la production), de l'assemblage (en usine comme sur site) et de la logistique (transport en conteneur).

Dans ce contexte, les acteurs de ce marché complexe en évolution constante doivent préparer l'avenir en se focalisant sur les aspects suivants :

- Privilégier la modularisation et la standardisation qui simplifient et réduisent les coûts d'extension des postes au SF₆ existants et le remplacement des appareils à coupure dans l'air par des modules au SF₆ ;
- Faire progresser les techniques de commutation (ex., consommation énergétique plus faible des chambres de coupure HT) ;

■ Intégrer encore plus les différentes fonctions primaires dans un seul module pour réduire les assemblages par brides.

Il faut rappeler que la fiabilité et, donc, la disponibilité de l'appareillage électrique, indépendamment de sa localisation ou de son mode d'exploitation, sont l'aboutissement de plusieurs décennies d'expérience et de savoir-faire acquis à chaque stade du développement. Pour le client, l'expertise d'ABB se concrétise par une réduction des coûts d'explo-

tation et une hausse de la fiabilité sur toute la durée de vie des produits.

Bibliographie

- [1] Zimmermann W., Osterholt A., Backes J. *Comparison of GIS and AIS Systems for Urban Supply Networks*, ABB Brochure 2003
- [2] CEI 62271-203, *Appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tensions assignées supérieures à 52 kV*
- [3] IEEE Std. C37 122-1993, *Standard for Gas-Insulated Substations*
- [4] Rees V., Zahn B. *Characteristics and advantages of gas insulated high-voltage switchgear*, ETZ, Volume 115, 22-23, 1994
- [5] Betz T., Braun T., Peters H., Heinemann L., Rees V. *Highly integrated and compact Gas-Insulated Switchgear (GIS) for 4,000A and 63kA*, IEEE T&D Show and Conference, Dallas, Etats-Unis, 2003
- [6] Holaus W., Stucki F. *Poste de garde, un appareillage d'interruption à très haute tension protège la Chine*, Revue ABB, 4/2008, p. 20-24
- [7] Neumaier H., Peitz T., Probst H. *High voltage switch-board*, EP 0 563 803
- [8] Neumaier H., Thomas V. *Isolating earthing switch with metal encapsulated gas isolated high voltage contacts has movable contact that is shifted linearly between isolating and earthing contacts*, EP 0 824 264
- [9] Holaus W., Sologuren-Sanchez D., Müller L., Bruckert M. *Encapsulated, Gas insulated switching installation*, EP 1 719 225
- [10] Heinemann L., Glock, J. *Online condition monitoring system for three phase encapsulated Gas-Insulated Switchgears*, Power Grid, Madrid, 2007
- [11] IEEE Spectrum, *Special Report Megacities*, juin 2008
- [12] Nayak R.N., Sehgal Y.K., Sen S. *Development of transmission system in India, impact on short circuit level*, International Conference on Emerging Trends in EHV Switchgear, New Delhi, Inde, 2007

Lothar Heinemann

ABB Power Products
Mannheim (Allemagne)
lothar.heinemann@de.abb.com

Franz Besold

ABB Power Products
Zurich (Suisse)
franz.besold@ch.abb.com

Rédaction

Peter Terwiesch
Chief Technology Officer
Group R&D and Technology

Clarissa Haller
Head of Corporate Communications

Ron Popper
Manager of Sustainability Affairs

Axel Kuhr
Head of Group Account Management

Friedrich Pinnekamp
Vice President, Corporate Strategy

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

Edition

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

ABB Asea Brown Boveri Ltd.
ABB Review/REV
CH-8050 Zürich
Suisse

La Revue ABB paraît quatre fois par an
en anglais, français, allemand, espagnol,
chinois et russe.

Elle est proposée 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 le bureau de la rédaction de la
revue.

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

Publisher and copyright ©2009
ABB Asea Brown Boveri Ltd.
Zurich (Suisse)

Impression

Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH
AT-6850 Dornbirn (Autriche)

Maquette

DAVILLA Werbeagentur GmbH
AT-6900 Bregenz (Autriche)

Traduction française

Brigitte Fessard
bfessard@wanadoo.fr

Avertissement

Les avis exprimés dans la présente publi-
cation 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 pro-
fessionnel. 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 responsa-
bilité 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: 1013-3127

www.abb.com/abbreview

Dans le numéro 2/2009



Le développement durable selon ABB

Le développement durable est
aujourd'hui dans tous les esprits. La
croissance démographique et l'éléva-
tion du niveau de vie de la popula-
tion mondiale font peser une lourde
menace sur les ressources limitées de
notre planète. Si, par le passé, l'opti-
misation des techniques et des procé-
dés visait des gains de productivité,
les grands défis actuels sont l'impact
environnemental et le tarissement des
ressources exploitables. Le développe-
ment durable passera par l'utilisation
d'énergies renouvelables, secteur
auquel ABB contribue avec de nom-
breuses technologies accompagnant
la filière solaire ou éolienne. Nous
pouvons également diminuer notre
dépendance vis-à-vis des sources
énergétiques traditionnelles en utili-
sant plus efficacement l'énergie dispo-
nible, en la déployant, la contrôlant et
la régulant de façon plus intelligente.

Optimiser le transport d'électricité et
adapter le réseau aux nouveaux
modes de production et de consom-
mation induits par le passage à l'éco-
nomie verte en sont des exemples.
On peut aussi mieux utiliser la tech-
nologie existante, grâce à des varia-
teurs, des turbocompresseurs ou des
mesures diminuant les gaspillages et
les rebuts de production.

Le développement durable ne se can-
tonne pas aux questions d'écologie
mais s'étend également à la sécurité
du personnel et aux méthodes de
travail, qu'il s'agisse de prévenir les
risques d'accident ou d'améliorer
l'ergonomie de l'outil de production.

Dans le droit fil de cette évolution,
le prochain numéro de la *Revue ABB*
sera principalement consacré aux
activités et produits du Groupe contri-
buant au développement durable.



Increasing energy efficiency by 25%?

A complete power and automation solution from ABB has helped the largest aluminum refinery in Europe to increase its energy efficiency by 25 percent, boosting productivity at the same time. With research and development geared toward improving performance and resource conservation, we're constantly working to save energy and money. And the environment. www.abb.com/energyefficiency

Certainly.

Power and productivity
for a better world™

