

Revue ABB

Revue de l'actualité technologique
du Groupe ABB

www.abb.com/abbreview

4 / 2007

Planète Innovations

Le meilleur de l'innovation 2007
page 6

Onduleurs de tension multiniveaux
page 26

Automatisation des postes électriques
page 38



Anecdote bien connue : pour démontrer que la solution à un problème est souvent subtile, Christophe Colomb fit tenir un œuf debout en tapotant son extrémité, arguant qu'« il suffisait d'y penser ! »

L'innovation peut éclore d'une idée simple mais ingénieuse. Pour ce numéro de fin d'année, la *Revue ABB* présente quelques réussites sorties de nos laboratoires de recherche, véritables incubateurs d'innovations.



L'innovation, tradition séculaire

Pour conduire au succès, l'innovation technologique doit respecter trois principes fondamentaux : comprendre les attentes des clients, proposer des technologies pointues pour satisfaire leurs besoins et travailler avec eux pour développer ensemble les applications porteuses d'avenir.

Cette ligne de conduite est une tradition séculaire chez ABB et l'essence même de notre Groupe. C'est le génie de nos inventeurs qui suscite le progrès technologique : développement des générateurs il y a une centaine d'années, mise au point des liaisons de transport CCHT et des variateurs de vitesse dans les années 50 et automatisation industrielle dans le sillage de la révolution informatique depuis les années 70.

Parce que l'innovation est l'aboutissement d'une démarche pluridisciplinaire qui rapproche des spécialistes d'horizons différents, le large périmètre d'action d'ABB dans les technologies de l'énergie et de l'automatisation est un terreau fertile pour l'innovation. Nos sept programmes de recherche couvrent l'intégralité de nos domaines d'activité et les technologies que nous développons sont exploitées dans tous nos métiers.

Dans ce numéro de la *Revue ABB*, nous vous invitons à découvrir le fruit de nos efforts d'innovation en 2007. Les exemples que nous avons retenus ne représentent qu'un échantillon des applications sur nos différents marchés. Illustration probante de la convergence de disciplines distinctes : l'intrusion des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans des composants traditionnels comme les disjoncteurs, les transformateurs et autres appareils qui équipent les postes électriques. De nouveaux outils pour concevoir, développer et tester les postes électriques selon la norme CEI 61850 nous permettent d'offrir des services à valeur ajoutée et de franchir un nouveau seuil de performance dans l'automatisation des postes. Grâce à cette innovation, les clients sont livrés plus rapidement tout en bénéficiant d'une souplesse opérationnelle et d'une interopérabilité accrues.

Dans cet ordre d'idée, nos ingénieurs ont appliqué aux champions mondiaux du pouvoir de coupure – les disjoncteurs d'alternateur – leurs connaissances dans le domaine des transferts thermiques par caloduc. Ce mode de refroidissement a dopé de 20 % les performances de ces appareils, un véritable tour de force pour une technologie supposée arrivée à maturité.

Autres vecteurs d'innovation, l'essaimage des technologies dans différentes applications industrielles. Il en va ainsi de la commande prédictive multivariable par modèle, bien implantée dans l'industrie pétrochimique et récupérée par les producteurs d'électricité pour accroître le rendement et réduire les émissions polluantes des centrales électriques.

La technologie des liaisons à courant continu en haute tension (CCHT) est de plus en plus perçue comme une solution efficace pour satisfaire l'appétit d'énergie de notre planète. Réduire les pertes en ligne dans les réseaux de transport est une priorité pour la Chine et pour d'autres pays où l'électricité fait défaut et où les distances entre sites de production et grands centres urbains de consommation sont énormes. Des liaisons CCHT 800 kV sont aujourd'hui disponibles pour acheminer plusieurs gigawatts d'électricité. En télémaintenance industrielle, innovation rime avec satisfaction des clients. Ici, les TIC sont au cœur du sujet et il nous revient d'être à l'origine d'avancées majeures dans pratiquement tous nos secteurs d'activité.

Si un enfant de trois ans est suffisamment agile pour assembler les pièces d'un puzzle, il n'en va pas de même d'un robot industriel, machine au demeurant robuste et puissante.

Or, grâce au contrôle d'effort, il peut désormais travailler avec une précision d'horloger, voire exécuter des tâches délicates avec habileté. Ce contrôle d'effort ouvre la voie à de nombreuses applications robotisées dans tous les secteurs industriels avec, à la clé, une forte réduction des coûts et une nette amélioration de la qualité des produits des clients.

Ce flux continu d'innovations est à mettre au crédit de milliers d'ingénieurs et de chercheurs inventifs qui travaillent en symbiose dans les centres de recherche et de développement à travers le monde. Ils identifient les besoins des clients et mobilisent des ressources pluridisciplinaires pour créer des solutions qui aident les clients à explorer de nouvelles voies fécondes dans leurs propres processus d'innovation.

Cette forte dynamique d'innovation a de tout temps été le point fort d'ABB. Il est de tradition pour la *Revue ABB* de présenter, en fin d'année, les innovations dont nous sommes particulièrement fiers. Nous espérons que vous ressentirez l'esprit d'initiative qui a guidé nos inventeurs et qu'il sera source d'inspiration.

Bonne lecture,

Peter Terwiesch
Directeur des technologies
ABB Ltd.

ABB Revue 4/2007

Planète Innovations

Le meilleur de l'innovation

6

2007, année féconde

Les 11 innovations marquantes de l'année

Produits

12

Traitement de faveur

Pour exploiter toute la richesse des données collectées par l'instrumentation de mesure, il faut savoir lire entre les lignes !

18

Nos disjoncteurs d'alternateur prennent le frais

Le refroidissement par caloduc dope les performances des disjoncteurs.

22

Question de doigté

Les robots sont la solution idéale pour les travaux lourds et les tâches répétitives. Toutefois, pour mettre la touche finale, rien de tel qu'un... robot.

26

Onduleurs de tension multiniveaux

Quand le niveau monte, les convertisseurs font baisser la consommation énergétique et les rejets polluants.

32

L'intégration en tête d'affiche

ABB remporte la palme de l'intégration avec un disjoncteur CC qui se singularise par de nombreux aspects.

Procédés

38

Célérité et qualité bien ordonnées

ABB crée l'événement avec un puissant outil couvrant tous les stades de l'automatisation des postes électriques selon la norme CEI 61850.

42

Votre usine sur écoute

En surveillant de près votre outil de production, ABB traque les baisses de forme.

45

Essais transformés sur site avec TrafoSiteRepair™

Avec TrafoSiteRepair™, si tu ne vas pas à l'atelier de réparation, c'est l'atelier qui viendra à toi !

49

Intégration sur ordonnance

L'absence de plate-forme d'intégration pour les analyseurs de procédé est une pilule amère pour l'industrie pharmaceutique. ABB a trouvé l'antidote.

53

Performance au top, pollution en baisse

Pour minimiser la variabilité de vos procédés industriels, optez pour la régulation prédictive multivariable.

R&D

58

Le grand bleu se met au vert

Les turbines de puissance et les turbocompresseurs font équipe pour des navires plus économes, moins énergivores et moins polluants.

62

Une alimentation nickel pour produire l'aluminium !

La qualité du courant électrique qui alimente une usine d'aluminium est primordiale. ABB veille au grain.

66

Plus sobre, moins polluant

Pour muscler durablement les performances économiques des sites industriels, ABB fait la chasse au gaspi.

70

Détection de mouvement

Les nouveaux détecteurs de mouvement sans fil d'ABB séduisent par leur fiabilité et leur discrétion.

ABB, éternel pionnier

74

100 ans !

En 1907, ABB livrait à la Chine sa première chaudière à vapeur. Aujourd'hui, le pays est le plus gros débouché d'ABB en termes de chiffre d'affaires.



Année féconde 2007

Dans les laboratoires de recherche d'ABB à travers le monde, les scientifiques et les ingénieurs ne ménagent pas leur peine pour créer de nouveaux produits, améliorer l'existant et imaginer de nouvelles applications pour des produits éprouvés. En résumé, ils maintiennent la tradition pionnière d'ABB et sa volonté d'innover tout en

jetant les bases des produits et applications porteurs d'avenir.

Dans les pages qui suivent, la *Revue ABB* a choisi de présenter quelques innovations marquantes de l'année 2007, décrites plus en détail dans ce numéro ou déjà évoquées dans une édition récente.

Le traitement du signal au service de l'instrumentation

L'intégrité et la fiabilité des instruments de mesure sont les clés de l'efficacité d'un procédé industriel. En même temps, ils doivent être simples à installer et faciles à entretenir. Ces qualités sont celles d'un nouveau débitmètre à auto-étalonnage, d'un transmetteur de pression qui sait si ses prises sont obturées et de dispositifs qui communiquent sans fil.

ABB a doté sa gamme WaterMaster de nouvelles fonctionnalités d'auto-étalonnage qui simplifient leur exploitation et garantissent des mesures précises. En minimisant le nombre de composants qui a un impact sur la précision de mesure (une seule résistance au lieu d'une dizaine), le comportement dynamique global du débitmètre lors des variations de température est beaucoup plus stable.

ABB est sorti des sentiers battus de l'innovation pour améliorer les performances d'un transmetteur de pression



différentielle. Les prises d'impulsion de ce dernier pouvant aisément s'obturer, de fréquents contrôles sur site sont nécessaires. ABB a trouvé la parade en analysant automatiquement le signal bruité ou les variations rapides de certaines grandeurs qui échappent à l'opération de conduite pour détecter les prises d'impulsion obturées.

Les instruments de mesure nécessitent traditionnellement des câbles à foison qui sont non seulement synonymes d'inflation des coûts, mais également une source potentielle d'erreur et un frein aux modifications. Toutes ces raisons expliquent l'intérêt croissant pour les technologies sans fil. A l'image de la normalisation des bus de terrain qui permettent de combiner des équipements multiconstructeurs,

le sans-fil pour l'instrumentation fait aussi l'objet de travaux de standardisation. ABB collabore ainsi avec d'autres fournisseurs d'instruments de mesure pour mettre en œuvre deux standards émergents : HART 7 et ISA SP100.

Pour en savoir plus sur ces innovations et l'historique de leur développement, voir *Traitement de faveur*, p. 12.

L'automatisation des postes électriques innove

La norme CEI 61850 sur l'automatisation des postes électriques a beaucoup fait progresser la filière en la dotant de technologies de l'information et de la communication pointues. Aujourd'hui, les ingénieurs peuvent en tirer pleinement profit avec le nouvel environnement de postes d'ABB.

Cet outil permet aux équipements d'un poste de communiquer et de fournir un large éventail de données décrivant et régissant le fonctionnement des appareillages. Les ingénieurs maîtrisent ainsi les grandes quantités



d'informations en jeu, tout au long de la conception du poste ; le système d'automatisation et chaque fonction sont testés dans leur intégralité, avant de démarrer les travaux sur site.

Les phases de développement et de test sont accélérées, les postes livrés aux clients en un temps record. Prêts à fonctionner, ces derniers gagnent en fiabilité et sont plus vite mis en service. Les temps d'immobilisation sont écourtés grâce aux immenses possibilités de test offertes par cet environnement de développement virtuel, facilitant grandement la rénovation ou la maintenance des postes.

Pour en savoir plus, voir *Célérité et qualité bien ordonnées*, p. 38.

Au frais et au calme

Un refroidissement par caloduc pour des disjoncteurs plus légers, plus robustes et plus performants

Les fortes intensités nominales des disjoncteurs produisent d'énormes quantités de chaleur qu'il faut maîtriser pour garder les autres composants du système dans leurs tolérances de

température assignées. Or le refroidissement par convection naturelle ayant le défaut de limiter les courants nominaux, bon nombre de disjoncteurs d'alternateurs actuels utilisent la ventilation forcée pour augmenter ces intensités. Hélas, ce mode de refroidissement bride lui aussi les courants nominaux admissibles.

Pour booster ces intensités, tout en satisfaisant aux exigences croissantes de légèreté, de robustesse et de puissance du marché, ABB a développé une méthode de refroidissement innovante basée sur le principe caloduc. Le système comporte trois éléments principaux : un bloc évaporateur relié au conducteur du disjoncteur d'alternateur (source de chaleur), un tube caloduc et un bloc condenseur (puits de chaleur) situé dans l'environnement du refroidisseur, à l'extérieur de l'enveloppe. Cette innovation ABB fonctionne sans électricité, nécessite peu de maintenance et ne fait pas de bruit ! Mais son atout maître reste sa capacité à porter l'intensité nominale des disjoncteurs d'alternateur de 18 kA à 23 kA !

Pour en savoir plus, voir *Nos disjoncteurs d'alternateur prennent le frais*, p. 18.



Les robots d'usinage deviennent autodidactes et polyvalents

Précurseur des solutions robotisées pour l'assemblage de pièces délicates, ABB continue sur sa lancée avec une commande multiaxe et une précision d'horloger pour une application innovante, *Flex Finishing*, qui réduit jusqu'à 80 % le temps de programmation des robots dans les applications d'ébavurage des pièces de fonderie, induisant des gains de productivité spectaculaires.



Cette solution robotisée inédite réunit plusieurs innovations ABB : armoire de commande IRC5 de dernière génération, interface à haut débit pour l'instrumentation, boucles d'asservissement pour le contrôle de pression et de vitesse, et environnement de programmation qui permet

au robot d'optimiser lui-même sa trajectoire.

La nouvelle solution s'appuie sur les capacités d'auto-apprentissage des robots pour gagner près de 20 % sur les temps de cycle et également 20 % sur la durée de vie de l'outillage d'ébavurage.

En simplifiant les opérations de parachevement dans la fonderie, l'innovation ABB permet de produire plus rapidement des pièces moulées de meilleure qualité et à meilleur coût.

Pour en savoir plus, voir *Question de doigté*, p. 22.

Les convertisseurs de fréquence ABB, champions des économies d'énergie

Avec ses convertisseurs de fréquence à cinq niveaux de tension, ABB joue la carte de l'électronique de puissance pour réduire la consommation énergétique des moteurs.

Les moteurs absorbent environ 30 % de l'énergie électrique produite dans le monde. Toute amélioration de leur rendement a donc un impact positif sur notre bilan énergétique et sur notre environnement. Près des trois quarts des moteurs se trouvent dans des applications de régulation des débits, domaines où les méthodes traditionnelles induisent une consommation énergétique en pure perte.

Les convertisseurs de fréquence changent la donne. En effet, la commande en vitesse variable des moteurs constitue la méthode de régulation la plus performante et la plus efficace sur le plan énergétique. En fait, si le parc mondial de moteurs MT était équipé de convertisseurs de fréquence, les économies engendrées



équivaldraient à la production annuelle de 144 centrales thermiques à flamme. Pour autant, ces convertisseurs ne sont pas le remède universel car ils sont une source de perturbations harmoniques ou plus simplement, la forme d'onde de leur tension de sortie est loin d'être idéale. Les inconvénients sont nombreux : ondulation de couple dans la chaîne cinématique, échauffement du moteur et parasitage des autres équipements électriques. En outre, dans les applications MT, il est difficile d'obtenir les niveaux de tension requis avec les onduleurs traditionnels à deux et trois niveaux.

Pour remédier au problème, ABB cherche à développer des onduleurs qui engendrent moins d'harmoniques tout en délivrant des niveaux de tension supérieurs. Ainsi, son nouveau convertisseur à cinq niveaux produit considérablement moins d'harmoniques que ses prédécesseurs à deux et trois niveaux avec des tensions plus élevées. Cette technologie est mise en œuvre dans ses nouveaux variateurs ACS 5000.

Pour l'historique du développement du convertisseur à cinq niveaux d'ABB, voir *Onduleurs de tension multಿನiveau*, p. 26.

Souplesse et compacité: le disjoncteur CC d'ABB a la vedette

Dès qu'il est question d'installation électrique, deux ressources font inmanquablement défaut: le temps et l'espace nécessaires au câblage des appareils et au raccordement des auxiliaires. Fini ces inconvénients avec le disjoncteur **SACE Emax DC** d'ABB et son intégration fonctionnelle sans précédent.

Jusqu'à présent, les disjoncteurs à courant continu se répartissaient en deux catégories: les disjoncteurs automatiques à déclencheur interne et

les interrupteurs-sectionneurs à déclencheur externe. Les premiers, de construction relativement simple, ne pouvaient assurer qu'une protection contre les courts-circuits à déclenchement automatique. Si l'on voulait des fonctions plus poussées, il fallait doter une armoire externe d'équipements de surveillance et de commande.

Dès lors, pourquoi ne pas intégrer ces fonctionnalités dans le disjoncteur avec, à la clé, une simplification notable de l'installation, des économies de câble, un gain de place, l'absence d'alimentation auxiliaire, une robustesse et une fiabilité accrues? Si, en alternatif, ces disjoncteurs «intégrés» ne datent pas d'hier, le concept n'a rien d'une sinécure en courant continu car les méthodes de mesure sont plus délicates. ABB a la solution! Avec sa panoplie de fonctions de protection et ses capteurs tout intégrés, le **SACE Emax DC** est une exclusivité du mar-



ché. Et ce système quasiment «mécatronique» se passe d'alimentation auxiliaire. Qui dit mieux?

A lire dans *L'intégration en tête d'affiche*, p. 32.

Quand la tension monte, les pertes baissent

Le marché de l'énergie évolue au pas de course. L'interconnexion croissante des réseaux et le négoce d'électricité posent de nouveaux défis, tout comme le développement de l'éolien dans des zones où le réseau est faible. Parallèlement, la montée en flèche des besoins énergétiques de pays comme la Chine impose des investissements massifs dans les infrastructures de transport. ABB est à l'avant-garde des développements technologiques pour relever ces défis.

Pour être efficace, le transport massif d'électricité sur de longues distances doit se faire à des niveaux de tension aussi élevés que possible. En effet, plus la tension est élevée, plus les pertes en ligne sont faibles. Pour

acheminer le maximum de puissance, ABB propose à la fois des solutions en courant continu (CCHT, jusqu'à 800 kV) et en courant alternatif (CAHT, jusqu'à 1000 kV). Les précédents niveaux de tension maxi exploités commercialement étaient, respectivement, 600 et 800 kV.

Les liaisons CCHT sont faciles à réguler et peuvent, par exemple, servir à injecter du courant dans une région où des capacités de production insuffisantes menacent de provoquer une panne générale. Ces liaisons ont l'avantage

d'être préservées des problèmes de stabilité qui limitent les capacités du transport CA longues distances. Enfin, le CCHT étant par nature plus compatible que le CAHT avec les câbles coaxiaux moins encombrants, il est fréquemment utilisé pour les liaisons sous-marines et des projets où les câbles doivent être enterrés.

Pour autant, les stations de conversion complexes situées aux deux extrémités des liaisons CCHT font que ces dernières sont plus adaptées aux lignes point à point. Lorsqu'il faut prélever du courant en un point intermédiaire, voire créer un réseau complet, le CAHT offre clairement un avantage pratique. Bref, la solution optimale pour le transport massif d'énergie électrique sur de longues distances associe souvent les deux technologies: une liaison CCHT et des lignes d'alimentation CAHT.



Pour en savoir plus sur les activités d'ABB dans le transport en haute tension, voir **Asplund, G.**, *Le réseau de grand transport réconcilie alternatif et continu*, Revue ABB 2/2007, p. 22-27.

La télémaintenance industrielle entre dans une nouvelle dimension

Inexistantes il y a 5 ans, les technologies utilisées aujourd'hui pour la télémaintenance renforcent l'efficacité des interventions sur des sites industriels parfois très éloignés. Combinant suivi en temps réel des performances des produits et systèmes, et signalisation automatique des problèmes aux équipes de maintenance, ces technologies s'invitent dans un nombre croissant de produits ABB.

En mariant intelligence embarquée dans les produits et réseau sécurisé par plusieurs pare-feu, ABB surveille de près la performance des



équipements industriels. Les signaux reçus par les centres de télémaintenance sont automatiquement analysés et confrontés au savoir cumulant des centaines d'années d'expérience et regroupé dans des bases de données. En comparant les performances de chaque équipement à l'historique d'un nombre incalculable d'équipements similaires en exploitation, les systèmes

à base de connaissances aident les ingénieurs ABB à proposer la meilleure stratégie de maintenance ou de réparation. Avec un processus décisionnel plus rapide et des services «à la carte», ABB réduit les temps improductifs et les coûts de ses clients.

Pour en savoir plus, voir *Votre usine sur écoute*, p. 42.

TrafoSiteRepair™ : réparation express sur site

Une solution créée par des passionnés de l'innovation pour améliorer la disponibilité des transformateurs de puissance.

Pouvoir intervenir directement chez le client a longtemps été considéré comme le meilleur moyen de réparer, de rénover ou de mettre à niveau, le plus vite possible, un transformateur de puissance. Or, jusqu'à une date récente, les interventions lourdes (réparation ou remplacement des enroulements...) obligeaient à rapatrier l'appareil chez le constructeur qui seul avait la place et les outils requis. La solution TrafoSiteRepair™

d'ABB change la donne en permettant de réaliser ces gros travaux sur le site client, avec la garantie de réduire au minimum les temps d'arrêt du transformateur, l'indisponibilité de la fourniture électrique et, surtout, le manque à gagner de l'industriel.

TrafoSiteRepair™ est l'aboutissement de nombreuses années d'expérience et d'innovation technologique s'ap-

puyant sur des procédures de réparation validées, d'une qualité et d'une conformité normative comparables à celles de l'atelier. Parmi les avancées ayant contribué à son succès, citons un système perfectionné de test mobile haute tension (MHVTS) qui remplace l'encombrant groupe moteur-générateur, un chauffage basse fréquence (LFH) et un test de réponse en fréquence diélectrique pour mesurer

l'humidité résiduelle dans l'isolation cellulosique du transformateur. TrafoSiteRepair™ a déjà fait ses preuves sur quelque 200 appareils, dans 25 pays.

Pour en savoir plus, lire *Essais transformés sur site avec TrafoSiteRepair™*, p. 45.



Solution d'intégration

La solution Industrial^{IT} d'ABB pour analyseurs PAT met du baume au coeur de l'industrie pharmaceutique.

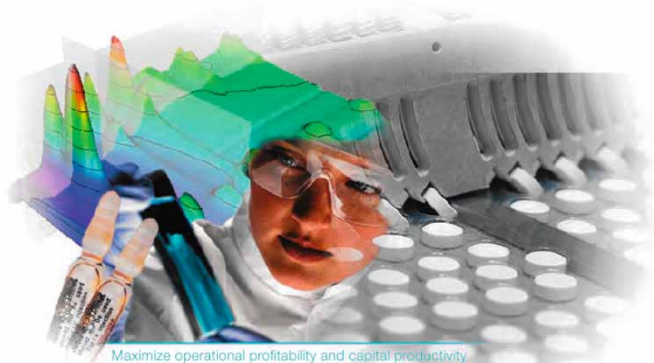
Les nouveaux médicaments garantissent la pérennité d'un laboratoire pharmaceutique. Même s'il faut des années pour sortir un nouveau produit et des investissements qui

peuvent dépasser 800 millions de dollars, les revenus tirés des nouveaux médicaments compensent largement les dépenses engagées. Or le secteur est actuellement confronté à un double défi : d'une part, ses investissements en R&D explosent alors même que le nombre d'autorisations de mise sur le marché est en déclin et, d'autre part, les coûts de production ne cessent d'augmenter. Cette inflation des coûts oblige les industriels à rechercher des moyens innovants

pour rendre plus efficaces la création de nouveaux médicaments et la fabrication des produits existants.

L'initiative PAT de l'autorité sanitaire américaine FDA s'inscrit dans cette démarche et a prouvé son utilité depuis son lancement en 2002. Son but est de mieux comprendre et maîtriser l'ensemble du procédé de fabrication des médicaments. Si la technologie des analyseurs est au cœur de l'initiative PAT, une offre pléthorique et l'absence de réel standard d'échange de données ont débouché sur la création « d'îlots de PAT ». Avec sa solution Industrial^{IT} pour analyseurs PAT, ABB a créé une véritable plateforme d'intégration PAT qui répond aux exigences des industriels du secteur.

Pour en savoir plus, voir *Intégration sur ordonnance*, p. 49.



Maximize operational profitability and capital productivity

Des centrales d'énergie toutes puissantes avec Optimize^{IT} P&C

La commande avancée des procédés, bien établie dans nombre de secteurs industriels, occupe depuis peu le terrain de la conduite et de l'optimisation des centrales d'énergie, avec des résultats remarquables.

La commande prédictive multivariable (MPC), basée sur un modèle interne du procédé, est bien plus performante que la régulation classique monovariable. Grâce à une informatique toujours plus puissante, les solutions MPC se déploient dans les grandes centrales électriques.

Comme toute régulation industrielle, le but est d'atténuer la variabilité du process mais aussi, dans le cas des



centrales, d'en améliorer la stabilité et la fiabilité, et d'alléger les contraintes de cycle thermique sur les équipements haute pression. La réduction de la variance permet de produire au plus près des limites de la centrale.

Dans bien des cas, cet optimum est fonction des contraintes. En minimisant les variations, on peut pousser le procédé aux limites, sans dépasser ces contraintes.

La nouvelle solution Optimize^{IT} P&C d'ABB gomme les inconvénients de la commande avancée traditionnelle (choix limité des modèles de commande, tests par échelon en boucle ouverte...).

Les centrales qui l'ont adoptée ont ainsi réduit leurs émissions de NO_x de 8 à 40 %, tout en produisant à l'année des dizaines de GWh excédentaires, sans grever leur consommation de combustible.

Intéressé ? Lire *Performance au top, pollution en baisse*, p. 53.



De la fiabilité de l'instrumentation dépend l'efficacité de la régulation des procédés. Si les instruments de mesure doivent fournir 24 h/24 des données précises et reproductibles, ils doivent également demander le moins possible de surveillance et de maintenance, fonctionner sans défaillance et, bien évidemment, être simples à installer.

Dans les pages qui suivent, trois articles présentent des avancées majeures dans le domaine de l'instrumentation rendues possibles par les progrès de la technologie du traitement du signal.

Traitement de faveur

Le traitement du signal dope les performances de l'instrumentation de mesure
Sean Keeping, Eugenio Volonterio, Ray Keech, Gareth Johnston, Andrea Andenna

S'appuyer sur les récents progrès de la technologie du traitement du signal pour développer un nouvel instrument de mesure est une démarche inhabituelle. En effet, on cherche plutôt à exploiter les gains d'efficacité et de robustesse offerts par le conditionnement des capteurs ou de l'électronique, à tirer profit des nouveaux matériaux et procédés, ou encore à renforcer leur simplicité d'emploi.

Pourtant, alors que les instruments de mesure se banalisent, il existe un

levier sur lequel les constructeurs peuvent agir pour se démarquer de la concurrence : la valeur ajoutée induite par le système de mesure lui-même.

Or seule une parfaite connaissance des besoins des utilisateurs crée de la valeur et doit guider le processus de développement d'un nouveau produit. Elle permet d'exploiter toute la richesse des données acquises pour obtenir des informations précieuses sur l'état de fonctionnement du produit ou du procédé.

ABB est sorti des sentiers battus pour tirer profit des technologies de traitement du signal et doper la valeur client de deux produits, l'un pour la mesure des débits et l'autre pour la mesure des pressions.

Nous finirons par les avantages de la technologie sans fil, notamment pour enrichir les fonctionnalités des instruments de mesure et répondre aux besoins des applications du futur.

Débitmètre électromagnétique à auto-étalonnage

ABB a développé un nouveau débitmètre aux performances et à la stabilité inégalées, grâce à un concept innovant d'auto-étalonnage.

Un débitmètre électromagnétique comprend deux éléments clés :

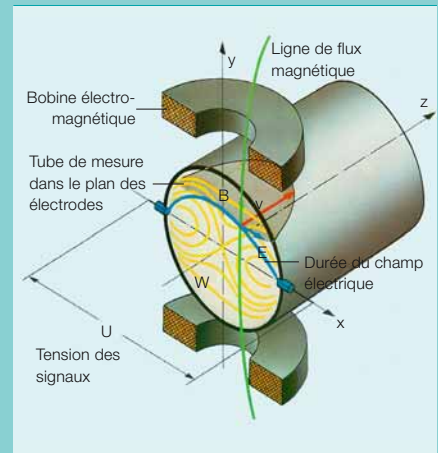
- le capteur, constitué d'un tube de mesure à revêtement interne isolé, de bobines d'excitation et d'au moins deux électrodes de mesure **1** ;
- un transmetteur de débit, comme le nouveau WaterMaster **2a** ou ProcessMaster **2b** d'ABB, qui excite les bobines et mesure les très faibles signaux électriques issus des électrodes de mesure.

Pour se plier aux exigences normatives et réglementaires en perpétuelle évolution, notamment celles de la recommandation R49 [1] de l'Organisation internationale de métrologie légale (OIML), ABB a développé un concept d'auto-étalonnage [2] mis en œuvre dans sa gamme de débitmètres WaterMaster.

En respectant cette recommandation, le produit est conforme à la directive européenne sur les instruments de mesure MID (*Measuring Instruments Directive*), transposée en droit national en novembre 2006. L'OIML R49 exige que les débitmètres électromagnétiques soient dotés de fonctionnalités de contrôle qui appliquent un signal simulé sur l'entrée du transmetteur de débit et vérifient que la sortie se situe dans des limites prédéfinies.

Ce concept a ensuite fait l'objet de développements supplémentaires non seulement pour exploiter ce signal à des fins de contrôle d'amplitude, mais également pour réaliser un étalonnage

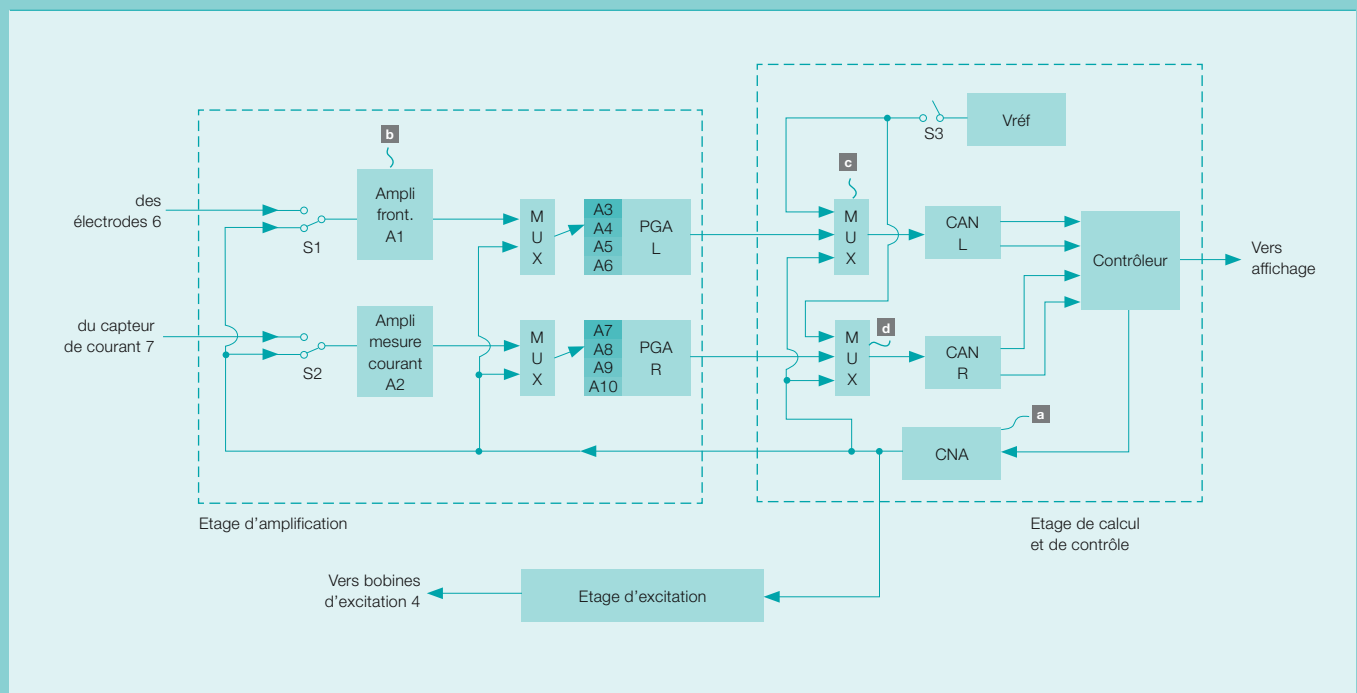
1 Capteur d'un débitmètre électromagnétique



2 Transmetteurs de débit électromagnétiques WaterMaster **a** et ProcessMaster **b** d'ABB



3 Schéma de principe du concept innovant d'auto-étalonnage d'ABB pour les débitmètres électromagnétiques



Produits

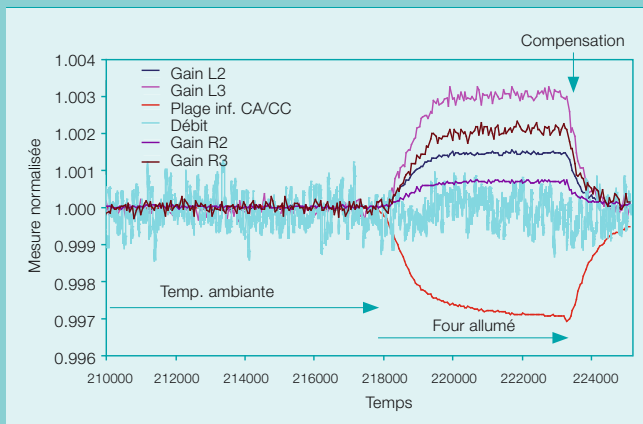
automatique. Ainsi, le débitmètre ne se contente pas de satisfaire et de dépasser les exigences de la OIML R49 mais, en plus, il offre de nombreuses fonctionnalités avantageuses **Encadré 1**.

Le principe de fonctionnement de ce nouveau concept est illustré en **3**. Le système s'auto-ajustant, aucune pièce de précision n'est requise dans la chaîne de mesure. Le convertisseur analogique-numérique (CAN) est un codec audio à linéarité élevée. En utilisant une configuration à multiplexeurs, le signal simulé est généré par le CAN **3a** et directement ap-

Encadré 1 Caractéristiques de la nouvelle gamme ABB de débitmètres WaterMaster

- Auto-étalonnage
- Aucun étalonnage en usine
- Ajustement continu en fonctionnement normal
- Stabilité extrême des performances dans le temps
- Coefficient de température très faible
- Codec audio bon marché
- Immunité aux décalages de courant continu
- Réduction du coût avec une seule pièce de précision
- Affichage du pourcentage d'ajustement à des fins de diagnostic
- Seuils d'alarme pour traquer les défaillances matérielles et ajustements hors plage

4 Incidence et compensation d'une variation de température dynamique importante sur différents paramètres du système



pliqué au même amplificateur frontal **3b** qui amplifie et traite les signaux des électrodes.

Cette approche est innovante car la valeur de mesure n'est pas basée sur la valeur réelle absolue du signal, mais sur son gain. En utilisant des multiplexeurs (**3c** et **3d**) pour transmettre la référence de tension directement aux CAN, les performances du système ne dépendent plus des gains, des décalages ou de la stabilité d'un de ses composants, et la sortie est indépendante du niveau de la référence de tension.

On a démontré que les performances du produit reposent sur un seul composant, à savoir la résistance qui convertit en tension le courant traversant les bobines pour le mesurer. **4** montre comment le nouveau système compense les variations des paramètres liés à la température dans ses composants.

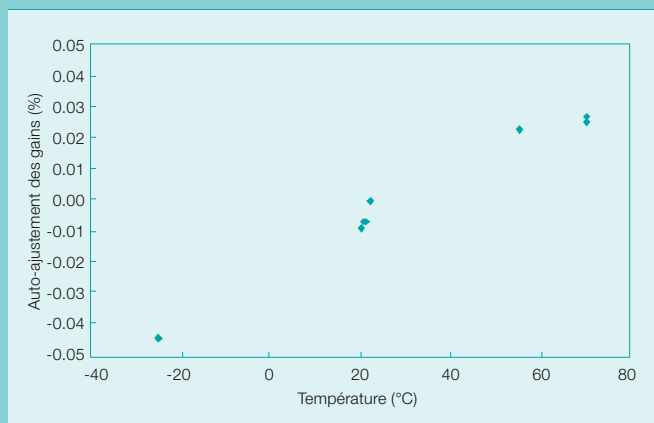
Comparé à un transmetteur de conception traditionnelle dont les performances sont souvent liées à celles d'une dizaine de composants de précision, le recours à un composant unique permet d'atteindre des niveaux inégalés de stabilité et de performance. **5** montre les ajustements effectués par le transmetteur en réponse aux variations de température et **6** la stabilité globale du transmetteur sur une large plage de température. Lors des mesures qui ont

servi à ces graphiques, la température fut ramenée à 20 °C après chaque variation de température, illustrant l'excellente reproductibilité de la mesure.

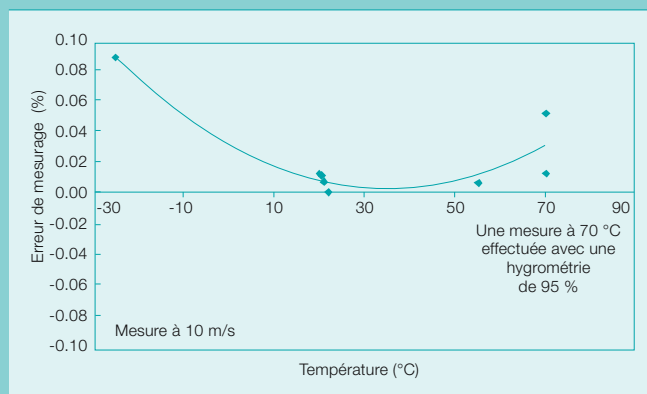
Le système s'auto-ajustant, aucune pièce de précision n'est requise dans la chaîne de mesure.

La mise en œuvre par ABB du concept d'auto-étalonnage dans un débitmètre électromagnétique est une première mondiale. Le lancement du produit a eu lieu à Barcelone, début novembre 2007.

5 Auto-ajustement des gains par le transmetteur en réponse aux variations de température



6 Stabilité globale du transmetteur en fonction de la température. Celle-ci est ramenée à 20 °C entre chaque mesure, illustrant la reproductibilité élevée du dispositif.



Le transmetteur de pression différentielle détecte l'obturation des prises d'impulsion

Une mesure erronée peut être lourde de conséquence pour un procédé, d'où l'importance de l'identifier le plus tôt possible. Dans le domaine de la mesure des pressions différentielles, l'obturation des prises d'impulsion est particulièrement difficile à détecter tant que les valeurs mesurées restent plausibles. ABB a trouvé le moyen d'y remédier en utilisant le bruit de fond du procédé.

Un transmetteur de pression différentielle sert à mesurer la différence entre deux pressions, principalement pour calculer le débit d'un fluide dans une conduite. Le principe est le suivant : on mesure la chute de pression occasionnée par l'insertion dans l'écoulement d'un élément primaire (corps d'épreuve) qui induit des variations de pression localisées. La différence de pression entre deux points est mesurée et le débit calculé à partir de cette valeur et des caractéristiques géométriques connues de l'élément primaire. Les transmetteurs de pression différentielle sont raccordés à la conduite par deux tubes appelés prises d'impulsion **7**.

Dans le domaine de la mesure des pressions différentielles, l'obturation des prises d'impulsion est particulièrement difficile à détecter tant que les valeurs mesurées restent plausibles.

Au cours de la durée de vie du transmetteur, ces prises peuvent être obturées par des résidus solides, du calcaire ou le fluide gelé. De fait, elles nécessitent une maintenance préventive

importante, d'autant plus que, contrairement à la plupart des autres défauts types de l'instrumentation de terrain, une prise d'impulsion obturée ne modifie en rien le fonctionnement de l'instrument. Si le problème n'est pas identifié, la mesure conserve une valeur plausible et l'erreur est particulièrement difficile à repérer.

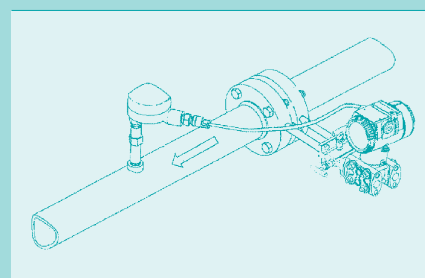
Mais rien n'est perdu ! En effet, des expériences ont démontré qu'il était possible de diagnostiquer une prise obturée en analysant le signal de mesure de pression différentielle. Partant de là, une méthode de détection automatique des prises d'impulsion obturées a été développée et un algorithme correspondant mis en œuvre dans un transmetteur de pression différentielle ABB de la gamme 2600T.

L'avantage majeur de la détection des prises d'impulsion obturées est l'allègement du budget de maintenance préventive.

Son principe découle des caractéristiques déduites par l'observation empirique des signaux temporels de mesu-

re de pression : les écoulements sont affectés par des variations de pression qui sont le fait d'autres dispositifs et machines interagissant avec le procédé comme, par exemple, une pompe qui bruite le signal de pression différentielle. En fonctionnement normal, lorsqu'aucune prise d'impulsion n'est obturée, ce bruit est quasiment nul car le transmetteur mesure la différence de pression entre deux points relativement proches. Or, si une prise d'impulsion est obturée, les variations de pression persistent et le signal de pression différentielle reste bruité. Enfin, lorsque les deux prises d'impulsion sont obturées, le niveau de bruit du signal de pression différentielle est quasiment nul.

7 Transmetteur de pression différentielle raccordé à une plaque à orifice



8 Puissance du signal sans prise d'impulsion obturée **a**, avec une des prises d'impulsion obturée **b** et **c** et les deux prises obturées **d**



Produits

9 Ecran de détection de prises d'impulsion obturées

Severity	Condition	Sub Condition	Description	Timestamp	Quality Status
1	Configuration	Normal		11/30/2005 12:14:33 PM	good
1	Electronics	Normal		11/30/2005 12:19:45 PM	good
1	Pressure Sensor	Normal		11/30/2005 12:08:46 PM	good
1	Impulse Lines	Failure	Process and installation related. PILD-HIPM has detected a plugged impulse line on the HIGH side.	11/30/2005 12:20:06 PM	good
1	Compliance with operating conditions	Normal		11/30/2005 12:19:56 PM	good

Partant de ces observations, on peut conclure que :

- Avec une seule prise d'impulsion obturée **8b** et **8c**, le niveau de bruit est supérieur au niveau sans obturation **8a**;
- Avec deux prises d'impulsion obturées **8d**, le niveau de bruit est inférieur au niveau sans obturation.

Le nouvel algorithme s'adapte automatiquement aux conditions spécifiques du procédé au moment de l'installation. Il peut détecter avec une certaine robustesse l'obturation des prises d'impulsion au vu de la variabilité du procédé. Ces conclusions ont été confirmées par des publications de l'université de Sussex [3, 4, 5] et des chercheurs d'ABB [6].

L'avantage majeur de la détection des prises d'impulsion obturées est l'allègement du budget de maintenance préventive. La sortie de l'algorithme de détection doit être mise à la disposition des équipes de maintenance et de conduite, et des informations d'état sur les transmetteurs être centralisées, via un bus de terrain, pour un suivi des actifs. Ces informations autoriseront la transition d'une logique de maintenance préventive vers une maintenance réactive en temps utiles **9**.

Le sans-fil, avenir de l'instrumentation

La technologie sans fil offre de nombreux avantages : réduction des coûts de câblage (et des risques de défauts filerie) et simplification des modifications. ABB est un fervent partisan de cette technologie et collabore avec d'autres constructeurs à la mise en œuvre de standards mondiaux.

Le sans-fil a envahi notre quotidien à bien des égards : téléphonie mobile, interphonie, wifi, télécommande de télévision, etc. Bizarrement, son déploiement dans l'automatisation industrielle est plus lent, en dépit d'avantages évidents et de l'intérêt marqué des utilisateurs **Encadré 2**.

Pour mieux comprendre les raisons de cette lente progression, il faut rappeler que l'industrie a des impératifs spécifiques de fiabilité, de sécurité et de simplicité.

A la suite d'essais avec de grands constructeurs comme ABB, l'industrie du pétrole et du gaz fut une des premières à prendre conscience des atouts et des contraintes du sans-fil pour l'instrumentation de terrain.

L'industrie du pétrole et du gaz fut une des premières à prendre conscience des atouts et des contraintes du sans-fil pour l'instrumentation de terrain.

Les solutions initiales utilisaient des réseaux propriétaires qui limitaient souvent le choix des fournisseurs et étaient loin de satisfaire aux trois impératifs précités. Pour autant, elles mirent en lumière le potentiel de la technologie pour réduire les dépenses d'exploitation. Les industriels ont maintenant dépassé ce cap et sont à la recherche d'un standard ouvert de connectivité sans fil multiconstructeur qui se plie à leurs impératifs.

Pour l'heure, deux groupes – HART 7 et ISA SP100 – travaillent à l'élaboration d'un standard de transmission





sans fil pour l'automatisation industrielle. S'ils partagent la même technologie radio (802.15.4), ils restent incompatibles.

WirelessHart sera le premier disponible car son standard est défini et a reçu l'adhésion de plusieurs entreprises membres. Des instruments Wire-

lessHart ont été présentés au Salon ISA de septembre 2006 notamment par ABB, Emerson et Siemens.

Encadré 2 Avantages du sans-fil dans l'automatisation industrielle

Disponibilité de l'outil industriel

- Ajout à faible coût de fonctionnalités de surveillance d'état à des actifs critiques (positionneurs, analyseurs) pour une disponibilité accrue ;
- Intégration directe à l'instrumentation ou accès par adaptateur alimenté par la boucle radio.

Variabilité du procédé

- Ajout à faible coût de points de surveillance du procédé, jugés auparavant trop onéreux ;
- Ajout à faible coût de points de surveillance temporaires du procédé pour résoudre des problèmes difficiles.

Conformité sécuritaire et environnementale

- Solution économique pour surveiller l'activation des douches d'urgence ;
- Solution de surveillance économique pour :
 - Détecteurs de gaz
 - Effluents aqueux
 - Emissions gazeuses
 - Soupapes de décharge
 - Purgeurs de vapeur

Surveillance du procédé

- Accès à des données multivariées (ex., débits massiques gazeux) ;
- Surveillance d'équipements distants ou inaccessibles (câble passant sous une route ou cheminant sur une longue distance) ;
- Comparaison de signaux analogiques-numériques (lecture de position d'une soupape et comparaison de consigne).

Sean Keeping

ABB Automation Products, Instrumentation
St Neots (Royaume-Uni)
sean.keeping@gb.abb.com

Eugenio Volonterio

ABB SACE S.P.A. Products, Instrumentation
Lenno (Italie)
eugenio.volonterio@it.abb.com

Ray Keech

ABB Automation Products, Instrumentation
Stonehouse (Royaume-Uni)
Ray.kee@gb.abb.com

Gareth Johnston

ABB Automation Products, Instrumentation
St Neots (Royaume-Uni)
gareth.johnston@gb.abb.com

Andrea Andenna

ABB Corporate Research
Baden-Dättwil (Suisse)
andrea.andenna@ch.abb.com

Bibliographie

- [1] Recommandation OIML R49-1, *Compteurs d'eau pour le mesurage de l'eau potable froide et de l'eau chaude*
- [2] Brevet déposé au Royaume-Uni, Wray T, 30799GB
- [3] Zhu, H., Higham, E. H., Amadi-Echendu, J. E., *Signal Analysis Applied to Detected Blockages in Pressure and Differential Pressure Measurement Systems*, IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Proceedings Vol. 2 (1994), p. 741-744
- [4] Zhu, H., E. H. Higham, Amadi-Echendu, J. E., *The application of Signal Analysis Methods in Orifice Plate- Differential Pressure Flow Measurements*, Technical report, University of Sussex
- [5] Amadi-Echendu, J. E., Zhu, H., *Detecting Changes in the Condition of Process Instruments*, IEEE Trans. On Instrumentation
- [6] Andenna, A., Eifel, D., Invernizzi, G., *Embedded diagnosis to detect plugged impulse lines of a differential pressure transmitter*, Technical paper ABB Schweiz AG, ABB Forschungszentrum, ABB Sace S.p.a.

Nos disjoncteurs d'alternateur prennent le frais

Un refroidissement par caloduc augmente leurs performances de plus de 25 %

Daniel Chartouni, Martin Lakner, Giosafat Cavaliere



Le disjoncteur joue un rôle capital dans la protection de l'alternateur et du transformateur de puissance d'une centrale d'énergie. ABB propose pour cela des disjoncteurs d'alternateur de courant assigné compris entre 6 300 A et plus de 50 000 A ! Les disjoncteurs HECS (*High Energy Current System*) sont ainsi conçus pour des intensités nominales atteignant 18 000 A. Ces forts courants ont néanmoins leur revers : la dissipation de chaleur dans l'appareil, qu'il faut limiter si l'on veut garder les autres composants du système dans les tolérances de température assignées. Or le refroidissement par convection naturelle ayant le défaut de limiter les courants nominaux, bon nombre de disjoncteurs d'alternateur actuels utilisent la ventilation forcée pour augmenter ces intensités. Hélas, ce mode de refroidissement limite lui aussi les courants nominaux admissibles.

Il fallait impérativement innover pour accroître ces courants nominaux et satisfaire aux exigences toujours croissantes de légèreté, d'économie et de puissance des appareils. En utilisant des caloducs pour améliorer les transferts thermiques, les ingénieurs d'ABB en Suisse ont développé deux produits plus légers et robustes que jamais, et dopé les performances des disjoncteurs d'alternateur de plus de 25 %.

Les équipements de puissance n'échappent pas à l'évolution de la majorité des appareillages électriques vers plus de compacité, de légèreté et de fonctionnalités. La rentabilité économique en est le premier leitmotiv puisqu'un dispositif plus léger fait baisser les coûts de matière, de transport et d'installation. Dans cette optique, l'un des produits de la gamme de disjoncteurs d'alternateur HECS **Encadré 1** a donné de fabuleux résultats : en remplaçant le système de refroidissement par ventilation forcée (avec son cortège de pompes, ventilateurs ou moteurs) par un dispositif « passif » (exempt de tous ces équipements), le courant nominal du HECS est passé de 18 kA à 23 kA ! Grâce à cette démarche novatrice basée sur le concept de l'échangeur à caloduc, les ingénieurs ABB ont fait des membres de la famille HECS des modèles de silence, de compacité, de légèreté et de maintenance minimale **Encadré 2**. Explications.

Pour optimiser le transfert thermique dans les disjoncteurs HECS d'ABB et accroître les courants nominaux, il fallait un dispositif totalement passif et à maintenance minimale.

Etat des lieux

Les courants nominaux et de court-circuit produisent d'énormes quantités de chaleur. Même les infimes résistances électriques (liées au progrès des matériaux ou aux contacts électriques glissants) donnent lieu à des pertes ohmiques dégageant des kilowatts thermiques. Pour autant, la température permanente au point chaud, en fonctionnement normal (état fermé), ne doit pas dépasser 105 °C¹⁾ pour limiter thermiquement le courant nominal maximal admissible. C'est pour quoi la température de fonctionnement du disjoncteur d'alternateur est fonction à la fois du courant nominal et du refroidissement de l'appareil. Ainsi, pour réussir à accroître le courant assigné de leurs produits, les ingénieurs surent impérativement se concentrer sur la maîtrise thermique des appareils.

Encadré 1 Une famille nombreuse

Les disjoncteurs d'alternateur ABB sont omniprésents dans tous les types de centrales (thermiques, géothermiques, à cycle combiné, à gaz, hydroélectriques, à accumulation par pompage). ABB détient aujourd'hui près de 70 % du marché. Son portefeuille de produits comprend des appareils couvrant des puissances assignées de 100 MVA à plus de 1 500 MVA et des disjoncteurs d'intensités nominales comprises entre 6 300 A (courant de court-circuit maxi de 63 kA) et plus de 50 000 A (courant de court-circuit assigné de 210 kA). Commercialisés depuis 2003, les disjoncteurs HECS se prêtent à des usages intérieurs comme extérieurs, pour des puissances atteignant 800 MVA. Capables de couper des courants de court-circuit jusqu'à 130 kA, ils sont spécifiés pour des courants nominaux maxi de 13 kA (refroidissement par convection



naturelle) et 18 kA (ventilation forcée).

Leur puissance volumique est très élevée au regard de leur taille et de leur masse réduites (6 000 kg). Ces disjoncteurs sont donc tout désignés pour des projets de modernisation des centrales d'énergie actuelles tout en économisant sur les coûts de transport et d'installation.

Encadré 2 Survol des disjoncteurs HECS (ancienne et nouvelle générations)

Désignation	Courant de fonctionnement maxi	
	Produit dérivé du HECS classique à refroidissement par convection	Nouvel HECS à refroidissement passif par caloduc
HECS-100/130XLp	18 000 A (forcée)	18 000 A
HECPS-5Sp (accumulation par pompage)	13 500 A	18 000 A
HECS-130XXLp	—	23 000 A

Les disjoncteurs HECS d'ABB autorisent des courants nominaux maxi de 13 kA avec refroidissement par convection naturelle. Néanmoins, si l'on veut porter cette valeur à 18 kA, il faut passer par un refroidissement par ventilation forcée air-air, lui-même source de chaleur et de surpoids. De plus, atteindre 23 kA n'est envisageable qu'en améliorant le transfert thermique du conducteur HECS vers l'air ambiant tout en maintenant la température des composants sensibles dans une fourchette de valeurs acceptables. Un défi d'autant plus ambitieux que la source de chaleur (conducteur) est à un potentiel électrique élevé (25,3 kV) et le puits de chaleur (enveloppe du HECS) à la masse ; en outre, toute

ventilation forcée s'accompagne d'effets secondaires indésirables. Il fallait donc un dispositif totalement passif et à maintenance minimale pour optimiser le transfert thermique sur cette longue distance isolée électriquement ; ce à quoi répond le principe caloduc²⁾. **Encadré 3**

Développement produit

Le principe caloduc avait beau être connu depuis des décennies, il n'avait

Notes

¹⁾ Pour des contacts argentés, la norme IEEE admet une élévation de température de 65 K au-dessus d'une température ambiante de 40 °C.

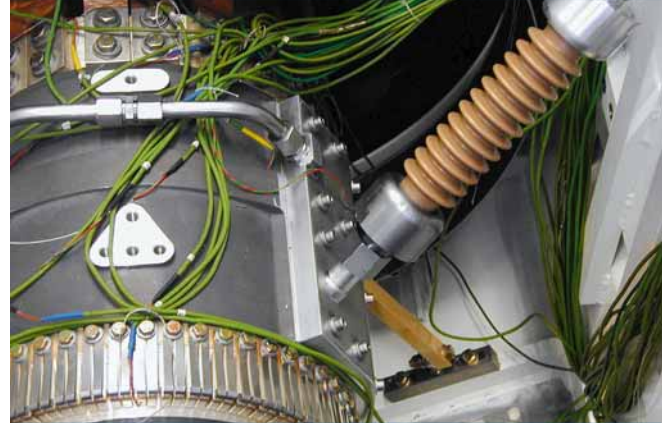
²⁾ Le refroidissement par caloducs est connu depuis des décennies ; l'électronique grand public en fait d'ailleurs largement usage.

Produits

1 Bloc évaporateur et tube caloduc isolant reliés à la chambre de coupure : la vapeur se diffuse dans le tube isolant ondulé et se dirige vers le condenseur (cf. **3**).



2 Un pôle de disjoncteur HECS refroidi par caloducs : ne sont visibles de l'extérieur que les ailettes du condenseur, en partie haute de l'enveloppe.



jamais été appliqué au refroidissement des disjoncteurs d'alternateur car il se heurtait à la difficulté d'utiliser des caloducs isolés électriquement en présence d'importante différence de potentiel entre la source (évaporateur) et le puits de chaleur (condenseur). Cet obstacle écartait d'ailleurs toute conception bâtie exclusivement sur des composants métalliques, au profit d'une solution garantissant la robustesse mécanique et la compatibilité des matériaux entre caloduc et fluide caloporteur. Plusieurs exigences devaient d'abord être satisfaites :

Maîtrise thermique

La charge thermique maximale totale à transférer est donnée par le courant et les résistances du disjoncteur. Par conséquent, le nombre de systèmes caloducs détermine la résistance thermique maximale admissible de chaque composant.

Conception diélectrique du caloduc

Il est ici question de l'isolation diélectrique entre le conducteur et l'enveloppe, en régime normal de fonctionnement (soit à environ 25 kV) et sous les autres tensions dont le système doit se protéger, notamment celles résultant des chocs de foudre. Les isolateurs solides des caloducs de même que

le fluide caloporteur doivent aussi remplir cette condition.

Conception mécanique du caloduc

Celui-ci doit encaisser un grand nombre de manœuvres (20 000), de même que les contraintes de transport et les séismes.

Longévité et respect de l'environnement

Le système doit fonctionner sans intervention de maintenance, durant plus de 20 ans. De plus, le fluide caloporteur ne doit pas polluer pendant toute cette durée de vie et se conformer à la réglementation sur la protection de l'environnement (limitation du réchauffement planétaire et faible potentiel de destruction d'ozone). L'analyse du

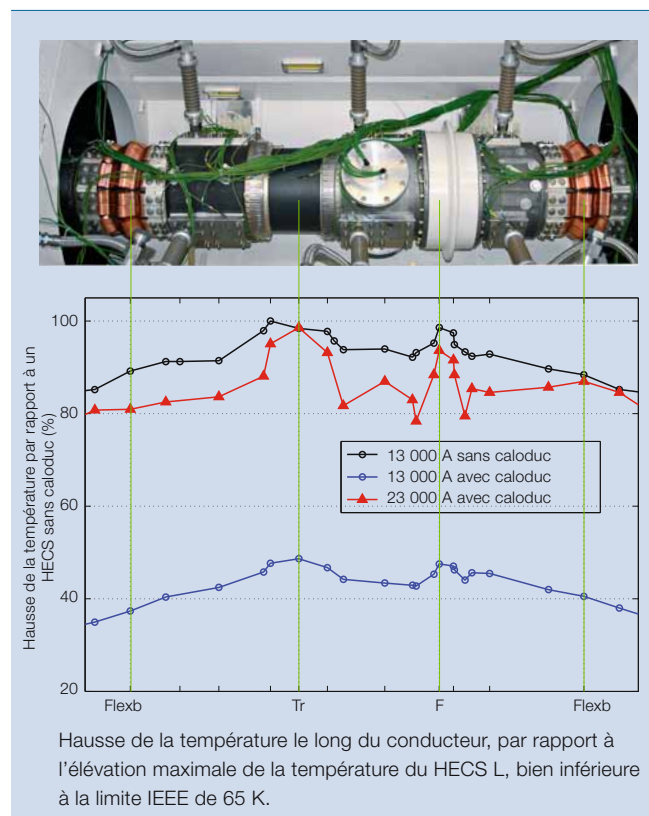
cycle de vie (ACV), qui compare ce nouveau mode de refroidissement à la ventilation forcée air-air, doit prouver que la solution par caloduc est effectivement plus écologique.

Grâce à cette démarche novatrice basée sur le principe de l'échangeur à caloduc, les disjoncteurs HECS sont des modèles de silence, de compacité et de légèreté.

En pratique

Un disjoncteur d'alternateur classique se compose de trois phases parallèles. Chaque conducteur est logé dans une enveloppe distincte, isolée du châssis du pôle. La conception ABB prévoit six caloducs

3 Caloducs reliés au disjoncteur d'alternateur HECS ; les tubes caloducs débouchent dans les blocs condenseurs intégrés à l'enveloppe.



par phase afin de transférer la chaleur produite par un courant nominal dans le milieu ambiant. Pour homogénéiser ce transfert, on a optimisé³⁾ la zone du conducteur coiffée par le bloc évaporateur **1**; une dissipation thermique uniforme dans les six évaporateurs est nécessaire pour éviter la formation de points chauds dans le matériau conducteur en raison de sa résistance thermique persistante. Le tube isolant posait un défi en soi : sa tenue diélectrique devait être garantie, de même que son intégrité mécanique face aux manœuvres du disjoncteur, sans compter la diffusion de l'air et du fluide caloporteur⁴⁾. Résultats de la phase d'essais **2** : le courant nominal a grimpé de 27,8 %, passant de 18 à 23 kA, et la résistance thermique, mesurée avec la solution à caloducs, a atteint 58 mK/W. C'est dire que l'élévation de température pour une dissipation thermique de 1 000 W ne dépasse pas 58 K.

Epilogue

L'offre ABB est la plus fournie du marché des disjoncteurs d'alternateur.

Elle se renouvelle aujourd'hui avec la gamme HECS-XL à refroidissement passif par caloducs et s'enrichit de deux nouveaux produits, HECS-100/130XXLp, pour les centrales classiques, et HECPS-5Sp pour les centrales à accumulation par pompage

Encadré 2.

Cette innovation ABB fonctionne sans électricité, nécessite peu de maintenance et dope les performances des disjoncteurs de plus de 25%.

Le disjoncteur HECS-100/130XL utilise une ventilation forcée ; ABB entend ainsi conserver son leadership sur le marché en remplaçant le HECS XL. Cette version est réalisable avec de petits blocs évaporateurs et de plus petits condenseurs, ou un nombre réduit de caloducs de grande taille. Le disjoncteur HECS-100/130XXLp, quant à lui, vise les applications de 18 kA à

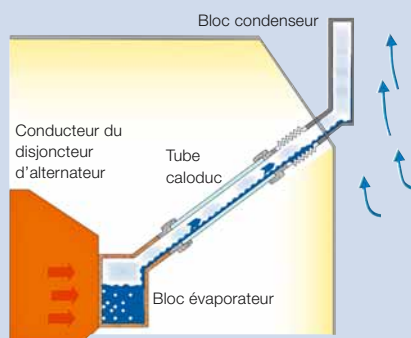
23 kA. Cette version offre une surface d'évaporation maximale garantissant une très faible résistance thermique et une répartition homogène de la température le long de l'appareil de coupure. La surface du condenseur est un autre paramètre essentiel de la conception dans la mesure où elle influence la résistance thermique sur toute la longueur du caloduc. La mise en œuvre d'un refroidissement à caloducs sur le disjoncteur HECPS-5Sp devrait permettre d'atteindre une intensité nominale de 18 kA.

Cette innovation ABB a bien des attraits : elle fonctionne sans électricité, nécessite peu de maintenance et ne fait pas de bruit ! Son premier atout reste toutefois sa capacité à porter l'intensité nominale des disjoncteurs d'alternateur HECS à 23 kA. Cette nouvelle solution à refroidissement passif contribue à l'enrichissement de la gamme de disjoncteurs ABB en la dotant de produits aussi performants qu'économiques, pour chaque domaine applicatif. Leur commercialisation est prévue pour 2008.

Encadré 3 Mode d'emploi

Un caloduc utilise les phénomènes d'évaporation (chaleur latente de vaporisation) et de condensation d'un fluide caloporteur pour déporter et dissiper la chaleur à l'extérieur du composant à refroidir. Il comporte trois principaux éléments : un bloc évaporateur relié au conducteur du disjoncteur d'alternateur (source de chaleur), un tube caloduc servant au transfert thermique entre le disjoncteur et le milieu ambiant, et un bloc condenseur situé dans l'environnement du refroidisseur, à l'extérieur de l'enveloppe.

L'ensemble forme un système en circuit fermé, en partie rempli d'un fluide caloporteur, qui fonctionne selon le principe suivant : dans le bloc évaporateur, le flux thermique vaporise le fluide caloporteur, créant un faible gradient de pression qui achemine la vapeur vers le condenseur d'où se dissipe la chaleur, par convection naturelle, à l'extérieur de l'enveloppe du disjoncteur. Le fluide condensé est ensuite renvoyé à l'évaporateur par gravité. C'est donc un principe foncièrement « passif ».



Le fluide s'évaporant et se condensant à quasiment la même température, le gradient dans le tube caloduc reste faible, maximisant le transfert de chaleur et le flux thermique dont la valeur peut être plusieurs milliers de fois supérieure à celle de bons conducteurs thermiques métalliques. Le flux thermique entre évaporateur et condenseur n'est limité que par les propriétés de l'écoulement de vapeur dans le tube caloduc.

Daniel Chartouni

Centre de recherche ABB
Baden-Dättwil (Suisse)
daniel.chartouni@ch.abb.com

Martin Lakner

Giosafat Cavaliere
Produits haute tension ABB
Zurich (Suisse)
martin.lakner@ch.abb.com
giosafat.cavaliere@ch.abb.com

Notes

³⁾ Cette mesure réduit aussi la résistance thermique de l'évaporateur.

⁴⁾ Au début du projet, nous pensions que l'insertion d'un tube isolé pour acheminer le fluide caloporteur et la vapeur de l'évaporateur au condenseur serait chose facile. C'était oublier qu'il fallait mener des essais de type normalisés pour des tensions atteignant 88 kVCA et 165 kV (tenue diélectrique aux chocs de foudre). Qui plus est, le tube devait offrir une très grande résistance mécanique, ce qui écartait l'emploi de métal. De même, la connexion des deux extrémités du tube au reste du caloduc devait être particulièrement serrée.



Question de doigté

Avec le contrôle d'effort, les robots d'usinage se muent en outils universels

Peter Fixell, Tomas Groth, Mats Isaksson, Hui Zhang, Jianjun Wang, Jianmin He, Martin Kohlmaier, Rainer Krappinger, Jingguo Ge

ABB ajoute un chapitre au livre des applications robotisées. Si, par le passé, les programmes étaient longs et fastidieux à mettre au point, des innovations comme l'apprentissage et l'optimisation automatiques des trajectoires permettent d'écourter jusqu'à 80 % les temps de programmation des robots de parachèvement des pièces moulées avec des gains de productivité considérables.

Avec son nouveau système *Flex Finishing* à contrôle d'effort *RobotWare Machining FC* (pour *Force Control*), ABB lève un des derniers obstacles à l'exploitation des gisements de productivité dans l'industrie de la fonderie.

Combiner mouvements rapides des robots et stabilité du contact avec les pièces à traiter a toujours posé un défi aux ingénieurs roboticiens. ABB a fait œuvre de pionnier dans ce domaine en développant, il y a plusieurs années, des robots pour des tâches délicates d'assemblage dans l'industrie automobile [1]. Ces derniers utilisent des capteurs qui mesurent les efforts de contact et des boucles d'asservissement pour contrôler la force appliquée par le bras du robot en mouvement. Ces robots à contrôle d'effort commandés par l'armoire S4Cplus ont notamment permis de réduire jusqu'à 75 % le temps d'assemblage des organes de transmission automobile.

Les périmètres d'emploi de ces robots ont récemment été élargis pour englober des tâches plus complexes comme, par exemple, le meulage, l'ébavurage¹⁾ et le polissage de pièces de fonderie. A la différence des opérations d'assemblage, le contrôle d'effort dans ces applications est beaucoup plus difficile et restait, à ce jour, impossible pour plusieurs raisons : usure de l'outillage, pièces aux dimensions variables, manque de précision et de répétabilité des dispositifs de bridage, avec des risques importants d'erreurs de position et de résultats disparates.

Traditionnellement, les opérations de parachèvement font appel à une main d'œuvre très abondante et posent des problèmes de constance de qualité des produits finis intégrant des pièces meulées, ébavurées et polies manuellement. Jusqu'à présent, les robots dé-

diés à ces tâches étaient contrôlés en position, utilisaient des mécanismes compliants et des dispositifs de bridage, suivaient des trajectoires à vitesses préprogrammées et étaient parfois équipés d'un servomoteur supplémentaire pour traiter des pièces aux dimensions variables. Même si une pièce était mal positionnée, la trajectoire programmée était suivie et la tâche réalisée, avec des conséquences plus ou moins graves : immobilisation du robot, casse de l'outillage ou dégradation de la pièce. Pour limiter ces risques, les robots utilisés classiquement pour l'ébavurage des pièces de fonderie travaillent à des cadences plus lentes au détriment de la productivité. Le contrôle de position impose de programmer ces robots avec un suivi de trajectoire très précis, opération de longue haleine pour un ingénieur. Tous ces inconvénients – programmation fastidieuse, outillage supplémentaire, servomoteurs additionnels et risques considérables de dégradation – freinaient la diffusion des solutions robotisées dans ce secteur industriel.

Une innovation majeure en cinq temps

La nouvelle solution robotisée, totalement inédite et lancée par ABB en 2007, associe cinq éléments innovants :

- L'armoire de commande de dernière génération IRC5 d'ABB avec son interface à haut débit pour l'instrumentation ;
- Un environnement de programmation qui permet au robot de trouver lui-même la trajectoire optimale ;
- Une boucle d'asservissement pour

contrôler la pression de l'outil ;

- Une boucle d'asservissement pour adapter la vitesse de l'outil ;
- Une offre simple d'emploi et prête à intégrer.

L'IRC5 est ce qui se fait de mieux pour la commande des robots et des équipements de périrobotique. Associé au langage de programmation *RAPID*, à la technologie ABB de commande multirobot et de communication, le système d'exploitation *RobotWare OS* est le plus puissant du marché. L'IRC5 intègre deux connexions Ethernet (une pour le réseau local et l'autre pour le dialogue interne des composants de l'armoire) de même que deux liaisons de transmission sé-

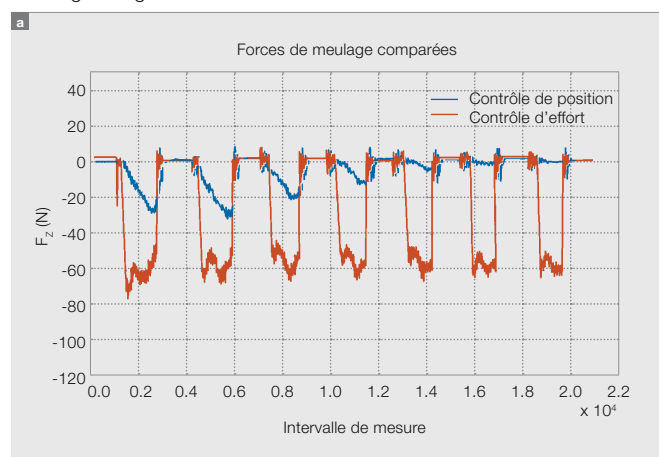
1 Armoire IRC5 et interface FlexPendant



Note

¹⁾ Elimination des saillies (bavures) d'une pièce moulée ou usinée.

2 Séquence de 7 mesures d'effort de contact lors du meulage d'une aube de turbine. Courbes bleues : contrôle de position traditionnel ; courbes rouges : régularité obtenue avec le contrôle d'effort



Produits

rie point à point avec les capteurs. Sa bande passante joue un rôle déterminant dans les performances globales et le temps de réponse du robot pour corriger et ajuster sa position. Pour garantir un taux d'échantillonnage compatible avec le positionnement dynamique du robot, condition des performances de la solution robotisée innovante, l'instrumentation doit être étroitement intégrée à l'électronique de commande.

Equipée des fonctionnalités *MultiMove* d'ABB, l'IRC5 est LA référence mondiale en commande multirobot, pouvant faire travailler jusqu'à 4 robots (36 axes maxi) **1** en mode coordonné sur une même pièce, en suivant des trajectoires complexes. *MultiMove* autorise le basculement dynamique

entre les modes de fonctionnement coordonné et autonome des robots. Toutes ces qualités sont indispensables à l'exécution de tâches difficiles en fonderie.

L'environnement de programmation de cette application innovante fait entrer la robotique dans une nouvelle dimension, l'utilisateur se servant du capteur de force lui-même pour définir la trajectoire du robot. Jamais la programmation n'a été aussi simple et efficace! Le programme d'usinage à contrôle d'effort est créé avec l'interface FlexPendant et un module applicatif dédié. L'opérateur guide le robot par le bras, lui montrant la trajectoire à suivre. A partir de ces données approximatives, le robot épouse automatiquement les contours de la pièce, enregistrant une trajectoire précise et créant le programme **2**.

3 Robot équipé pour le contrôle d'effort



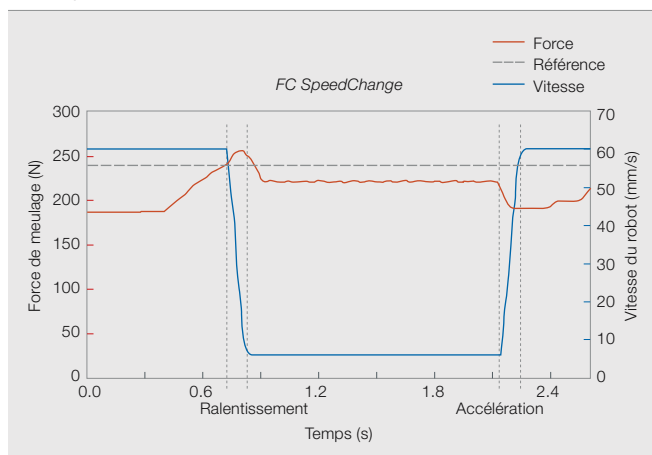
La boucle d'asservissement *FC Pressure* contrôle le meulage, le polissage ou l'ébavurage des pièces moulées tout en maintenant une pression constante entre l'outil surface à traiter. Cette boucle a été conçue pour les pièces exigeant une finition de surface de haute qualité. Le robot « fait corps » avec son environnement, suivant la surface des pièces moulées, adaptant sa position pour appliquer une pression constante, même si la position exacte n'est pas connue. L'effort de contact étant régulier, la profondeur d'ébavurage est partout la même. Les résultats sont là : pièces mieux finies, ébavurage de pièces moulées de dimensions variables, minimisation

des risques de dégradation et usure prévisible de l'outillage. La pression étant obtenue en déplaçant la trajectoire du robot, cette fonction est particulièrement adaptée aux opérations de polissage, de meulage et de parachèvement de surfaces devant être parfaitement régulières et lisses **3**.

La seconde boucle d'asservissement, *FC SpeedChange*, adapte la vitesse d'ébavurage du robot selon l'état de surface de la pièce (ralentissement en cas de bavures importantes). Cette fonction est particulièrement utile aux applications exigeant un suivi de trajectoire précis et le respect de contraintes dimensionnelles spécifiques du produit fini. Avec *FC SpeedChange*, le robot est contrôlé en position et suit une trajectoire programmée qui garantit un taux constant d'enlèvement de matière. Le robot opère à sa vitesse maximale, ralentissant automatiquement lorsque l'effort d'usinage est trop élevé pour minimiser les dimensions modifiées du fait de la flexion de son bras et pour éviter d'endommager la pièce ou l'outillage sous l'effort ou la chaleur. Comme pour *FC Pressure*, cette fonction écourte les temps de cycle, permet de traiter des pièces de dimensions variables, minimise les risques de dégradation des pièces et anticipe l'usure de l'outillage **4**.

Au final, la solution ABB assure le traitement avancé des signaux de mesure, les opérations mathématiques et logiques ; elle inclut également une interface graphique pour la program-

4 Opération de meulage avec décélération du robot en cas de bavure importante. La force mesurée est supérieure à la valeur de référence réglée, obligeant le robot à ralentir. Lorsque la force diminue, le robot réaccélère jusqu'à la vitesse programmée de 0,1 s.



- 5 Interface graphique FlexPendant. La trajectoire affichée en 3D est simple à comprendre et à modifier.



mation rapide, simple et précise avec laquelle l'opérateur se sert du capteur pour guider le bras du robot de manière intuitive. La solution livrée clé en main intègre tous les constituants requis – instrumentation, électronique et câbles prémontés et testés sur le robot – laissant à l'intégrateur ou au client le soin de l'adaptation applicative sur site.

Une réussite collective

Comme pour la plupart des innovations majeures, le développement de ce système est le fruit d'un travail collectif. Des chercheurs universitaires, des scientifiques et des ingénieurs d'ABB ainsi que des clients ont collaboré pour élaborer cette solution complexe et pluridisciplinaire.

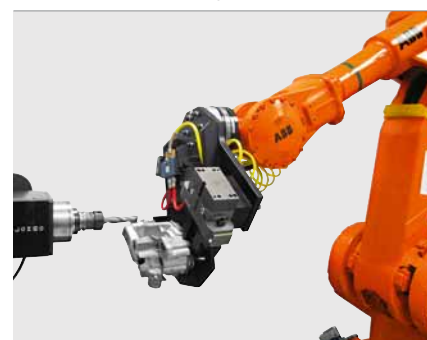
Au départ, ABB et l'université technique de Lund en Suède ont défini et développé les fonctions de mesure et de commande de base [2,3]. Ensuite, il devint indispensable de mieux comprendre l'application et de trouver l'interface utilisateur optimale [4]. La clé de la réussite du projet ? Solliciter les pôles d'excellence mondiaux d'ABB – contrôle d'effort en Suède et aux Etats-Unis, savoir-faire applicatif en Autriche, interface graphique en Chine – et des partenaires industriels pour des essais en vraie grandeur. Témoignage de John Kuhn, de Rimrock Corporation, qui réalisa ces essais : « La solution à contrôle d'effort est susceptible d'avoir des retombées sur notre secteur d'activité comme aucune autre innovation ABB à ce jour. » Rimrock Corporation est un leader du marché de l'automatisation et des services d'intégration en Amérique du nord et, depuis longtemps, un précieux partenaire d'ABB.

Un marché demandeur

Lors de la présentation de la solution *RobotWare Machining FC* au salon GIFA de Düsseldorf, première manifestation mondiale pour l'industrie de la fonderie, les clients ont été particulièrement réceptifs, comprenant le parti qu'ils pouvaient tirer de cette innovation pour améliorer la qualité de leurs produits et réduire leurs coûts de développement qui peuvent atteindre 80 %. Qui plus est, elle permet de gagner 20 % sur les temps de cycle et également 20 % sur la durée de vie de l'outillage d'ébavurage.

Après le lancement concluant de la technologie de contrôle d'effort pour les opérations d'assemblage et d'usinage, ABB défriche d'autres marchés comme, par exemple, l'industrie aérospatiale qui, désirent renforcer la flexibilité de sa production, cherche des solutions précises, fiables et efficaces pour les opérations de perçage [5]. La solution *RobotWare Machining FC* simplifie les opérations de parachèvement dans la fonderie et permet de produire des pièces moulées de meilleure qualité, plus rapidement et à moindre coût.

Robot avec le capteur, le dispositif de bridage et l'outil fixe d'ébavurage



Peter Fixell

Tomas Groth

Mats Isaksson

ABB Robotics

Västerås (Suède)

peter.fixell@se.abb.com

tomas.groth@se.abb.com

mats.isaksson@se.abb.com

Hui Zhang

Jianjun Wang

Jianmin He

ABB Corporate Research

Windsor, CT (USA)

hui.zhang@us.abb.com

jianjun.wang@us.abb.com

jianmin.he@us.abb.com

Martin Kohlmaier

Rainer Krappinger

ABB AG, Robotics

Wr. Neudorf (Autriche)

martin.kohlmaier@at.abb.com

rainer.krappinger@at.abb.com

Jingguo Ge

ABB Corporate Research

Shanghai (Chine)

jingguo.ge@cn.abb.com

Bibliographie

- [1] Zhang, H., Gan, Z., Brogard, T., Wang, J., Isaksson, M., *Techniques d'apprentissage – Robotique d'assemblage pour les organes de transmission automobile*, Revue ABB 1/2004, p. 13–16
- [2] Johansson, R., Robertsson, A., Nilsson, K., Brogårdh, T., Cederberg, P., Olsson, M., Olsson, T., Bolmsjö, G. (2004), *Sensor integration in task-level programming and industrial robotic task execution control*, Industrial Robot, 31(3), p. 284–296
- [3] Blomdell, A., Bolmsjö, G., Brogårdh, T., Cederberg, P., Isaksson, M., Johansson, R., Haage, M., Nilsson, K., Olsson, M., Olsson, T., Robertsson, A., Wang, J. (2005), *Extending an industrial robot – implementation and applications of a fast open sensor interface*, IEEE Robotics Automation Magazine, 12(3), p. 85–94
- [4] He, J., Pan, Z., Zhang, H. (2007), *Adaptive force control for robotic machining process*, American Control Conference, ACC '07, p. 1–6
- [5] Kihlman, H., Brogårdh, T., Haage, M., Nilsson, K., Olsson, T. (2007), *On the use of force feedback for cost efficient robotic drilling*, Paper 07ATC-278 presented at the SAE 2007 AeroTech Congress & Exhibition, Los Angeles, CA.

Onduleurs de tension multiniveaux

Avec son nouveau convertisseur de fréquence MT, ABB fait monter la tension

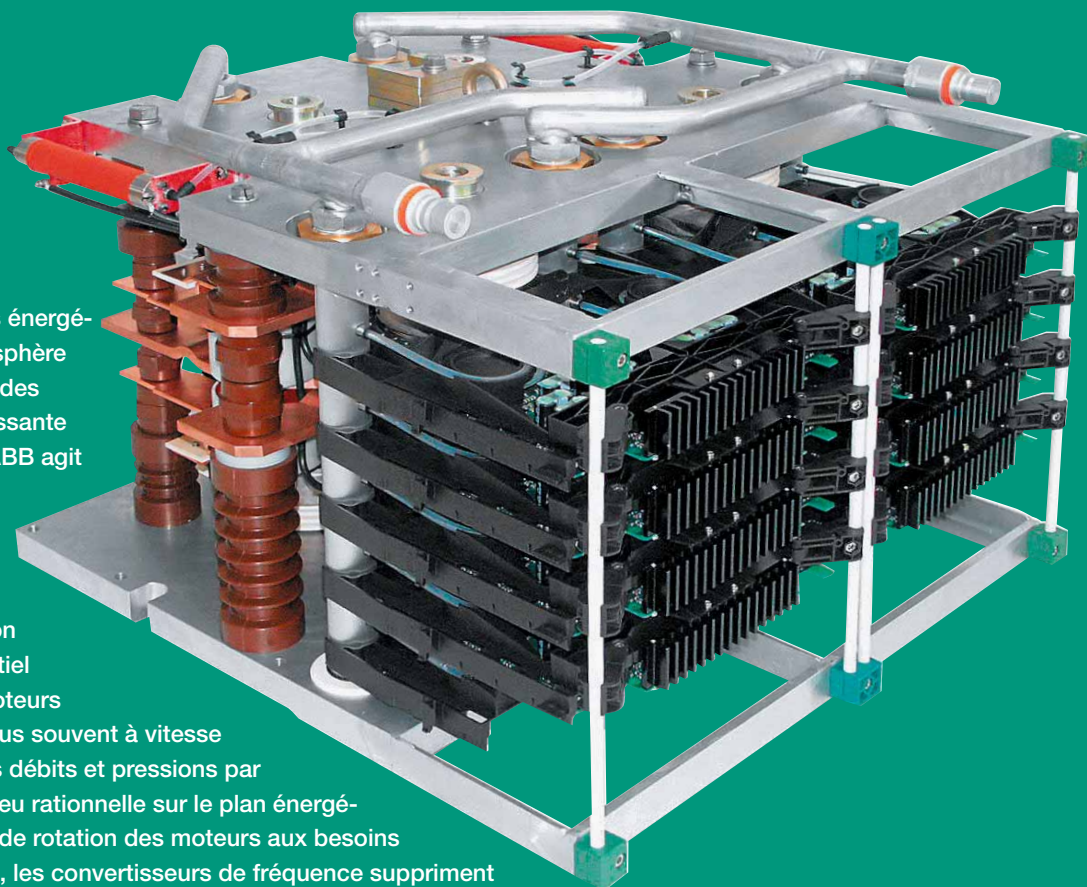
Pieder Jörg, Gerald Scheuer, Per Wikström

L'épuisement des ressources énergétiques et le rejet dans l'atmosphère des gaz à effet de serre sont des sujets de préoccupation croissante pour l'avenir de l'humanité. ABB agit en misant sur l'efficacité énergétique.

Les applications de ventilation, pompage et compression recèlent un formidable potentiel d'économies. En effet, les moteurs d'entraînement tournent le plus souvent à vitesse fixe avec une modulation des débits et pressions par action mécanique, solution peu rationnelle sur le plan énergétique. En adaptant la vitesse de rotation des moteurs aux besoins réels de pression ou de débit, les convertisseurs de fréquence suppriment les consommations inutiles.

La panacée ? Pas tout à fait, car les concepteurs de convertisseurs de fréquence moyenne tension (MT) doivent résoudre deux problèmes fondamentaux : fournir au moteur le niveau de tension requis et délivrer une onde de tension aussi proche que possible de la sinusoïdale pure. En recombinaison plusieurs solutions existantes, ABB apporte une réponse innovante à ces problèmes : le convertisseur de fréquence à cinq niveaux de tension.

Cette solution améliore considérablement la forme d'onde tout en augmentant la tension de sortie du convertisseur. Et pour couronner le tout, elle s'appuie, pour l'essentiel, sur des concepts éprouvés, constituant une innovation à moindre risque et fiabilisée.



Pour réguler les débits, on utilise traditionnellement des techniques très énergivores «d'étranglement». Par analogie, supposons qu'au volant de votre voiture vous gardiez en permanence votre pied à fond sur l'accélérateur (le moteur tournant à plein régime) et adaptiez votre vitesse avec les freins (étranglement) sans jamais toucher à la boîte de vitesses. Dans le cas des moteurs électriques, les convertisseurs de fréquence jouent le rôle de changement de vitesse et favorisent des économies tous azimuts.

Les moteurs absorbent environ 30 % de l'énergie électrique produite dans le monde. Près des trois quarts entraînent des pompes, des ventilateurs et des compresseurs dans des applications où le pilotage à vitesse variable peut faire chuter leur consommation électrique. ABB estime que si l'on équipait le parc mondial de moteurs MT de convertisseurs de fréquence, les économies se chiffreraient à 227 TWh, soit la production annuelle de 144 centrales thermiques à flamme ou encore la consommation énergétique totale d'un pays comme l'Espagne¹⁾.

Aujourd'hui, la vitesse de rotation de moins de 10 % des moteurs vendus chaque année est régulée par la solution la plus efficace sur le plan économique et la plus simple en termes de maintenance : le convertisseur de fréquence. Malgré cela, pourquoi la majorité des utilisateurs continue-t-elle d'opter pour d'autres techniques de régulation? Les raisons les plus fréquemment évoquées sont :

- a) la fiabilité ;
- b) les harmoniques ;
- c) le coût et/ou le délai de retour sur investissement.

Le convertisseur de fréquence à cinq niveaux de tension d'ABB répond précisément à ces contraintes.

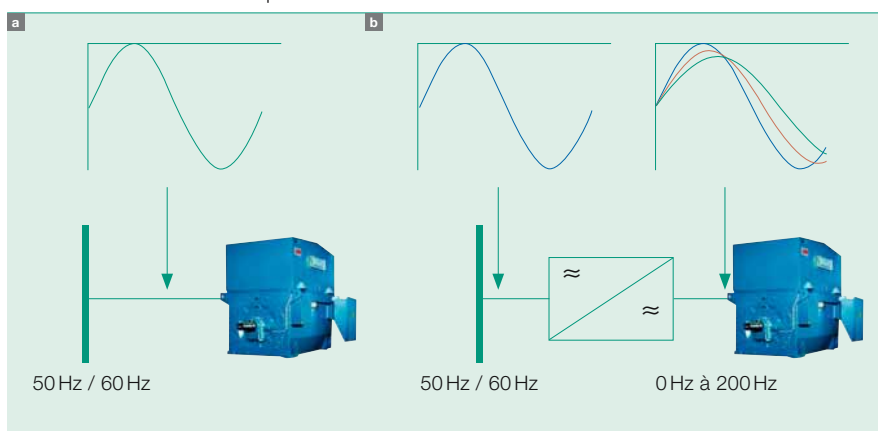
La forme idéale

Traditionnellement, l'électricité produite par un alternateur synchrone

Note

¹⁾ Cf. également Wikstroem, P., Tolvanen, J., Savolainen, A., Barbosa, P., *La variation de vitesse au rendez-vous de l'efficacité énergétique*, Revue ABB 2/2007, p. 73-80 (au premier chef, p. 74-76).

1 Moteur raccordé directement au réseau électrique a et moteur alimenté par l'intermédiaire d'un convertisseur de fréquence b



possède une tension sinusoïdale. Un moteur électrique raccordé directement au réseau, tournant à vitesse fixe, est optimisé pour cette forme d'onde. Si ce même moteur est commandé en vitesse variable, le convertisseur de fréquence doit produire une forme d'onde aussi proche que nécessaire de la tension sinusoïdale pure. A défaut, le moteur s'échauffe, ne peut être exploité à sa puissance nominale et doit être déclassé. Autre inconvénient : l'ondulation de couple superposée peut induire des oscillations torsionnelles dans la chaîne cinématique et la machine entraînée.

Les moteurs absorbent environ 30 % de l'énergie électrique produite dans le monde. Près des trois quarts entraînent des pompes, des ventilateurs et des compresseurs dans des applications où le pilotage à vitesse variable peut faire chuter leur consommation électrique.

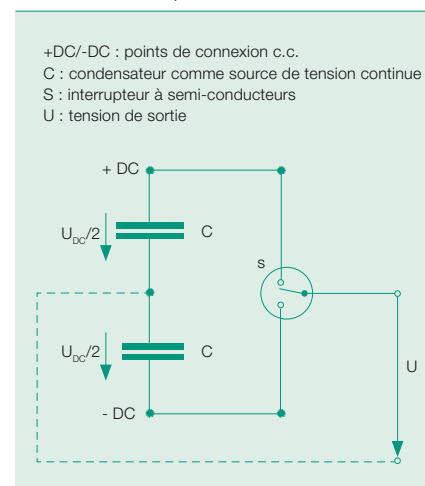
Par ailleurs, les plages de tension des moteurs sont normalisées. Pour les moteurs MT jusqu'à environ 7 000 kW, les tensions les plus fréquentes au sein des sites industriels sont 6 kV/50 Hz et 4 kV/60 Hz. Cela signifie que, pour utiliser les mêmes moteurs dans des applications en démarrage direct sur le réseau a et en comman-

de en vitesse variable b, le convertisseur de fréquence doit pouvoir fournir les mêmes niveaux de tension de sortie. Or ces valeurs de tension ne sont pas aisées à obtenir avec les convertisseurs traditionnels à deux et trois niveaux car la tension de sortie maximale est déterminée par les plages de tension des semi-conducteurs de puissance.

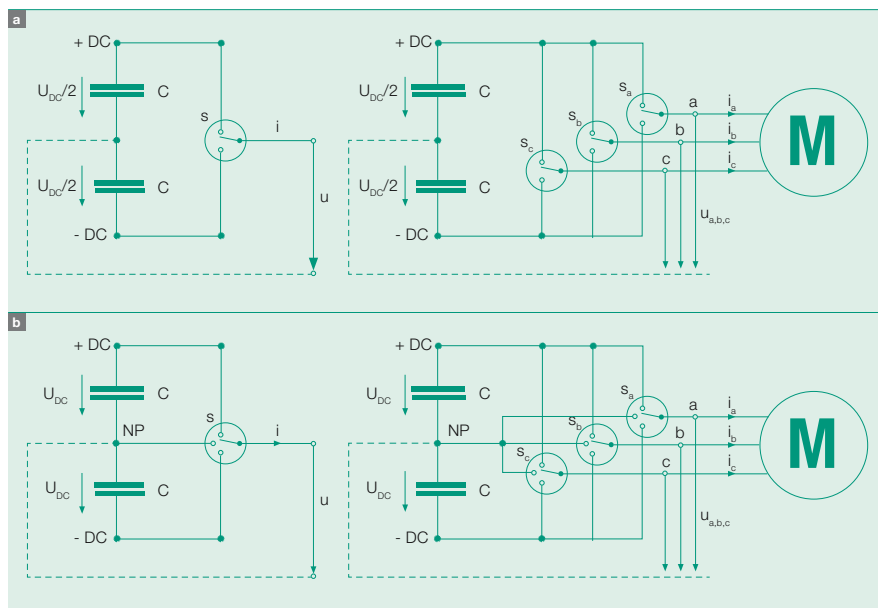
Voyage au cœur du convertisseur de fréquence

Dans un convertisseur, l'énergie subit une double conversion. D'abord, la tension d'entrée sinusoïdale de fréquence fixe et d'amplitude constante est redressée en tension continue ou en courant continu dans un pont redresseur. Ensuite, cette source continue est reconvertie en tension alternative ou courant alternatif de fréquence

2 Représentation des phases d'un onduleur à deux niveaux de tension avec un interrupteur idéal, alimenté par une source continue

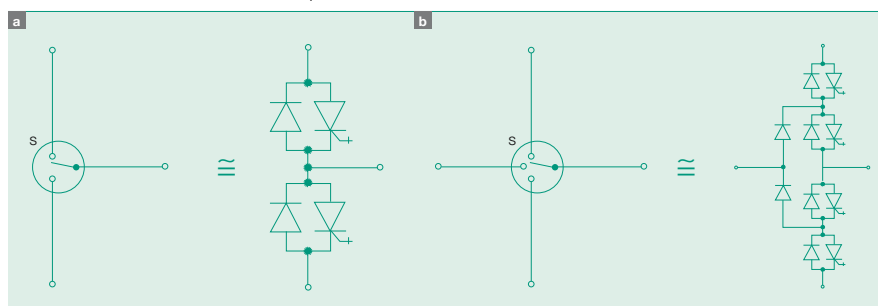


Produits

3 Schémas de principe d'un onduleur à 2 niveaux avec condensateur double **a** et à 3 niveaux **b**

4 Même si les interrupteurs des convertisseurs sont souvent représentés par de simples contacts (gauche), ils intègrent en réalité un grand nombre de composants semi-conducteurs (droite).

a bras à deux niveaux et **b** équivalent à trois niveaux.



Encadré 1 Semi-conducteurs de puissance : 50 ans de progrès

En un demi-siècle, ABB est devenu leader du marché de l'électronique de puissance. Les convertisseurs de fréquence pour la commande en vitesse variable des moteurs constituent un créneau important de ce marché. Les interrupteurs électroniques sont au cœur de chaque convertisseur de fréquence. Voyons comment leur évolution a ouvert la voie à la commutation à cinq niveaux.

Ceux parmi vous qui suivent le développement de ces composants depuis longtemps se souviendront que les premiers circuits de commande électriques haute puissance étaient basés sur des thyristors commutés par le réseau. Si ces derniers peuvent être conçus pour des courants et des tensions de blocage élevés (les plus récents atteignant des valeurs de 8–10 kV), ils ont l'inconvénient d'être commandables à l'amorçage et

non à l'extinction : ils restent à l'état passant jusqu'à ce qu'un événement externe vienne interrompre la circulation du courant. Cette spécificité restreint les stratégies de commutation possibles et, de ce fait, l'adéquation de ces circuits aux problèmes de qualité de l'énergie (cf. commutation à deux niveaux en **7a**).

Les convertisseurs intégrant ces interrupteurs engendrent des harmoniques de forte amplitude et de fréquence relativement faible, créant des problèmes à la fois dans le réseau électrique et dans le moteur. De surcroît, le facteur de puissance côté réseau varie sur la plage de fonctionnement du convertisseur de fréquence. La pollution harmonique du réseau peut être atténuée par des filtres. Au niveau du moteur, deux contraintes doivent être prises en compte : d'une part, l'échauffement supplémentaire du moteur impose un surdimen-

et d'amplitude variables dans un pont onduleur. Les ponts redresseur et onduleur sont des circuits à électronique de puissance. Cet article s'intéresse principalement à la technologie du pont onduleur.

La plupart des convertisseurs ABB sont des onduleurs à source de tension dont le principe le plus simple est illustré en **2**. Une phase de sortie de l'onduleur est raccordée successivement à l'un des deux pôles d'un gros condensateur c.c. Le pont redresseur (non illustré) doit veiller à ce que ce condensateur soit toujours alimenté en tension continue fixe. Si une tension alternative est requise, l'interrupteur du pont onduleur doit changer de position (modification de la tension de sortie) au moins une fois par demi-période. Ainsi, par exemple, pour une sortie de 50 Hz, l'interrupteur doit basculer d'une position à l'autre au moins 50 fois par seconde.

Dans la pratique, l'interrupteur bascule en général beaucoup plus rapidement. La stratégie de la commande numérique de la commutation détermine non seulement la fréquence, mais également la valeur moyenne de la tension qui circule dans la charge. Ces niveaux sont modifiés en réglant les valeurs d'entrée de l'unité selon les besoins. technique appelée « mo-

sionnement et, d'autre part, l'arbre et les accouplements doivent être conçus pour résister aux oscillations torsionnelles.

Par le passé, ces contraintes étaient acceptées faute d'alternative. De fait, on procède encore ainsi pour les applications de très forte puissance (20 MW et plus) pour des raisons de fiabilité. Or l'avènement de nouveaux composants à semi-conducteurs autorise des topologies innovantes délivrant des formes d'onde plus proches de la tension sinusoïdale pure. Ces composants, tous à base d'interrupteurs optimisés comme les transistors bipolaires à grille isolée IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistors*) et les thyristors commutés à gâchette intégrée IGCT (*Integrated Gate Commutated Thyristors*), ont l'avantage d'être commandables à l'extinction.

dulation de largeur d'impulsion» (MLI).

En réalité, l'interrupteur n'est pas un contact mobile comme le suggèrent les schémas, mais est constitué de composants semi-conducteurs de puissance **4a**. Le développement et les performances de ces interrupteurs ont, depuis les premiers convertisseurs, été liés aux progrès réalisés en électronique de puissance **Encadré 1**.

Le convertisseur ACS 5000 d'ABB utilise la technologie à cinq niveaux de tension.

Le niveau monte

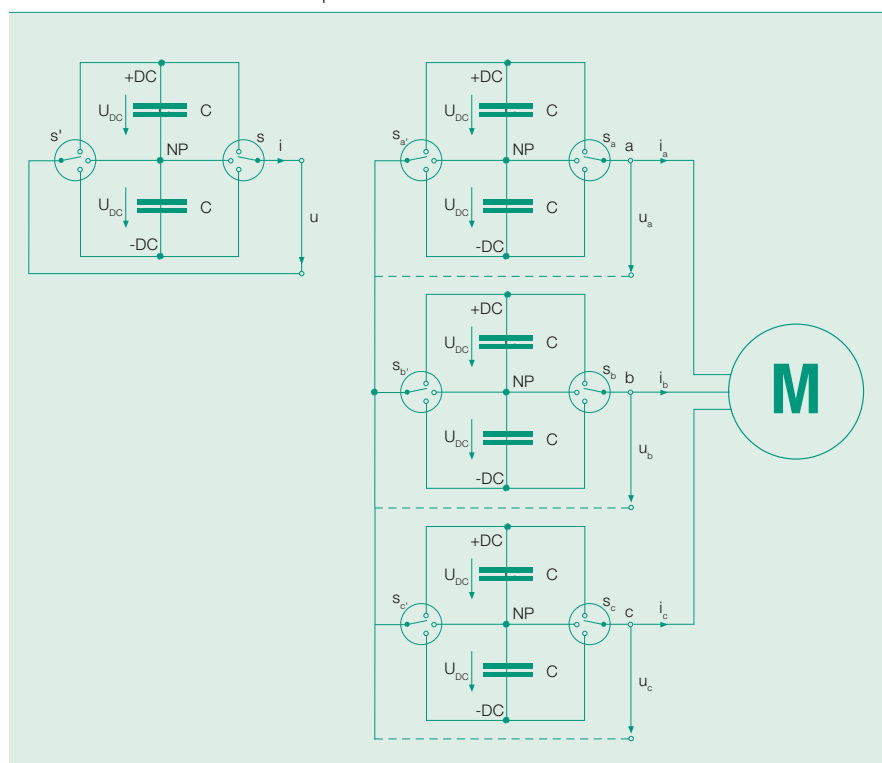
Même si la forme d'onde d'un onduleur de tension à deux niveaux **7a** peut varier en amplitude et en fréquence par modulation MLI, la forme de la tension de sortie est loin d'être sinusoïdale avec, pour conséquence, une distorsion importante du courant harmonique et, du même coup, des pertes supplémentaires qui provoquent l'échauffement du moteur. Pour améliorer la forme d'onde, une solution consiste à augmenter le nombre de niveaux de tension.

Encore par analogie, cela équivaut à améliorer la résolution d'un écran d'ordinateur pour rendre l'image plus nette.

Autre raison qui pousse à accroître le

nombre de niveaux : la tension de sortie maximale réalisable avec les onduleurs à deux niveaux et les semi-conducteurs de puissance modernes ne dépasse pas 2,3 kV, ce qui est in-

5 Schéma du nouvel onduleur à cinq niveaux (gauche) et nouvel entraînement triphasé complet à neuf niveaux de tension entre phases



6 Le convertisseur ACS 5000 d'ABB utilise la technologie à cinq niveaux de tension qui fournit au moteur neuf niveaux de tension entre phases.



Produits

suffisant pour la gamme standard de moteurs MT.

La configuration à deux condensateurs et un interrupteur électronique à trois positions – appelée onduleur à trois niveaux pour le nombre de combinaisons de tension de sortie par phase – est connue depuis un certain temps.

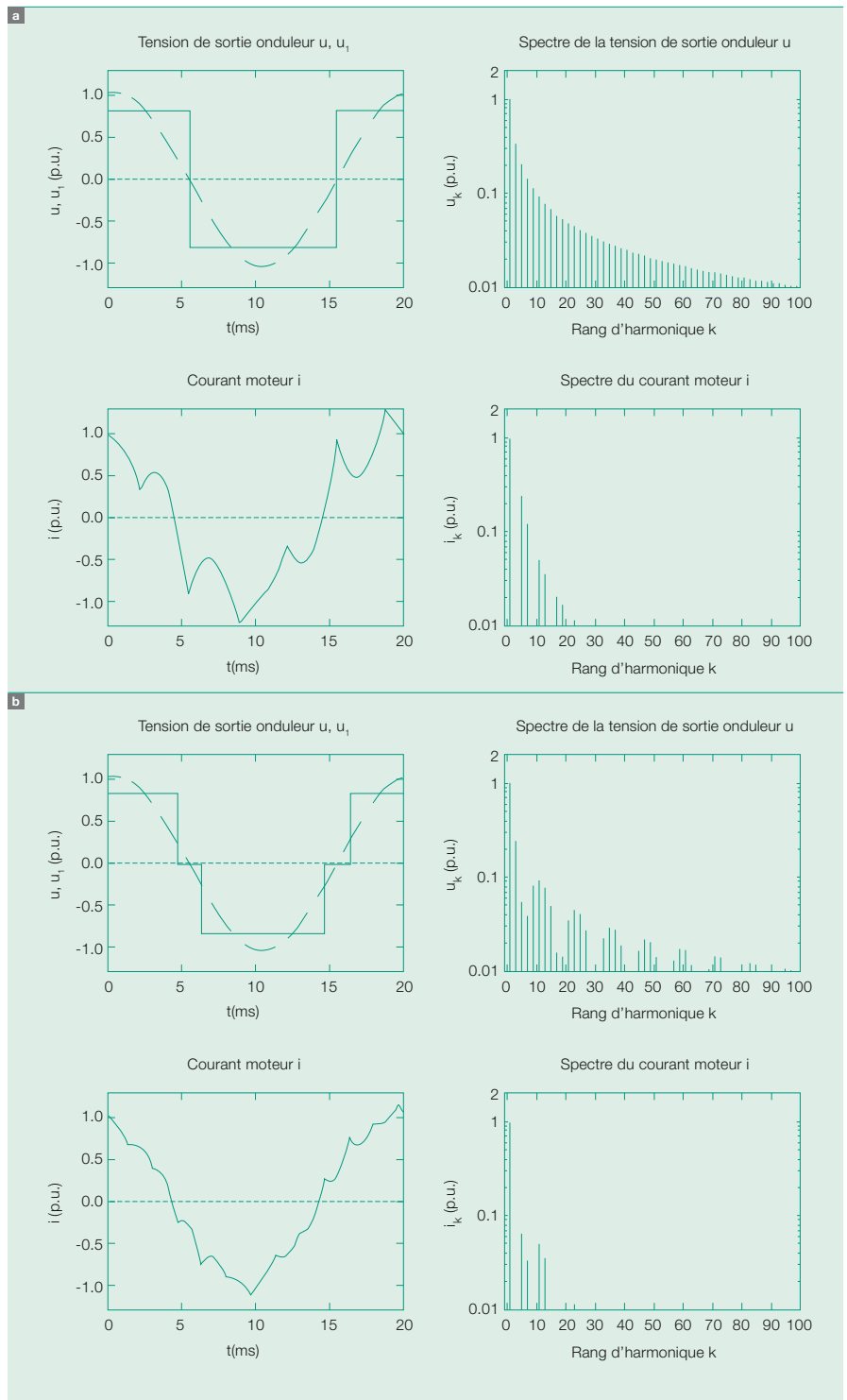
3b est un schéma de principe d'un interrupteur à trois positions. Ce circuit doit commuter l'un des trois points de connexion des condensateurs sur la sortie dans les deux sens du courant²⁾. Pour des valeurs assignées de tension et de courant, ABB a standardisé cet interrupteur **4b** sous la forme d'un module de puissance PEBB (*Power Electronic Building Block*). Cette standardisation lui permet de réutiliser les mêmes modules PEBB dans différentes applications, d'acquérir rapidement un précieux retour d'expérience et de proposer aux clients des conceptions parfaitement au point.

Depuis près d'une décennie, ces modules de puissance sont utilisés pour différents produits et systèmes, y compris les convertisseurs des variateurs de vitesse (ex., ACS 1000 et ACS 6000), les systèmes de stockage d'énergie et les systèmes de qualité du courant électrique.

Onduleurs à cinq niveaux

Depuis un certain temps, la communauté scientifique cherche à élaborer une solution combinant un nombre accru de condensateurs et des circuits électroniques toujours plus complexes. Jusqu'ici, les solutions proposées

7 Comparaison des formes d'onde des onduleurs à deux **a**, trois **b** et cinq niveaux **c**. En augmentant le nombre de niveaux, on améliore considérablement la forme d'onde, même à la fréquence de commutation minimale.



Variateurs de vitesse ABB

ABB, leader mondial de la variation de vitesse, propose une gamme complète de variateurs pour les applications de 0,12 kW à plus de 100 MW.

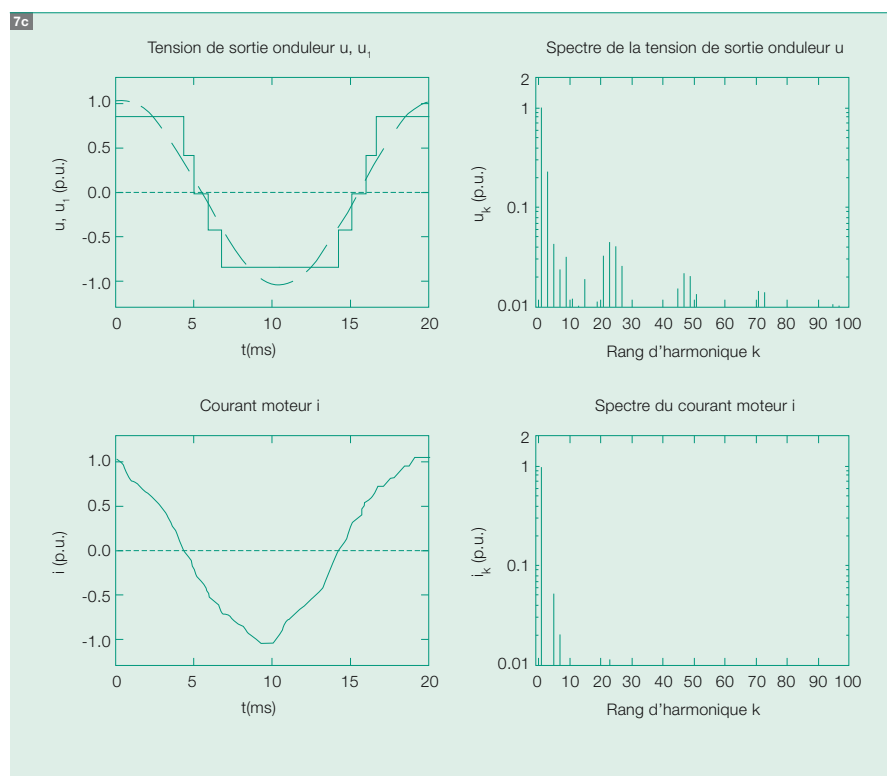
Ces produits sont destinés aux marchés de l'énergie et de l'eau, de même qu'à de nombreux secteurs industriels : ciment, extraction minière et minerais, chimie, pétrole & gaz, marine, métallurgie et papier.

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

étaient généralement incompatibles avec les technologies existantes de stockage d'énergie sur condensateurs et les propriétés des semi-conducteurs du marché. De surcroît, ces solutions réutilisaient peu les modules de puissance standards et leur fiabilité était

sujette à caution au vu du grand nombre de constituants.

Pour le dernier-né de sa famille de convertisseurs de fréquence MT, l'ACS 5000, les ingénieurs ABB sont repartis de produits traditionnels à



Un module PEBB pour 5 niveaux de tension s'insère aisément dans l'armoire du convertisseur.



base de thyristors comme les cyclo-convertisseurs et, avec les modules de puissance à trois niveaux standards illustrés en 4b, ont imaginé une solution d'une simplicité étonnante pour un onduleur à cinq niveaux de tension de sortie (et donc neuf niveaux entre phases) 8. L'idée était d'appliquer la technologie éprouvée à trois niveaux à la connexion étoile d'un système électrique, indépendamment sur chaque phase.

Le schéma de principe 5 est dérivé respectivement des modules de puissance identiques pré-existants S et S'.

Pourquoi cinq niveaux de tension ?

7c compare la forme de l'onde de tension entre phases d'un onduleur à deux niveaux et d'un onduleur à trois niveaux à celle du nouveau convertisseur à cinq niveaux. L'onduleur à cinq niveaux utilisé dans l'ACS 5000 6 fournit au moteur neuf niveaux de tension entre phases 8. Rien qu'en examinant la forme d'onde, on s'aperçoit que le nouvel onduleur à cinq niveaux produit une tension de sortie beaucoup plus proche de l'onde sinusoïdale pure, à tel point qu'on peut désor-

mais utiliser des moteurs conçus pour un démarrage direct sur le réseau sans aucun déclassement. Cette solution est optimale pour un convertisseur 6 kV.

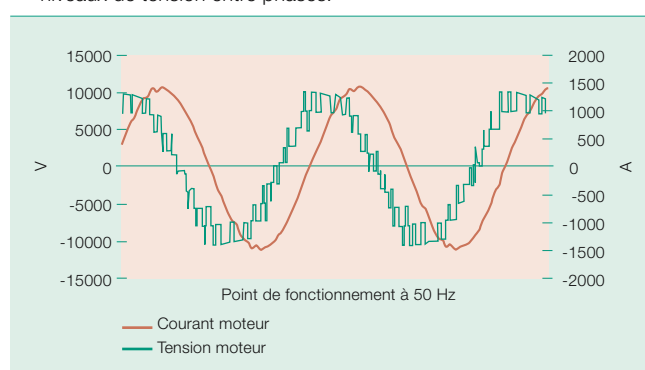
Reste une question : l'ajout de niveaux de commutation supplémentaires permettrait-il d'améliorer encore la forme d'onde ? Oui, mais au prix d'une complexité considérable, hors de proportion avec les gains escomptés ! Sur-tout, la fiabilité du variateur se dégraderait du fait du nombre accru de composants.

Des solutions éprouvées

ABB a développé une solution d'une simplicité déconcertante pour créer

des ondes de tension quasi-sinusoïdales avec un convertisseur de fréquence élaboré essentiellement à partir de composants existants et fiabilisés. La technologie éprouvée de l'onduleur à trois niveaux est réutilisée dans une configuration innovante qui autorise cinq niveaux de tension par phase, soit neuf niveaux entre phases. Le recours à des modules de puissance standardisés est une des clés de ces excellentes performances. Les moteurs MT normalisés peuvent désormais être exploités au maximum de leur rendement avec un convertisseur moins complexe.

8 Un convertisseur à cinq niveaux de tension fournit au moteur neuf niveaux de tension entre phases.



**Pieder Jörg
Gerald Scheuer
Per Wikström**

ABB Switzerland Ltd.
Turgi (Suisse)
pieder.joerg@ch.abb.com
gerald.scheuer@ch.abb.com
per.wikstroem@ch.abb.com

Note

²⁾ A la différence de la plupart des composants semi-conducteurs de forte puissance qui ne conduisent les courants que dans un sens.



L'intégration en tête d'affiche

Au programme du disjoncteur SACE Emax DC : souplesse, compacité, puissance
Giovanni Frassinetti

Le câblage est le talon d'Achille de bien des installations. Tirer un câble pour ajouter un appareil est coûteux en temps et en argent, et encore davantage pour le tester et le vérifier. De surcroît, les auxiliaires de commande et de signalisation raccordés prennent aussi de la place (qui fait déjà cruellement défaut à bon nombre de sites) et exigent chacun leur alimentation. La solution ? Regrouper un maximum de

fonctionnalités dans un seul équipement multifonction, « sur étagère ». Et sur ce créneau, ABB remporte la palme de l'intégration !

Avec le *SACE Emax DC*, ABB a réussi le tour de force d'intégrer une foule de fonctions évoluées de surveillance, de protection et de contrôle-commande dans une seule application jusqu'ici tributaire d'appareils

externes. Résultat : notre gamme de disjoncteurs courant continu (CC) à coupure dans l'air, la plus innovante et la plus complète du marché, joue la vedette dans toutes sortes d'installations en courant continu.

Cet article passe en revue quelques-uns des défis qui se sont posés aux concepteurs tout en approfondissant certaines des technologies mises en œuvre.

Les disjoncteurs CC font recette dans les applications de puissance « critiques » pour lesquelles la continuité de service est capitale. C'est le cas des hôpitaux, usines de transformation, équipements de sécurité, services d'urgence, infrastructures télécoms, salles informatiques... qui doivent impérativement compter sur la disponibilité immédiate d'une alimentation de secours. Pour cela, les batteries constituent une solution très fiable et rapidement déployable.

A ces applications s'ajoutent la traction électrique, le forage, la chimie, les procédés électrolytiques et la propulsion navale (régulée en vitesse et alimentée par batteries ou pile à combustible).

C'est au disjoncteur qu'il revient d'interrompre les courants et de protéger les charges tout en garantissant l'intégrité de l'alimentation électrique. Notre SACE Emax DC, champion de l'intégration, n'est pas seulement le candidat tout désigné pour ces applications exigeantes. C'est aussi une solution unique en son genre : aucun autre disjoncteur CC n'affiche la même richesse fonctionnelle **Encadré**.

Applications

Selon la source du signal déclenchant la coupure, on distingue à l'heure actuelle :

- les disjoncteurs automatiques à déclencheur électromécanique incorporé ;
- les interrupteurs-sectionneurs à déclencheur électronique externe.

Les premiers conviennent aux installations de faible puissance fonctionnant en auto-alimentation ; leur périmètre d'action s'arrête à la protection instantanée contre les courts-circuits. Il n'est ici pas question de protection avancée ni de mesure, encore moins de communication, d'automatisation, de diagnostic et de dialogue opérateur ! Les interrupteurs-sectionneurs et leur déclencheur externe se

bornent à assurer des protections ordinaires (surcharges, protection contre les courts-circuits sélectifs/instantanés). Faute de solution intégrée, ils obligent à loger le déclencheur et les capteurs de courant dans le tableau électrique. Logique, dans ces conditions, que l'ensemble ne puisse prétendre à la compacité d'un disjoncteur automatique !

Autres lacunes : les surcoûts de développement et d'installation induits par le besoin de raccorder, de câbler, de vérifier et de certifier le système de déclenchement externe, ces tâches étant confiées à un tableautier ou un intégrateur de système. De même,

déclencheur et actionneur nécessitent une alimentation auxiliaire.

Les disjoncteurs CC sont aptes à la protection et au sectionnement des courants et charges tout en garantissant l'intégrité de l'alimentation électrique.

Enième inconvénient : le pouvoir de coupure maximal du disjoncteur est donné par le courant admissible de courte durée de l'interrupteur-sectionneur ; or celui-ci est traditionnellement

inférieur au pouvoir de coupure en court-circuit d'un disjoncteur automatique dont l'intégration garantit un temps de réponse plus court.

La gamme SACE Emax DC **1** offre donc une solution novatrice cumulant tous les atouts de l'intégration, agrémentés de plusieurs caractéristiques majeures.

Hérité des appareillages classiques que nous avons revisités pour l'occasion, le SACE Emax DC s'érige en référence des disjoncteurs pour tous types d'installations en courant continu.

Architecture

Les disjoncteurs CA intégrés ne datent pas d'hier. Pourtant, ils n'étaient pas directement transposables au courant continu et obligeaient à revoir de fond en comble une multitude d'aspects.

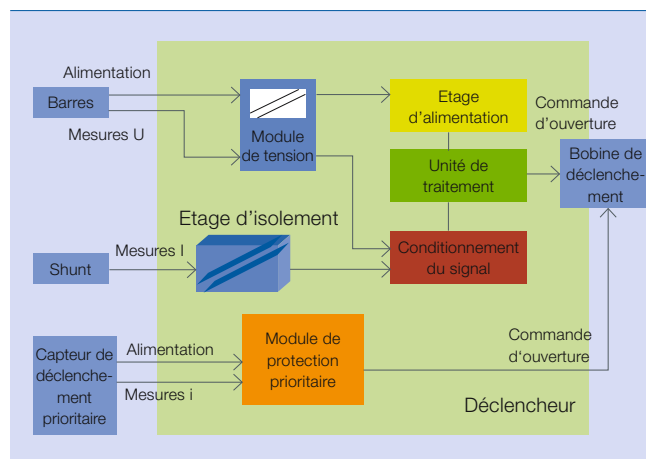
Ce nouveau disjoncteur CC **2** s'articule autour :

- d'un shunt pour la mesure du courant et la protection ;
- d'un capteur de courant de déclenchement prioritaire pour la protection de secours instantanée ;
- d'un déclencheur électronique ;
- d'un actionneur (bobine de déclenchement) pour ouvrir le disjoncteur.

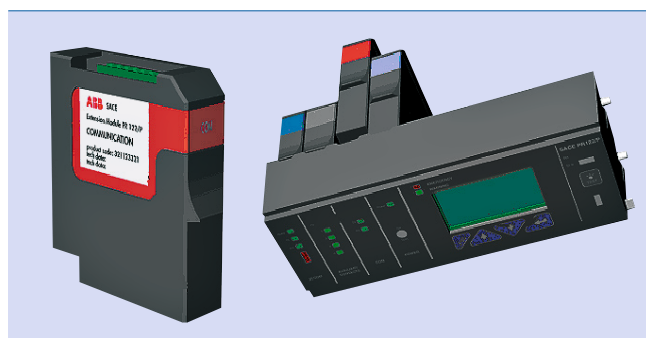
1 Panneau de contrôle du disjoncteur SACE Emax DC



2 Architecture du SACE Emax DC



3 Déclencheur



Produits

Le déclencheur utilise la même architecture matérielle que la gamme Emax CA actuelle, qui fut améliorée pour répondre aux plus grandes exigences d'isolement et de traitement des signaux faibles de la version CC. Côté logiciel, les modifications ont porté sur la mesure du courant (en valeur moyenne et non plus efficace) et l'adaptation des algorithmes de protection à la nouvelle méthode de mesure.

Le déclencheur **3** peut être équipé de modules optionnels assurant de nouvelles fonctionnalités :

- Module de communication fournissant une interface à séparation galvanique avec un système de supervision ;
- Module de signalisation par contacts permettant d'actionner des dispositifs externes (également configurable en entrée).

Le déclencheur électronique est alimenté par les bornes principales du

disjoncteur au moyen d'un « module de tension » intégré, du capteur de courant de déclenchement prioritaire ou d'une source externe 24 VCC isolée. Le module de tension fournit également les mesures de tension dont a besoin le déclencheur pour effectuer une analyse ultérieure du signal (mesures de puissance, par exemple) et les protections de type maximum/minimum de tension et inversion de phase.

La gamme SACE Emax DC d'ABB est une solution novatrice cumulant tous les atouts de l'intégration, agrémentés de plusieurs caractéristiques majeures.

L'intégration de tous ces éléments fait du SACE Emax DC l'un des équipements à électronique embarquée les plus impressionnants du marché des disjoncteurs à coupure dans l'air, avec des caractéristiques dignes d'un « système mécatronique ».

Shunt

Le shunt **4** est le capteur de courant¹⁾ dont la sortie délivre un signal de tension proportionnel au courant, de valeur comprise entre 2,56 mV et 240 mV.

Ses concepteurs se sont heurtés à la difficulté de définir un dispositif de très faible encombrement pouvant se

nicher dans le disjoncteur. Qui plus est, il lui fallait une résistance assez élevée pour commander l'électronique du déclencheur et suffisamment faible pour autoriser une dissipation de puissance compatible avec l'enveloppe plastique du disjoncteur, le tout au courant assigné et en conditions de court-circuit (soit 100 kA durant 0,5 s).

Cette résistance minimale qui, au courant assigné, donne une sortie de rapport signal/bruit conforme aux spécifications du déclencheur, est de $8 \mu\Omega$ à 1600 A. Pour obtenir la fonctionnalité requise, au courant assigné, la température du shunt fut maintenue aussi basse que possible en augmentant la conductance thermique **Equation 1**. Pour cela, on procéda à une analyse fine du flux thermique avec la méthode des éléments finis **5**, ce qui permit de limiter à la valeur voulue l'échauffement de l'enveloppe plastique du shunt.

$$\text{Equation 1} \quad \theta_s = \frac{P_p}{G}$$

avec :

P_p Perte énergétique

G Conductance thermique

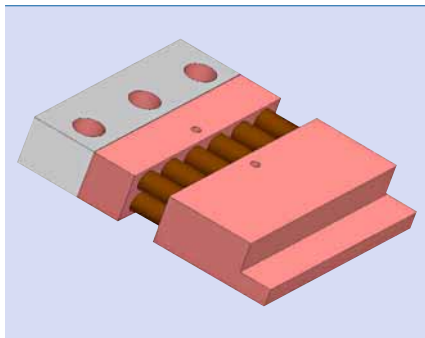
θ_s Hausse régulière de la température

Pour permettre au shunt de bien fonctionner en court-circuit (soit, rappelons-

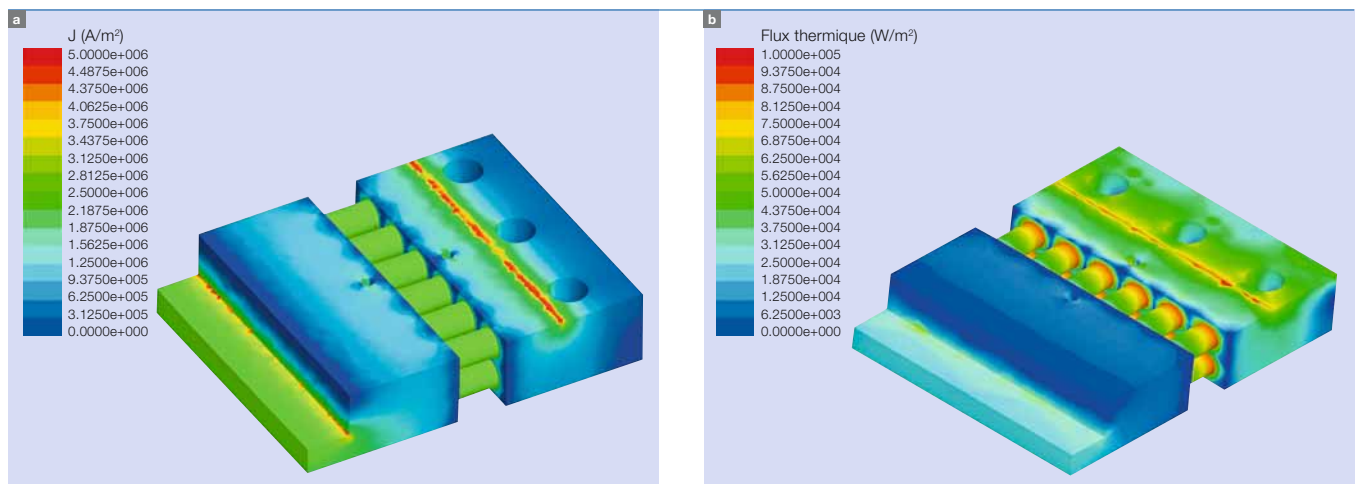
Note

¹⁾ A la différence de notre version CC, les disjoncteurs CA utilisent habituellement un transformateur de courant.

4 Shunt de mesure du courant



5 Densité de courant **a** et flux thermique **b** dans le shunt, au courant assigné



le, à 100 kA durant 0,5 s), la seule façon de contrôler la température fut d'accroître la capacité thermique, le phénomène pouvant être considéré comme adiabatique [Equation 2].

$$\text{Equation 2} \quad \theta_{ad} = \frac{R \cdot P t}{C}$$

avec :

$P t$ Energie traversante
 θ_{ad} Hausse de température adiabatique
 R Résistance du shunt
 C Capacité thermique

$$\text{Equation 3} \quad C = m \cdot c$$

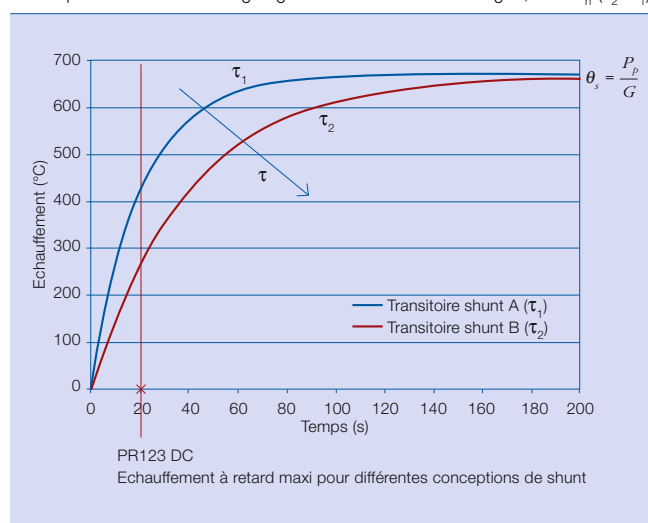
avec :

m Masse
 c Chaleur massique

Pour garantir la fonctionnalité du shunt en régime de surcharge, les concepteurs ont maximisé sa constante de temps thermique afin d'accroître ses performances (ce qui revient à réduire son échauffement durant la surcharge). Ils ont pour cela optimisé la forme de l'ensemble shunt-borne, notamment en augmentant la masse sans pour autant diminuer la conductivité thermique [Equations 4 et 5].

Les transitoires thermiques des deux solutions sont représentés en 6 : pour une même résistance, la courbe rouge 6b (constante de temps plus élevée) s'accompagne d'un échauffement infé-

6 Echauffement transitoire du shunt avec différentes constantes de temps thermiques sous une surcharge égale à 6 fois le courant assigné, soit $6I_n$ ($\tau_2 > \tau_1$)



rieur de 30 %, avant déclenchement du disjoncteur soumis à une surcharge de 20 secondes.

$$\text{Equation 4} \quad \tau = \frac{C}{G}$$

$$\text{Equation 5} \quad \theta(t) = \theta_s \cdot \left\{ 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right\}$$

avec :

τ Constante de temps thermique
 θ Hausse de température

Isolement

A cause des shunts, le déclencheur électronique n'est pas isolé galvaniquement du jeu de barres principal ; se posait alors le défi de garantir le niveau d'isolement adéquat. La norme

CEI 60947-1 fixe une tension assignée de tenue aux chocs de 14,4 kV sans avoir à débiter le déclencheur du châssis du disjoncteur. Cette difficulté est accentuée par le fait que le déclencheur est directement raccordé aux barres, sans aucune sorte d'isolement ou de séparation (à l'instar des transformateurs de courant des disjoncteurs CA) : un problème résolu par l'insertion d'amplificateurs opérationnels isolés (un par capteur shunt).

Conditionnement du signal

Pour garantir la plus grande précision de mesure sur une large plage de courants en

exploitant les caractéristiques dynamiques maximales du convertisseur A/N, les signaux venant de différents capteurs shunt sont mis à l'échelle par un circuit analogique.

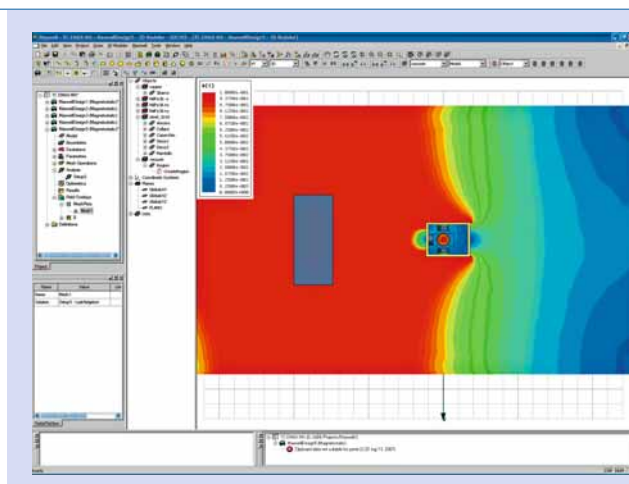
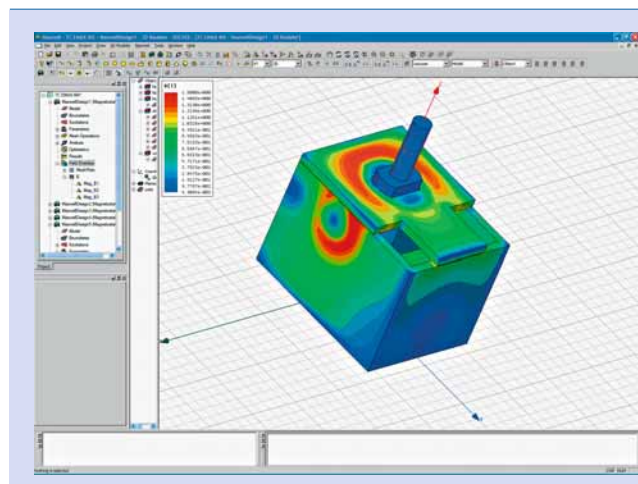
Module de tension

Il alimente le déclencheur et délivre un signal de tension proportionnel à la tension primaire, utile à la mesure (avec isolement à haute impédance).

Etage d'alimentation

Il gère l'alimentation à partir des deux sources possibles (alimentation isolée depuis une source externe optionnelle ou tension de barres) et fournit cette énergie à chaque élément de l'électronique, aux niveaux de tension requis.

7 Calcul maillé par la méthode des éléments finis (gauche) et simulations de la sortie (droite)



Produits

Unité de traitement

Elle repose sur une architecture parallèle à trois circuits : un processeur de faible puissance pour les fonctions de démarrage et de protection très rapide, un processeur numérique de signal (DSP) pour toutes les autres fonctionnalités et un second processeur de faible puissance contenant les

informations sur le disjoncteur. La très faible résistance des shunts explique le niveau infime du signal source. Il faut par conséquent adapter le moyen de mesure à ce signal : celui-ci est amplifié et mis à l'échelle pour être proportionnel au courant nominal (I_n) du disjoncteur. Deux échelles servent à affiner la mesure, l'une de 0 à 4 I_n ,

l'autre de 4 à 12 I_n . La dynamique du signal est considérable (environ 50 dB).

L'électronique pourrait beaucoup gagner en sensibilité de traitement des signaux faibles, tout en préservant son immunité aux fortes perturbations externes et aux courants de court-circuit, moyennant le choix de composants à hautes performances, minutieusement agencés sur le circuit imprimé.

Encadré Champion!

Le SACE Emax DC d'ABB est le seul disjoncteur de ce type sur le marché. Il se singularise par des fonctions et caractéristiques inédites :

- *Un ensemble exploitant à fond les protections et réglages classiques* (surcharges, courts-circuits sélectifs et instantanés) et évolués (maximum et minimum de tension, déséquilibre de phases, retour de puissance, sélectivité de zone et mémoire thermique) d'un déclencheur électronique. Les deux polarités sont protégées de façon à détecter et à éliminer tous les défauts possibles, quel que soit le réseau de distribution.
- *Un fonctionnement sans alimentation auxiliaire* : la totalité des mesures et protections s'exécute en mode auto-alimenté, par l'intermédiaire du module de tension.
- *Une intégration totale* : le déclencheur, les capteurs de courant et de tension, ainsi que les connexions sont intégrés dans le disjoncteur. L'appareil est certifié et homologué par les principaux registres navals ; chaque unité est testée et réceptionnée en usine.
- *Des valeurs assignées élevées* : courant de 800 A à 5 000 A, tension de service jusqu'à 1 000 V, niveaux de court-circuit jusqu'à 100 kA, courant admissible de courte durée de 100 kA maxi.

■ *Une profusion de mesures* : courant, tension, puissance et comptage d'énergie.

■ *Un catalogue varié de fonctions de communication et d'automatisation* : module de communication sous protocole Modbus RTU, connexion FieldBusPlug² aux réseaux de terrain Profibus et DeviceNet, à Bluetooth pour la configuration locale, contacts programmables de pré-alarme et d'alarme, fonction de contrôle de charge.

■ *Une IHM et des diagnostics poussés* : afficheur graphique, indicateurs de déclenchement, contrôle continu de l'intégrité du câblage, appareil de test portatif, enregistrement des 20 données de déclenchement et 80 événements les plus récents, consignation d'états (enregistrement de toutes les mesures à une fréquence maxi d'échantillonnage de 4 800 Hz durant 27 secondes, sur déclenchement configurable).

Ces points forts font du SACE Emax DC d'ABB la référence inégalée des disjoncteurs à coupure dans l'air pour applications en courant continu.

Note

^{*)} Technologie ABB permettant de raccorder un même équipement à différents réseaux de terrain par un seul connecteur de bus.

Le logiciel fut créé avec la méthode UML et écrit en C. Résolument modulaire, il répond aux meilleures pratiques et procédures de qualité inhérentes au développement logiciel.

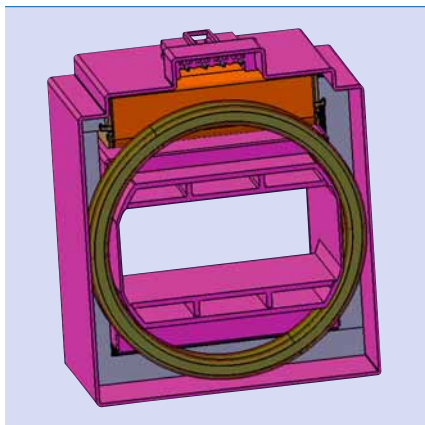
Le SACE Emax DC d'ABB est le seul disjoncteur CC du marché offrant une panoplie de fonctions et caractéristiques inédites.

Bobine de déclenchement

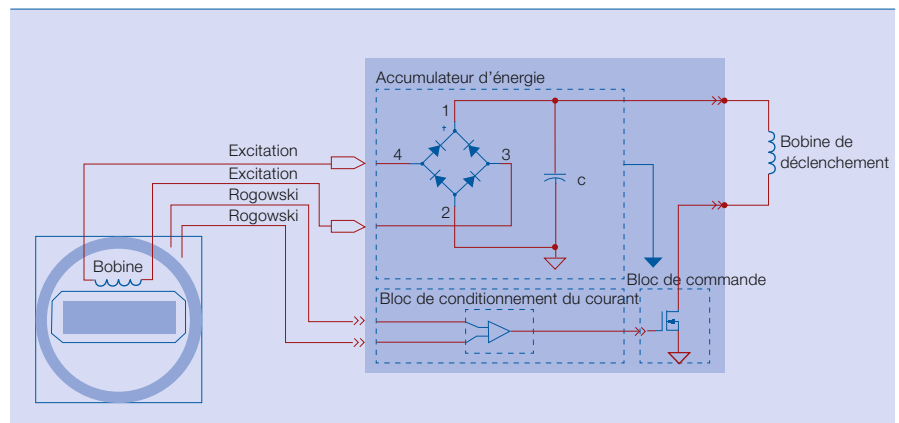
Le disjoncteur est ouvert par un actionneur électromagnétique commandé par le déclencheur électronique et la protection prioritaire de l'auto-alimentation, sur deux canaux parallèles indépendants.

La conception d'un disjoncteur se heurte traditionnellement à la contradiction suivante : d'un côté, réaliser un actionneur de faible encombrement, économique et performant, de l'autre, lui éviter tout déclenchement intempestif en le blindant des champs électromagnétiques très élevés qu'engen-

8 Intérieur du capteur de courant



9 Module de protection de l'auto-alimentation



dre le passage des courants de court-circuit dans le jeu de barres. On doit le bon dimensionnement de cet actionneur à une analyse des champs magnétiques par la méthode des éléments finis [7].

Capteurs de courant de déclenchement prioritaire

Ils ont pour mission de fournir un signal de sortie en présence de court-circuit transitoire. Ce phénomène survient lorsqu'un disjoncteur préalablement fermé sur une ligne court-circuitée est actionné par un disjoncteur amont.

Un capteur [8] se compose d'un transformateur de courant alimentant l'électronique et la bobine de déclenchement, et d'une bobine de Rogowski fournissant le signal à mesurer. Les capteurs peuvent garantir le niveau de précision requis sur toute la plage de courants ainsi que l'isolement adéquat entre les barres primaires et le circuit secondaire.

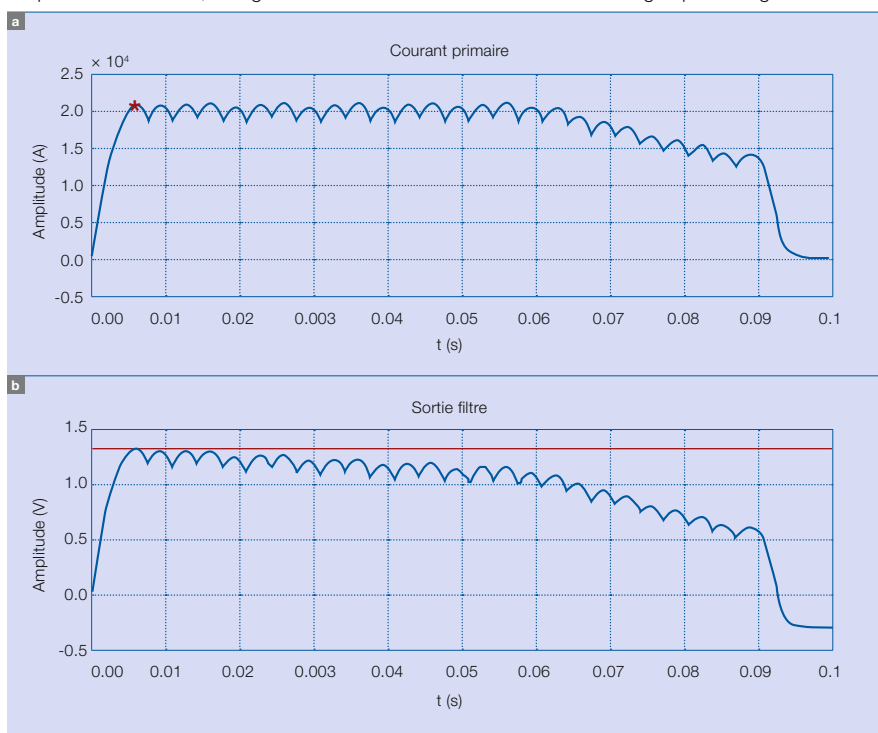
Module de protection prioritaire de l'auto-alimentation

Ce module électronique analogique est conçu pour garantir une protection instantanée, quelles que soient les conditions d'alimentation, même en l'absence de source externe ou de tension de barres. Il entre en action à chaque fois que le déclencheur électronique est hors service.

La solution SAVE Emax DC évite aux clients d'avoir à combiner différents composants.

Il est alimenté par un transformateur de courant excité par un gradient de courant CC durant un court-circuit. Ce courant est mesuré par une bobine de Rogowski [9]. On obtient une sortie proportionnelle à la dérivée du courant. Le bloc de conditionnement reçoit le signal de la bobine et le traite au moyen d'un filtre analogique («intégrateur») pour reconstituer le signal primaire. La sortie est alors comparée à un seuil réglé par microswitches; en cas de dépassement, une commande d'ouverture est envoyée à la bobine de déclenchement.

10 Simulation à l'aide d'un courant primaire avec une constante de temps de 2 ms venant d'un pont redresseur **a**, enregistrement en cours de test et sortie de filtrage après intégration **b**



Une simulation utilisant un courant primaire est reproduite en **10a**. Cet exemple, enregistré durant un test, présente une constante de temps de 2 ms venant d'un pont redresseur. Le graphique **10b** illustre la sortie filtrée correspondante, après intégration.

Ce large éventail de fonctions de protection, de mesure et de dialogue opérateur améliore la conduite des systèmes électriques.

Succès confirmé

Toutes les difficultés de ce projet ont été brillamment résolues pour déboucher sur un produit novateur et compact, répondant aux exigences de protection et de contrôle-commande des systèmes à courant continu.

Nos clients n'ont plus à associer différents composants et peuvent désormais compter sur un produit pleinement intégré, validé et certifié par son fabricant.

Autres avantages : l'installation globale est plus compacte et libérée des capteurs et relais externes ; les contraintes de développement sont minimisées.

Notre offre fournie de fonctions de protection, de mesure et de dialogue confère à nos clients les moyens de mieux piloter et protéger leurs systèmes électriques.

Giovanni Frassinetti
ABB SACE S.P.A.
Bergame (Italie)
giovanni.frassinetti@it.abb.com

Célérité et qualité bien ordonnées

Nouvel axe de développement ABB des systèmes d'automatisation de postes électriques normalisés CEI 61850

Christian Frei, Hubert Kirmann, Tatjana Kostic, Tetsuji Maeda, Michael Obrist

La publication de la norme internationale CEI 61850, en 2005, a créé l'événement dans l'univers de la protection et de l'automatisation des postes électriques. Par l'adoption de technologies avancées de l'information et de la communication, ce domaine jusqu'ici limité à la transmission de bits et d'octets sur câbles,

s'est vu offrir une multitude d'améliorations pour gommer la complexité de développement d'un système d'automatisation de poste ou «SAS» (*Substation Automation System*).

ABB franchit un nouveau cap avec un puissant outil couvrant tous les stades de l'automatisation de postes,

de la spécification aux essais du SAS. Cette innovation majeure lui permet d'accélérer la livraison de systèmes entièrement testés et validés, et de faciliter sans encombre leur maintenance ou leur rénovation sur le site client.



Les postes électriques sont les pièces maîtresses d'un réseau de transport et de distribution ; ils ont en effet pour mission d'acheminer l'énergie électrique, du producteur au consommateur, au niveau de tension approprié : haute tension pour le transport, moyenne tension pour la distribution. C'est précisément le rôle des grands transformateurs élévateurs/abaisseurs, parfois aussi volumineux qu'une maison. En outre, le transit de puissance doit être couplé, entretenu ou interrompu à l'aide de disjoncteurs, placés aux endroits stratégiques de la ligne. Ces derniers sont capables, sous contrôle des organes de protection, de couper des courants de très forte intensité en quelques millisecondes pour parer à l'urgence ; concrètement, ils peuvent isoler les défauts survenant sur un équipement et la ligne afin d'éviter leur propagation en aval, dans tout le réseau. Les postes électriques abritent également des appareils de mesurage destinés à enregistrer les niveaux réels de tension et de courant des lignes, de même que la puissance véhiculée.

Ces matériels modernes sont équipés de capteurs et de circuits électroniques permettant d'acquérir une somme d'informations, ce qui leur vaut le qualificatif d'« intelligents ». L'appareillage hybride **1** en est un bon exemple : il aligne de puissants disjoncteurs, sectionneurs, relais de protection et instruments de mesure. Son électronique de commande ne se borne pas à lire les mesures des capteurs et à déclencher les actionneurs mais communique aussi ses données et les analyse en vue de fournir un « instantané » de l'état du poste.

Pour l'exploitant d'un réseau desservant les nombreuses régions d'un pays, les postes électriques constituent à la fois les points névralgiques du contrôle-commande du flux d'énergie et les garants de la stabilité, de la fiabilité, de la sécurité et de la qualité de l'ensemble.

Ces exigences fortes obligent les spécialistes de la conception, de la construction et du test des postes à redoubler

d'efficacité et de diligence. En plus de veiller au bon fonctionnement de tous les constituants de l'installation, le SAS, chargé de la réponse en temps réel de l'équipement, doit être capable de remédier à toutes les éventualités découlant de la complexité du réseau électrique.

Les matériels modernes sont équipés de capteurs et de circuits électroniques permettant d'acquérir une somme d'informations.

Débrider les communications

De tout temps, la première mission des spécialistes du domaine fut de mettre au point des composants fiables (transformateurs, disjoncteurs...) et de les raccorder facilement pour répondre aux impératifs opérationnels du poste. Les signaux de commande des postes devaient se contenter de transiter sur une filerie classique à faible bande passante et les concepteurs des systèmes de conduite s'ingénier à transmettre le moins d'octets possibles pour garantir la fiabilité des échanges. Les protocoles de communication étaient d'ailleurs conçus pour s'accommoder de ces sérieuses limitations... jusqu'à l'avènement de supports de transmission plus puissants et aujourd'hui banalisés, comme Ethernet et TCP/IP.

Certes, ce tandem Ethernet TCP/IP

ouvrit des perspectives à la conduite des postes électriques ; toutefois, le progrès fut mitigé dans la mesure où il ne portait que sur les rudiments de la transmission des systèmes électriques, à savoir la liaison série classique ! Les ingénieurs durent se résigner aux sempiternels protocoles bridant la quantité d'octets acheminés, sans pouvoir tirer profit du gigantesque potentiel des nouvelles technologies de l'information.

Lorsqu'il devint évident que le progrès dans ce domaine devait émaner d'applications douées de polyvalence, le Comité technique TC57 de la CEI conçut en 2003 un nouveau protocole pour l'automatisation des postes électriques, qui déboucha, en 2005, sur la CEI 61850 [1]. Très vite plébiscitée par les clients, cette norme ne tarda pas à s'imposer comme le référentiel mondial, applicable à la quasi-totalité des nouveaux postes.

Son apport essentiel résulte de l'application des technologies de l'information et de la communication, la CEI 61850 donnant aussi le coup d'envoi de leur mise en œuvre dans d'autres secteurs de l'automatisation industrielle [2]. Fondamentalement, les objets physiques d'un poste électrique peuvent être décrits par un ensemble d'« aspects » tels que leur emplacement dans le poste, leur fonction, leur état et leurs exigences de contrôle-commande.

La désignation normalisée de tous ces composants ou « nœuds logiques » et de leurs divers aspects donne une installation neutre, indépendante du constructeur. La norme décrit également la manière dont ces nœuds communiquent entre eux et avec les hiérarchies supérieures, au sein du poste (interconnectivité interne) ou avec n'importe quel système de contrôle-commande (interconnectivité externe).

L'intelligence en plus

Pour exploiter toutes les possibilités des puissants systèmes de communication, les constituants d'un poste doivent être capables de dia-

1 L'appareillage compact hybride PASS M0 170 kV d'ABB multiplie les fonctions.



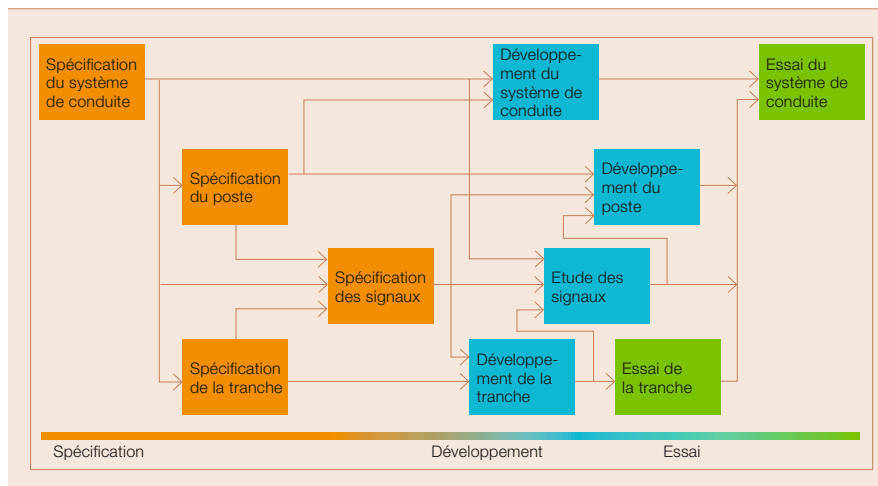
Procédés

loguer et de fournir une large palette de données. Ces aptitudes en font, dans le langage CEI 61850, des « dispositifs électroniques intelligents » (IED). Les IED abritent les nœuds logiques représentant une sous-fonction type du poste, laquelle peut, par exemple, donner une description abstraite d'un équipement physique, exposer les moyens de contrôle-commande associés ou définir une fonction de protection.

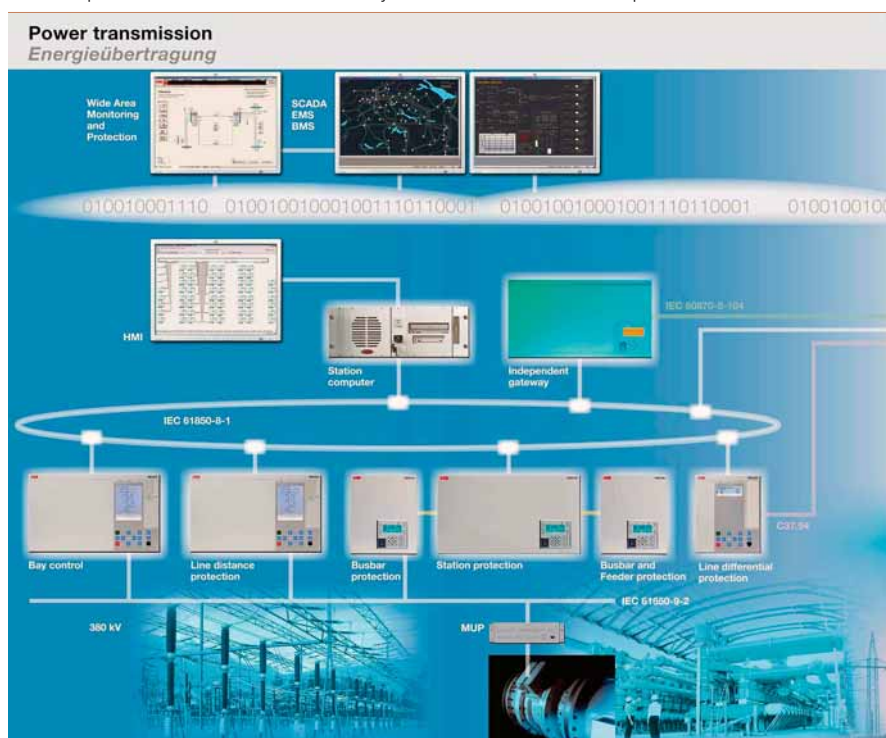
Prenons l'exemple d'un disjoncteur. La norme stipule un nœud logique spéci-

fique pour identifier le disjoncteur dans le réseau et contenir les informations sur sa position (ouvert/fermé), le nombre de manœuvres, le cumul des courants commutés, sa durée de fonctionnement résiduelle ou l'état de son mécanisme de commande... Selon la CEI 61850, la communication avec cet IED permet au SAS de reconnaître automatiquement l'appareil en question, dès son raccordement. C'est le principe du « prêt à fonctionner » inspiré du fameux *Plug and Play* informatique. L'installation d'un poste [3] en est grandement facilitée.

2 Phases de conception d'un système d'automatisation de poste



3 Principaux éléments constitutifs d'un système d'automatisation de poste



Maîtriser les flux de données et d'informations

Aux termes de la CEI 61850, c'est à l'ingénieur qu'il revient de gérer l'imposante masse de données décrivant et régissant le fonctionnement d'un poste électrique [2]. Cette tâche débute dès la phase de spécification d'un nouveau poste avec la définition de son modèle global et son adaptation aux besoins précis du client.

ABB a beaucoup progressé dans ce sens avec son environnement de développement complet pour l'automatisation de postes, de la spécification à la recette sur site.

L'étape suivante consiste à spécifier le détail des fonctionnalités et signaux utiles de la tranche¹⁾. S'ensuit la phase de développement destinée à réaliser tous les éléments constitutifs du SAS. Avant exploitation *in situ*, l'ensemble des composants est soumis à une batterie de tests menés aussi bien en usine que sur site.

De nouvelles perspectives pour le client

La CEI 61850 a été conçue pour habilitier les ingénieurs à réaliser toutes les fonctionnalités d'un poste électrique. Mais entre potentialité et réalité, il y a loin de la coupe aux lèvres : nombreux sont les obstacles techniques à lever en s'appuyant sur la créativité des experts des technologies de l'information. ABB a beaucoup progressé dans ce sens avec son environnement de développement complet pour l'automatisation de postes, de la spécification à la recette sur site. Cette ingénierie ne s'arrête pas à la conception mais englobe la rénovation ou l'extension des postes existants, ou encore la mise en conformité CEI 61850 des anciens constituants de l'installation.

Cette démarche stigmatise le processus d'innovation fondé sur des méthodes et outils empruntés au génie logiciel (test automatisé du code, contrôle de cohérence des architectures...) pour transposer ces concepts à l'automatisation de postes traditionnelle ; elle constitue un excellent exemple de

«fertilisation croisée» des technologies. Les paragraphes qui suivent démontrent les puissantes applications des outils de test de système basés sur la modélisation CEI 61850.

■ illustre les principaux éléments d'un SAS normalisé CEI 61850. Au niveau tranche, les IED échangent les mesures échantillonnées par les capteurs de tension et de courant, à l'aide de services de communication cyclique appropriés, tandis que les échanges événementiels entre tranches, généralement sur le bus de poste, sont définis par le service GOOSE²⁾. Le bus de poste établit le lien physique avec la supervision tout en étant le vecteur des flux verticaux entre équipements de poste et centre de téléconduite du réseau, sous protocole MMS (*Manufacturing Message Specification*)³⁾.

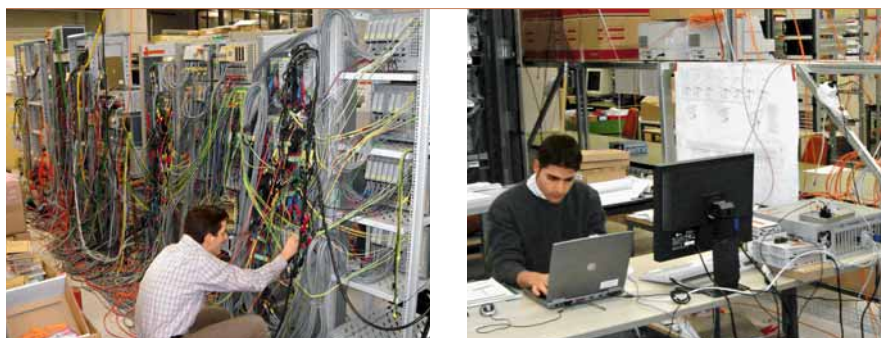
Partant des définitions de la CEI 61850, on peut produire un modèle virtuel du poste électrique par la mise en correspondance de toutes les caractéristiques des IED et de leurs liaisons de transmission.

Lors de la conception d'un poste, les ingénieurs mettent au point le SAS qui peut être chargé dans le nouvel outil de test afin d'élaborer, dès cette phase, le modèle virtuel du poste. L'outil de test peut aussi générer ce modèle lors de la connexion à un poste existant, à condition que la configuration du poste soit elle aussi conforme CEI 61850. Cette étape garantit la cohérence et l'exhaustivité du projet, et ne nécessite donc aucune autre analyse par le SAS.

Voilà démontrée la polyvalence de cet outil de développement exceptionnel dont disposent aujourd'hui les ingénieurs ABB.

Ce dernier, une fois raccordé à l'outil de test, peut être contrôlé à l'identique : vérification des désignations, configuration des bilans et événements, simulation de tous les équipements du poste adressables par le SAS. Autre avantage décisif : ces tests ont lieu au bureau plutôt que sur le terrain !

■ Le nouvel environnement CEI 61850 simplifie beaucoup le test des systèmes d'automatisation de postes.



Les photos ■ montrent les progrès accomplis : la méthode traditionnelle (gauche) imposait la présence physique des équipements et leur câblage en fil à fil au SAS. Rien de tel avec le nouvel outil de simulation des IED (droite) qui accélère et optimise les tests effectués au bureau d'études.

L'autre méthode demeure possible. Si l'installation dispose d'IED physiques, mais pas de SAS, les IED peuvent être raccordés à l'outil de test qui se charge de simuler le SAS absent.

A l'évidence, les messages GOOSE peuvent aussi être testés pour vérifier leur compatibilité avec le nouveau programme. Le contrôle de la réponse d'IED physiques, éventuellement couplés à des IED simulés, à la logique d'interverrouillage, permet de détecter sans peine n'importe quel défaut du SAS. Plusieurs séries d'essai, balayant tous les cas possibles, peuvent alors être exécutées dans un court laps de temps.

Gains avérés

Voilà démontrée la polyvalence de cet outil de développement exceptionnel dont disposent aujourd'hui les ingénieurs ABB.

Ingénierie et test sont facilités, et le SAS est livré aux clients en un temps record. Prêts à fonctionner, les postes gagnent en fiabilité et en performance, et leur mise en service est considérablement écourtée grâce à des systèmes prétestés avec le plus grand soin. Les multiples stratégies d'essais offertes par cet environnement de développement virtuel compriment aussi les temps d'arrêt chez le client pour la maintenance ou la remise en état de postes. Le déploiement de ce

puissant outil de développement est la parfaite illustration d'une innovation féconde et prometteuse, tant pour ABB que pour ses clients.

Christian Frei

Hubert Kirmann

Tatjana Kostic

ABB Corporate Research

Baden-Dättwil (Suisse)

christian.frei@ch.abb.com

hubert.kirmann@ch.abb.com

tatjana.kostic@ch.abb.com

Tetsuji Maeda

Michael Obrist

Power Systems

ABB Suisse

Baden (Suisse)

tetsuji.maeda@ch.abb.com

michael.obrist@ch.abb.com

Notes

¹⁾ Espace d'un poste regroupant les appareils de surveillance, conduite et protection affectés à un départ de ligne électrique.

²⁾ Acronyme anglais de *Generic Object-Oriented Substation Event*

³⁾ Spécification de messagerie ISO/CEI 9506 empruntée au monde industriel et retenue par la CEI 61850 pour son adéquation aux flux d'informations des postes électriques.

Bibliographie

[1] CEI 61850, *Réseaux et systèmes de communication dans les postes*, 2003

[2] Kostic, T., Preiss, O., Frei, C. 2005, *Understanding and using the IEC 61850: a case for meta-modelling*, Elsevier Journal of Computer Standards and Interfaces, 27/6, p. 679-695

[3] Frei, Ch., Kostic, T. ABB et CEI 61850 : l'union fait la norme, Revue ABB 4/2006, p. 30-33

Votre usine sur écoute

La télémaintenance industrielle acquiert
une nouvelle dimension

Dominique Blanc, John Schroeder

Tout industriel exige, à juste titre, que ses lignes de production soient maintenues au summum de leurs performances. La panne d'un composant de machine ou d'un système induit immédiatement un manque à gagner. Or l'usure et le vieillissement des équipements techniques sont inévitables et le personnel de maintenance doit rester sur le qui-vive, prêt à intervenir. Pour autant, la quête permanente des gains de productivité imposée par la concurrence mondiale oblige à modifier les méthodes de travail.

Avec ses services de télémaintenance, ABB place les lignes de production sur écoute pour s'assurer qu'elles restent au meilleur de leur forme 24 h/24 et 7 j/7. Ces services s'appuient sur un certain nombre d'innovations technologiques pour créer un système unique de suivi des performances industrielles. 2007 marque une étape supplémentaire dans la détermination d'ABB à maintenir l'état de santé de l'outil industriel de ses clients.

Les temps ont changé, surtout au sein des usines où la défaillance d'un équipement obligeait l'opérateur à attendre l'intervention du service de maintenance. Pendant longtemps, plusieurs jours étaient nécessaires pour informer le fournisseur de la panne, qui dépêchait un technicien sur place pour identifier le problème, contactait un ingénieur de maintenance et commandait les pièces détachées ; il fallait ensuite attendre d'être livré et, enfin, réparer la machine sur site. Aujourd'hui, la télémaintenance permet de s'affranchir de la plupart de ces temps improductifs [1,2].

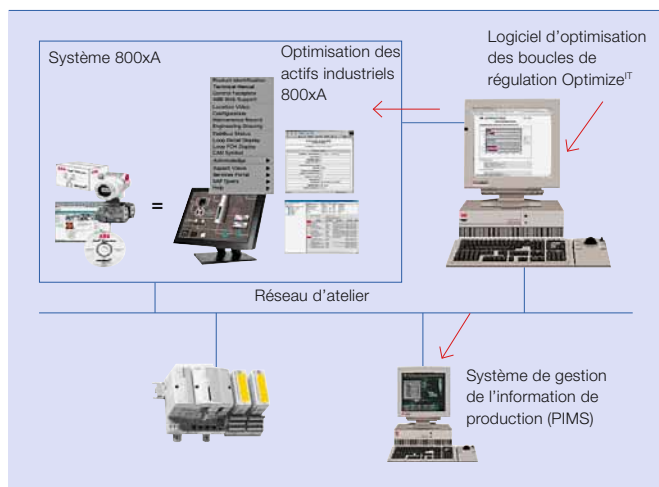
La télémaintenance s'appuie sur des outils et des technologies pointues, inexistantes il y a à peine 5 ans, pour renforcer l'efficacité des interventions sur des sites parfois très éloignés. Internet et les progrès dans les techniques de communication et de cryptage ont, sur ce plan, joué un rôle déterminant. Le développement de la télémaintenance résulte directement de l'évolution des besoins des clients qui veulent plus de services à moindres coûts. L'offre doit donc être conçue pour capitaliser au maximum les connaissances à un coût minimum. Le but est de renseigner à bon escient, au bon moment et au bon endroit pour optimiser les performances des actifs industriels du client. Vu la palette très large de produits différents, la tâche peut s'avérer complexe.

La télémaintenance au service de la performance industrielle

Quelle que soit l'organisation retenue, maintenance sur site ou à distance, les performances de l'outil industriel doivent faire l'objet d'un suivi régulier. L'approche traditionnelle veut que l'on surveille des paramètres opérationnels critiques (pression d'huile, usure des pièces ou autres) pour, au besoin, réparer ou planifier des interventions de maintenance préventive à intervalles fixes.

Aujourd'hui, les capteurs de dernière génération et l'intelligence embarquée dans les équipements permettent de suivre en continu les performances de ces derniers et d'analyser en temps réel les paramètres surveillés. La plupart des produits ABB intègre désormais des systèmes de surveillance de

1 Fonctionnalités de surveillance des performances du système 800xA d'ABB



ce type et la quasi-totalité des paramètres de performance de ces produits est mesurée en permanence.

Ainsi, dans les systèmes d'automatisation comme le 800xA d'ABB, l'unité centrale et la mémoire, les fonctionnalités d'alerte et d'alarme ou encore le trafic sur le réseau d'atelier **1** sont surveillés en permanence. Autre exemple : dans l'industrie papetière, les performances des équipements mécaniques, électriques et électroniques des systèmes de contrôle qualité sont vérifiées de même que la fiabilité des boucles de régulation [3,4]. Il en va de même des systèmes d'entraînement dont certains paramètres sont étroitement surveillés : tension, courant, vitesse de rotation, couple moteur et puissance à l'arbre, pour n'en citer que quelques-uns. Sans oublier l'analyse vibratoire, le contrôle d'alignement ou la mesure d'usure des roulements des machines tournantes comme les moteurs, les ventilateurs, les soufflantes, les pompes, les compresseurs et les réducteurs **2**. La connaissance de ces phénomènes perturbateurs est confrontée à des algorithmes avancés de prédiction de durée de vie [5].

L'instrumentation de mesure des pressions, températures ou débits doit elle aussi être surveillée. Dans ce cas, il s'agit, par exemple, de suivre en permanence la dérive des tolérances, les problèmes de communication, les temps de réponse et le frottement statique [6]. Les disjoncteurs deviennent, eux aussi, des puits d'information,

2 DriveMonitor ausculte le système d'entraînement. Les données traitées par le variateur peuvent servir à différents niveaux de diagnostic, depuis le convertisseur jusqu'à l'application.



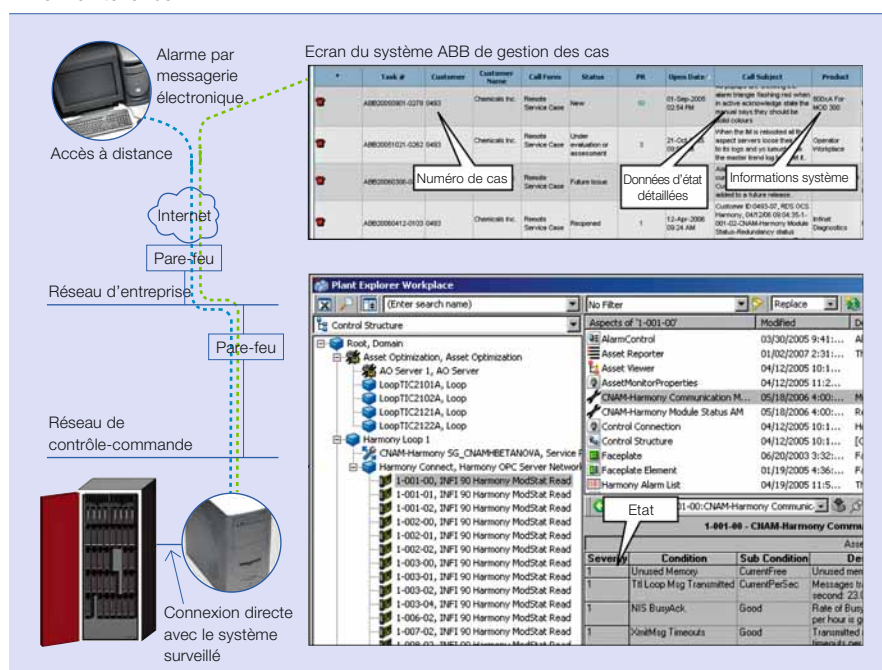
consignant un certain nombre de paramètres opérationnels indispensables à la maintenance et transmettant des données d'état à un centre distant [7].

La télémaintenance suppose la mise en alerte automatique à la lecture attentive des performances. Si, de prime abord, la tâche semble aisée à l'ère du téléphone mobile et de l'Internet haut débit, la réalité est plus complexe. En effet, la sécurité des données est menacée entre le moment où elles empruntent les réseaux externes à l'entreprise et arrivent au centre de télémaintenance d'ABB. Pour les pro-

téger, ABB a développé un système de transmission doté de trois pare-feu **3**.

Lorsque les signaux surveillés parviennent au centre de télémaintenance, ils sont automatiquement analysés et confrontés au savoir cumulant des centaines d'années d'expérience sur les performances des équipements en question. ABB a regroupé ce savoir dans des bases de données détaillées avec des algorithmes pour comparer le niveau réel de performance d'un équipement au niveau « normal » de toute une panoplie d'équipements ins-

3 Accès à distance aux équipements et systèmes sur site avec report des données pertinentes à la maintenance



Procédés

tallés. Ce système à base de connaissances a l'avantage de proposer également les meilleures stratégies possibles : maintenance préventive, maintenance immédiate ou réparation. Chaque nouveau cas vient enrichir la base et, si son contenu est insuffisant pour prendre une décision optimale, des experts du centre de télémaintenance prennent le relais pour analyser immédiatement la situation. Une fois celle-ci clarifiée et les conclusions tirées, quelques minutes suffisent pour émettre la demande d'intervention sur site, commander les éventuelles pièces détachées et établir le plan d'action avec l'aide du système expert.

Quand la parole vient aux robots

ABB compte un parc installé de plus de 150 000 robots qui s'appliquent à souder des pièces automobiles, assembler des pièces métalliques, ébavurer des pièces de fonderie ou trier des chocolats, à des cadences infernales [8].

Ces robots contribuent pour beaucoup à la productivité et à la disponibilité d'une ligne de production. Tout problème ou baisse de performance d'un robot a un impact négatif direct sur le

rendement de la ligne. L'industriel veut à tout prix éviter les retards et les problèmes de production.

En cas de dysfonctionnement, un ingénieur de maintenance consulte l'historique de l'armoire de commande du robot pour trouver l'origine du problème. Mais cela demande du temps, surtout s'il doit se rendre sur place pour établir un diagnostic.

La télémaintenance réduit considérablement le temps d'immobilisation des équipements et le budget de maintenance sur site du client.

ABB a développé un module de communication qui se connecte facilement aux armoires de commande des robots d'anciennes et de nouvelles générations. Ce module extrait les données de l'armoire de commande et les transmet directement à un centre de télémaintenance où elles sont automatiquement analysées. Il s'agit de l'illustration probante de la montée en puissance des technologies de communication de machine à machine (M2M) qu'ABB est le premier à appliquer à la robotique. En accédant à toutes les données d'état importantes, l'expert peut identifier à distance l'origine d'une défaillance et aider rapidement l'utilisateur à redémarrer son système. De nombreux problèmes peuvent ainsi être réglés sans intervention sur site. S'il faut se déplacer, la résolution du problème est rapide et réduite au strict minimum grâce au télédiagnostic effectué précédemment [4].

Cette analyse automatique sert non seulement à avertir de la défaillance du robot mais également à détecter les signes avant-coureurs d'une défaillance. Les performances du robot sont régulièrement analysées et l'équipe de maintenance est automatiquement informée de toute dérive. Pour le client, ces services novateurs de télémaintenance offrent des avantages évidents et ABB a obtenu des résultats remarquables sur le terrain.

ABB s'enorgueillit de mettre à la disposition de ses clients une équipe virtuelle d'experts pour une somme modique. A tout moment et n'importe où, un utilisateur peut vérifier l'état fonctionnel d'un robot et accéder à d'importantes données de maintenance sur le système robot en se connectant à la page web *MyRobot* d'ABB [5].

La télémaintenance raccourcit considérablement le temps d'immobilisation des équipements et allège le budget de maintenance sur site du client. Avec une connexion totalement sécurisée et fiabilisée, le client a accès, jour et nuit, aux meilleurs experts. Cette offre de télémaintenance, sous contrat, illustre à merveille la capacité d'innovation d'ABB dans la gestion des processus.

Dominique Blanc

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

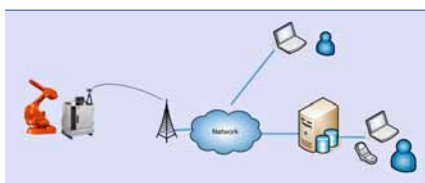
John Schroeder

ABB Automation Technologies
Westerville, OH (Etats-Unis)
john.schroeder@us.abb.com

- 4 Les données de l'armoire de commande du robot sont accessibles à partir du PC de l'ingénieur de télémaintenance par liaison directe.



- 5 Les clients peuvent suivre à la trace les données pertinentes de leurs robots sur leur page web *MyRobot* personnalisée.



Bibliographie

- [1] Cheever, G., Schroeder, J. (2007), *Remote services*, ABB Review Special Report Automation Systems, p. 13-16
- [2] Pinnekamp, F., *Service Automation*, Ed. Shimon Nof, Automation Handbook, Heidelberg : Springer (sortie prévue en 2008)
- [3] Horch, A., *Boucles de régulation : cadeau ou fléau ?*, Revue ABB, 4/2005, p. 25-29
- [4] Rode, M., Dombrowski, U., Budde, J., *Le dessous des boucles*, Revue ABB 3/2007, p. 76-79
- [5] Wnek, M., Orkisz, M., Nowak, J., Legnani, S., *Sous haute surveillance*, Revue ABB, 2/2006, p. 21-24
- [6] Keech, R., Hayes, B., Mizzi, T. (2006). *AquaMaster™*, Revue ABB 3/2006, p. 75-77
- [7] Reuber, C., Gritti, P., Tellarini, M., Heimbach, M., *Un modèle d'intégration*, Revue ABB, 1/2004, p. 17-21
- [8] Fixell, P., et al. *Question de doigté*, Revue ABB 4/2007, p. 22-25

Essais transformés sur site avec TrafoSiteRepair™

Améliorer la disponibilité des transformateurs de puissance

Lars Eklund, Pierre Lorin, Paul Koestinger, Peter Werle, Björn Holmgren



La fiabilité de la fourniture électrique étant capitale, le dysfonctionnement d'un seul équipement de la chaîne de production, transport et distribution coûte cher aux compagnies d'électricité, mais aussi à leurs clients industriels. L'énergéticien risque un manque à gagner et des pénalités pour interruption de fourniture, tandis qu'une panne de transformateur industriel, par exemple, peut se solder par de coûteux arrêts de production. Les solutions dédiées d'ABB aident les régies d'électricité et les industries électro-intensives à améliorer l'efficacité et la fiabilité de leur parc installé en minimisant le nombre de défaillances et, le cas échéant, en remettant leur équipement en ordre de marche dans les plus courts délais.

Mais ce n'est pas tout : la durée des pannes est encore réduite par les tout nouveaux procédés ABB permettant de réparer, de rénover ou de moderniser les transformateurs entièrement sur site. Fruit d'années d'expérience et de technologies de pointe, cette innovation baptisée *TrafoSiteRepair™* a déjà « transformé l'essai » sur quelque 200 appareils répartis dans 25 pays.

Imaginons qu'un transformateur tombe en panne dans une usine d'électrolyse de l'aluminium. Certes, la production n'en pâtit pas immédiatement puisque l'industriel a pris les devants en optant d'emblée pour un système redondant. Mais il sait que la perte d'un autre équipement essentiel induira de coûteux arrêts ou baisses de production ; il est donc urgent de réparer ou de remplacer ce transformateur.

En temps normal, la maintenance et la mise à niveau d'un transformateur de puissance peuvent s'effectuer sur site. Néanmoins, les interventions lourdes (réparation ou remplacement des enroulements, par exemple) obligent à rapatrier l'appareil dans l'usine qui seule dispose de l'espace et des outils requis. Or, si le transformateur est volumineux et l'atelier éloigné, le temps de transport, sans compter les surcoûts et risques de l'opération, augmentent d'autant la durée d'immobilisation, qui peut alors atteindre 12 à 24 mois. Pour pallier ces difficultés, ABB travaille depuis plusieurs années sur des procédés permettant aux ingénieurs d'effectuer ces grosses réparations sur site.

Le résultat est une subtile combinaison de tradition et d'innovation, qui ramène à moins de 7 mois le temps de réparation et de remise en service du transformateur. Pour autant, ABB

Procédés

compte bien améliorer encore la qualité de l'intervention sur site. Telle est l'ambition de sa solution TrafoSiteRepair™ qui mise sur des processus et procédures de réparation validés offrant une qualité et une conformité normative comparables à celles en vigueur dans l'atelier. A ce jour, quelque 200 appareils (transformateurs de puissance, industriels et CCHT, bobines d'inductances...) ont été réparés ou rénovés avec TrafoSiteRepair™, tout en bénéficiant souvent des ultimes progrès technologiques du domaine pour monter en gamme et en puissance.

TrafoSiteRepair™ sur le terrain

Toute usine de fabrication et de réparation d'appareillages haute tension a trois grands principes : ordre, propreté, atmosphère contrôlée. Elle aligne une cohorte d'engins de levage, de machines et outillages spéciaux, de laboratoires d'essais sous haute tension... et peut compter sur des équipes chevronnées, intervenant à chaque étape du procédé. Bref, tout un environnement qui doit être transposé à l'identique sur le site d'intervention pour mener à bien divers scénarios de réparation de transformateurs. Si le client n'a prévu aucun espace pour l'occasion, il faut donc monter un atelier provisoire, avec les mêmes types d'outils et d'équipements qu'en usine. A cela s'ajouteront éventuellement les engins lourds indispensables pour charger et décharger de la cuve la partie active des gros transformateurs pouvant peser jusqu'à 400 tonnes !

Désormais, c'est l'usine qui se déplace au chevet du transformateur et non l'inverse. Restent encore quelques obstacles à surmonter, à commencer par la nécessité de tester en toute fia-

bilité le transformateur, aux différents stades de sa réparation, de sa rénovation ou de sa mise à niveau. Au demeurant, ce sont les tests haute tension, ultime étape précédant l'installation et la mise en service sur site des transformateurs de puissance, qui sont les plus contraignants. Dans le passé, on utilisait des groupes moteur-générateur particulièrement lourds et difficilement transportables qui, par leur piètre adéquation aux fréquences d'essai des différents transformateurs, devaient être surdimensionnés par rapport à la puissance de test requise. C'est pour pallier ce manque de portabilité et de flexibilité qu'ABB a développé, en partenariat avec des professionnels du test électrique et des fournisseurs de convertisseurs électroniques de forte puissance, un système perfectionné de test mobile haute tension répondant à l'acronyme « MHVTS » (*Mobile High-Voltage Test System*).

Deuxième souci : le séchage. L'humidité est l'un des premiers agents de détérioration de l'isolant cellulosique (papier de guilage des enroulements, par exemple) des transformateurs de puissance, accélérant les mécanismes de vieillissement qui dégradent la fiabilité de l'appareil et sa durée de vie utile. Il est donc primordial de sécher l'isolant papier dès qu'il a été exposé à l'air ambiant. ABB a pour cela développé un système inédit de séchage sur site, par application d'un courant basse fréquence. Ce « chauffage basse fréquence » (*Low Frequency Heating*) se conjugue à la méthode classique de pulvérisation d'huile chaude pour réduire considérablement la durée du séchage et parvenir à une excellente teneur en eau résiduelle, inférieure à 1 %.

Voyons le détail de ces deux innovations.

Test mobile

La plate-forme ABB se prête aux plus grands transformateurs de puissance du marché. Logée dans un conteneur normalisé de 12 m, elle emprunte aussi bien les transports terrestres ^{1a-1c} et maritimes qu'aériens. Son principal composant est un puissant convertisseur de fréquence statique qui peut fournir la puissance de test nécessaire, dans la plage de fréquences 40–200 Hz. Les essais peuvent alors se dérouler à la fréquence la plus favorable pour minimiser la puissance de test requise, en conformité avec les normes internationales en vigueur. Ce système mobile réalise des essais par tension appliquée et induite, qui s'associent à des mesures de décharge partielle en vue d'évaluer l'intégrité de l'équipement. La mesure des pertes à vide et de l'impédance est également envisageable.

La configuration d'essai par tension induite est illustrée en 2. Ici, le convertisseur peut être réglé sur la fréquence d'autocompensation de l'installation de test, qui se situe normalement, pour un transformateur de puissance, entre 50 et 120 Hz. En effectuant le test à cette fréquence, la puissance nécessaire au circuit d'essai ne se limitera qu'aux pertes actives. Le transformateur d'adaptation est là pour s'ajuster à la plage de tension normale appliquée aux enroulements tertiaires des transformateurs de puissance.

Dans un test par tension appliquée, un circuit de résonance est formé par la capacité du transformateur sous test et l'inductance de résonance du circuit

1a Arrivée sur site du système MHVTS, dans un conteneur de 12 m



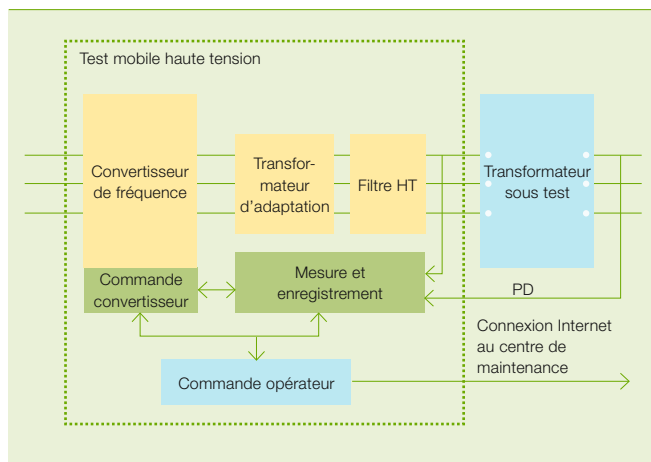
1b Poste d'essai d'un transformateur de centrale nucléaire



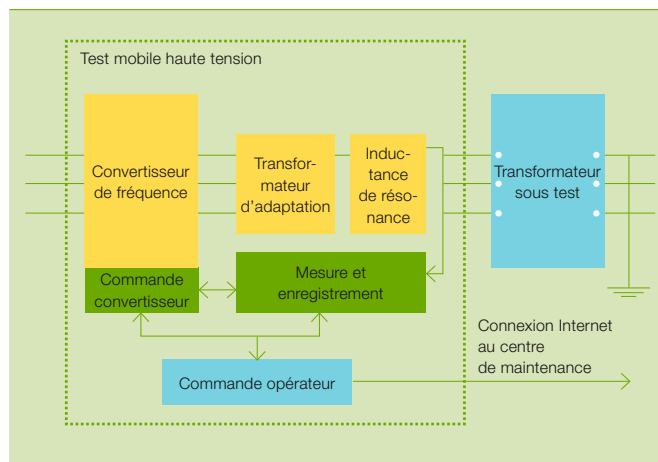
1c Salle de commande du MHVTS



2 Circuit d'essai par tension induite



3 Circuit d'essai par tension appliquée



d'essai 3. Ces deux composants définissent une certaine fréquence de résonance qui est automatiquement détectée par la commande du convertisseur de fréquence statique.

Séchage à domicile

L'isolation du transformateur doit impérativement rester sèche. A cette fin, les enroulements et isolants fabriqués dans l'une des usines de transformateurs d'ABB sont séchés en phase vapeur, puis imprégnés. Avant expédition et assemblage sur site, ils sont soigneusement conditionnés pour préserver le degré de siccité désiré. Pourtant, en cours de réparation, le papier isolant et les composants celluloseux, exposés à l'air au montage, doivent être convenablement séchés. Rappelons que la présence d'humidité, facteur d'accélération du vieillissement de l'isolation et source de court-circuit interne, compromet directement la fiabilité du transformateur.

Le séchage de la partie active d'un transformateur de puissance utilise d'ordinaire deux méthodes qui se combinent à merveille : chaleur et vide. Toutefois, le vide a l'inconvénient d'isoler l'intérieur de l'appareil (à l'image d'une bouteille isotherme), rendant le transfert de chaleur vers les enroulements quasiment impossible avec un chauffage externe. Pour y remédier, les procédés de séchage sur site classiques comportent un cycle de chaleur

suivi d'un cycle de vide. Il faut hélas patienter plusieurs semaines avant d'obtenir la bonne teneur en eau résiduelle. D'autres inconvénients viennent alourdir ces processus :

- Une température de séchage limitée puisque le milieu d'échange thermique est l'huile ;
- Une forte chute de température durant les cycles sous vide, due à l'énergie nécessaire pour évaporer l'humidité ;
- L'obligation de multiplier les cycles de chauffage exposant le papier isolant à la chaleur et à l'oxygène, qui mettent à mal l'isolation ;
- L'incapacité de la pulvérisation d'huile à atteindre l'intérieur des enroulements, du fait de la protection.

C'est pour lever ces obstacles qu'ABB a développé son nouveau système de séchage de transformateur sur site par chauffage basse fréquence : associé à la pulvérisation d'huile chaude (4 et 5), il chauffe uniformément les enrou-

lements BT et HT du transformateur, sous vide, à l'aide d'un courant basse fréquence avoisinant 1 Hz ; en fait, ce procédé chauffe les enroulements de l'intérieur, pendant que la pulvérisation d'huile chauffe les parties externes de l'isolation. Le point fort de la méthode est sa vitesse : elle est en effet 2 à 4 fois plus rapide que des techniques éprouvées comme la circulation ou pulvérisation d'huile chaude. Si le tandem huile chaude et vide ou la pulvérisation d'huile chaude ont encore toute leur place dans TrafoSiteRepair™ et ajoutent d'ailleurs à la qualité des réparations, le chauffage basse fréquence s'avère la solution la plus efficace quand le temps de réparation est compté.

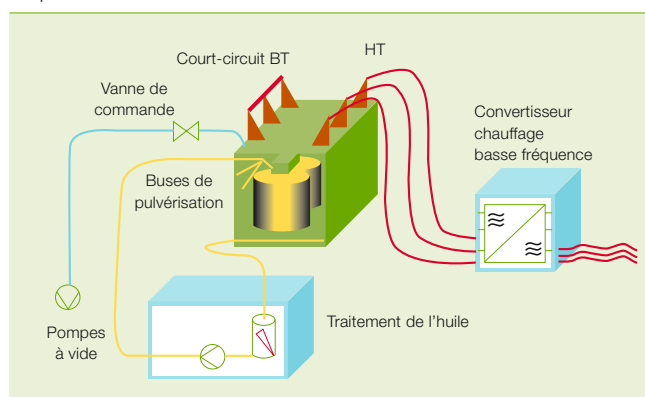
Réponse en fréquence diélectrique

Après séchage, il reste à déterminer la teneur en eau résiduelle de l'isolation cellulosique. Pour cela, on prélève habituellement des échantillons et des blocs de test sur le transformateur avec le titrage Karl Fischer.

ABB a mis au point une autre technique faisant appel à un nouveau procédé de diagnostic : l'essai de réponse en fréquence diélectrique.

En l'occurrence, il s'agit de comparer les mesures de facteur de puissance sur une large plage de fréquences (fournies par le test) à un modèle de transformateur bâti sur les propriétés diélectriques de la cellulose imprégnée d'huile, dans diverses conditions. Le détail du modèle est tiré des plans de

4 Unité mobile de séchage par chauffage basse fréquence et pulvérisation d'huile chaude



Procédés

fabrication de l'isolation du transformateur.

Les effets de l'humidité et de la contamination ionique sur les propriétés diélectriques de l'isolation étant plus marqués à basses fréquences, on privilégie des fréquences de mesure comprises entre 1 mHz et 1 kHz. Les propriétés diélectriques évaluées par cette méthode sont les capacités réelles et imaginaires (« permittivités ») et le facteur de dissipation.

6 est un exemple de mesure de fréquence diélectrique sur un transformateur présentant un taux d'humidité de 0,5 % et 3 %.

Ces mesures sont ensuite comparées au modèle reproduisant les matériaux isolants et la construction du transformateur sous test. Les caractéristiques constructives et les données d'essai ci-dessus constituent les entrées de cette procédure de modélisation. Un algorithme calcule ensuite la réponse du modèle de système composite : les valeurs de l'« humidité de la cellulose » et de la « conductivité de l'huile » sont alors optimisées pour faire coïncider au mieux courbe de calcul et données de mesure de la réponse en fréquence diélectrique.

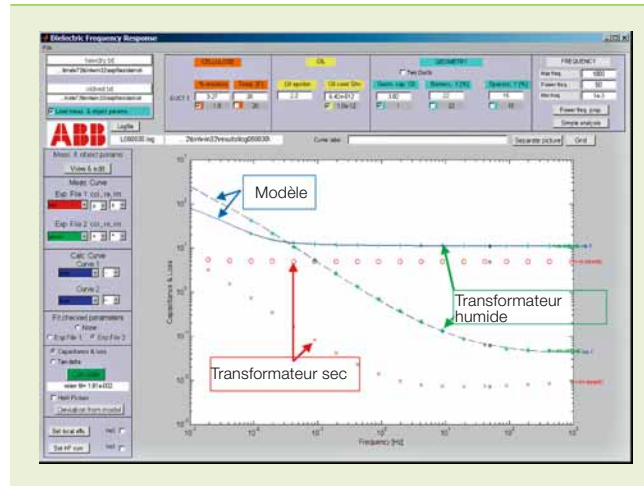
Cette méthode prime sur la méthode Karl Fischer à double titre :

- L'état de l'isolation peut être évalué sans ouvrir le transformateur ;

5 Séchage sur site d'un autotransformateur cuirassé de 750 MVA/500 kV par chauffage basse fréquence et pulvérisation d'huile chaude



6 Représentation graphique d'essais de réponse en fréquence diélectrique sur un transformateur présentant une humidité de 0,5 % et 3 % ; le modèle est appliqué au transformateur avec 3 % d'humidité.



- Les mesures effectuées à de multiples fréquences fournissent davantage d'informations pour discriminer les propriétés de l'isolant cellulosique et de l'huile.

Non destructive, elle procure en outre une évaluation globale du taux d'humidité dans tout l'isolant de façon plus précise que les tests de Karl Fischer menés sur des échantillons de papier. L'humidité ainsi évaluée est également plus représentative qu'une mesure du point de rosée, qui a le défaut d'être sensible à l'humidité superficielle au détriment de l'humidité de l'isolation globale. L'essai de réponse en fréquence diélectrique, comparé au test de facteur de puissance, peut mieux discerner taux d'humidité et degré de contamination, de même que teneur en eau résiduelle du papier et conductivité élevée de l'huile. Reste qu'il est difficile d'évaluer l'humidité dans un appareil, après réparation et avant remise en service, à l'aide d'un échantillon d'huile puisque la précision de la mesure est faible à basses températures. L'essai de réponse en fréquence diélectrique sert également à déceler d'autres défauts d'isolation du transformateur, tels qu'une mauvaise mise à la masse des enroulements ou le dépôt de calamine : cette méthode est aussi pour ABB un outil de contrôle qualité après réparation.

Bilan

La réparation, la rénovation ou la remise à niveau des transformateurs de puissance sur site, quel que soit le lieu d'implantation et d'intervention (postes électriques, centrales d'énergie, sites industriels électro-intensifs) sont depuis longtemps reconnues comme le meilleur moyen d'écourter les délais de remise en état des appareillages. Notre solution TrafoSiteRepair™ accélère plus que jamais les opérations en minimisant le temps d'arrêt du transformateur, l'indisponibilité de la fourniture électrique et, surtout, le manque à gagner de l'industriel. Elle

couronne avec succès la démarche de progrès qu'ABB mène dans un environnement créatif, entouré de passionnés de l'innovation.

Lars Eklund

ABB Power Products
Ludvika (Suède)
lars.i.eklung@se.abb.com

Pierre Lorin

ABB Power Products
Genève (Suisse)
pierre.lorin@ch.abb.com

Paul Koestinger

ABB Power Products
Baden (Suisse)
paul.koestinger@ch.abb.com

Peter Werle

ABB Power Products
Halle (Allemagne)
peter.werle@de.abb.com

Björn Holmgren

ABB Corporate Research
Västerås (Suède)
bjorn.holmgren@se.abb.com

Intégration sur ordonnance

La technologie analytique des procédés PAT franchit un nouveau cap avec une solution ABB
Chris Hobbs

Il faut à l'industrie pharmaceutique près de 12 ans et plus de 800 millions de dollars pour mettre sur le marché un nouveau médicament. Cette somme déjà astronomique devrait continuer de croître car les nouveaux produits aux indications thérapeutiques très ciblées coûtent de plus en plus cher à développer pour un retour sur investissement en baisse. Or cette inflation des coûts ne semble pas avoir d'incidence sur le nombre d'autorisations de mise sur le marché de nouvelles substances actives. Au contraire, ce nombre est en déclin. Cette envolée des coûts oblige les industriels à rechercher des moyens innovants pour rendre plus efficaces la création de nouveaux médicaments et la fabrication des produits existants. L'initiative PAT¹⁾ (*Process Analytical Technology*), lancée en 2002 par la *Food and Drug Administration* (FDA), fournit une excellente opportunité pour renforcer l'efficacité de leurs activités. Toutefois, si les analyseurs de procédé sont au cœur de tout système PAT, l'existence d'une offre pléthorique et l'absence de tout standard d'échange des données se sont traduits par la création « d'îlots de PAT ».

Jusqu'à une date récente, le marché ne proposait aucune solution d'intégration. ABB a étroitement collaboré ces dernières années avec des leaders du secteur pharmaceutique pour mettre au point une solution logicielle évolutive et dédiée. Lancée en 2007, celle-ci s'appuie sur la technologie Industrial^{IT} d'ABB pour répondre aux exigences clés des industriels du secteur avec une véritable plate-forme d'intégration PAT.



Procédés

La fabrication de médicaments fait appel à des procédés très complexes, avec de nombreuses variables interdépendantes qui affectent la qualité, le rendement productif et les coûts d'exploitation. Or la réussite et la survie des sociétés pharmaceutiques imposent plus que jamais d'améliorer les performances de l'outil de production, ce qui passe par une connaissance et une maîtrise de la variabilité des procédés. Pour ce faire, elles ont recours à des analyseurs de procédé qui deviennent ainsi des outils de contrôle et d'assurance qualité de la fabrication. Ces analyseurs sont utilisés avec succès dans les laboratoires et les unités de production pour mesurer les performances d'opérations individuelles comme le mélange et le séchage, et jouent un rôle croissant dans l'identification et la compréhension des variations qui interviennent entre le laboratoire et la fabrication en phase de montée en production. Leur importance est telle qu'ils sont au cœur de l'initiative PAT lancée en 2002 par la FDA.

Partant de cette initiative, les fournisseurs d'analyseurs et les intégrateurs tiers ont élaboré, ces 5 dernières années, des solutions autonomes sur PC pour des opérations individuelles et exporter des valeurs prévisionnelles (teneur en humidité et taille moyenne des particules, par ex.) vers des systèmes tiers de contrôle-commande distribué et de supervision (SCADA). En d'autres termes, le marché propose actuellement des analyseurs PAT pouvant être utilisés pour des opérations dis-

tinctes comme la surveillance réactionnelle, la fermentation, le mélange et le séchage. Or l'existence même d'une multitude de plates-formes d'analyseurs et l'absence de réel standard d'échange de données ont débouchés sur la création «d'îlots de PAT». Regrouper les données d'applications distinctes est d'autant plus compliqué que tous les analyseurs mettent en œuvre des interfaces utilisateur et des formats de données différents. Dans ce contexte, il devient nécessaire de développer de nouveaux outils logiciels pour exécuter des méthodes d'analyse PAT complexes en utilisant une interface standard.

Besoin d'intégration

Récemment, des sociétés pharmaceutiques ont envisagé d'utiliser les données fournies par les analyseurs pour contrôler en continu les procédés traditionnels de fabrication par lots. Une telle démarche impose de coordonner le fonctionnement d'un très grand nombre d'analyseurs qui fournissent des données très différentes sur une multitude d'opérations. Elle appelle une intégration poussée des technologies existantes de conduite des procédés et de traitement de l'information pour alimenter et maintenir des bases de données de production.

C'est dans cette optique que des fournisseurs de systèmes d'automatisation industrielle se sont associés à des fournisseurs d'analyseurs pour développer des solutions sur mesure. Or le très large éventail de types de données et les énormes quantités de données col-

lectées ont surchargé les environnements traditionnels de conduite et de gestion des données. En effet, les analyseurs génèrent des données à foison dans des formats différents (ex., spectres, graphiques à barres, chromatogrammes et images) qui nécessitent d'importants moyens de stockage, très supérieurs aux capacités des systèmes de conduite ou de supervision. L'acquisition de ces données doit être synchronisée avec des données issues d'autres systèmes (ex., contrôle-commande, supervision et LIMS) et structurées selon un modèle particulier (ex., norme ISA S88²⁾). Enfin, elles doivent être facilement accessibles aux systèmes tiers de gestion de production de même qu'aux autres systèmes de gestion du cycle de vie et de conformité réglementaire pour créer un environnement de «gestion de production collaborative», reliant toutes les étapes du procédé de fabrication au système de gestion de production. En résumé, une plate-forme d'intégration et une solution hautement flexible! Bienvenue dans le monde ABB!

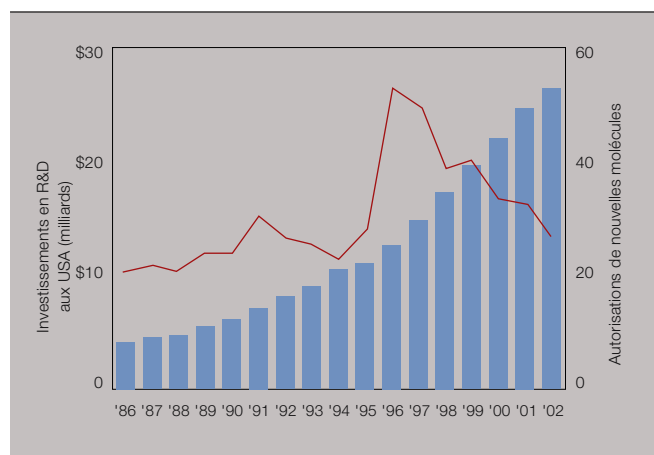
Notes

¹⁾ Système pour concevoir, analyser et contrôler la fabrication par des mesures appropriées (en cours de fabrication) des attributs critiques de qualité et de performance des matières premières, en-cours et processus dans le but d'assurer la qualité du produit final (www.fda.gov/Cder/OPS/PAT.HTM, octobre 2007).

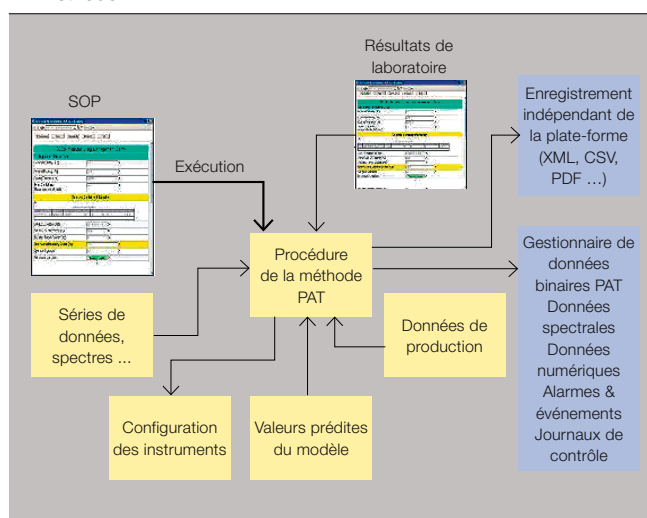
²⁾ Norme de contrôle de la production par lots. Philosophie de conception des logiciels, équipements et procédures

En dépit des investissements massifs en recherche, le nombre de nouveaux traitements autorisés chaque année a chuté.

(Source : Datamonitor, PhRMA)



1 Méthode PAT



L'industrie en a rêvé, ABB l'a fait

A la fois fournisseur de systèmes d'automatisation industrielle et d'analyseurs, ABB s'est appuyé, ces dernières années, sur son expérience sectorielle et sur son savoir-faire pour collaborer avec de grandes entreprises pharmaceutiques. Le point d'orgue de cette collaboration a été la mise sur le marché, en 2007, d'une solution logicielle PAT intégrée, évolutive et dédiée qui répond à de nombreux impératifs des industriels, notamment :

- Interface homme-machine (IHM) commune à tous les types d'analyseurs ;
- Exportateur de données qui permet d'extraire à la fois des données mono-points synchronisées et des séries de données issues de différents analyseurs par des équipements spécifiques ou de transférer directement des données à des logiciels de modélisation tiers ;
- Adaptateur universel pour simplifier l'interfaçage à des dispositifs analytiques nouveaux et existants ;
- Méthode unique de configuration PAT, y compris gestion des versions ;
- Base de données centralisée au modèle S88 qui regroupe toutes les données et tous les types de données : séries de données (ex., spectres ou histogrammes), données prévisionnelles, statistiques, alarmes, événements et journaux de contrôle ;
- Exploitation simultanée de plusieurs analyseurs/voies d'analyseur couvrant plusieurs opérations ;
- Capacité à arrêter et reconfigurer un analyseur en cours d'exécution d'une

procédure d'analyse PAT, les autres analyseurs restant opérationnels ;

- Utilisation de signatures électroniques ;
- Conformité aux principes directeurs ICH 8, 9 et 10 (projet).

Une réelle démarche d'intégration

Avec la solution ABB, l'utilisateur peut démarrer avec un appareil unique pour ensuite intégrer plusieurs analyseurs répartis dans plusieurs ateliers et sites de production. Elle peut fonctionner en mode autonome ou avec des plateformes de contrôle-commande/supervision existantes. De plus, elle s'intègre en toute transparence avec les fonctionnalités de sécurité et de pilotage distribué du système 800xA d'ABB. Pour résoudre le problème d'interfaçage des différents formats de données, ABB a créé des pilotes standards qui permettent de raccorder des dispositifs analytiques existants et nouveaux à la plate-forme de contrôle d'analyseurs FTSW800. Qui plus est, une boîte à outils permet aux intégrateurs tiers ou autres fournisseurs d'analyseurs de créer leur propre interface au standard ABB.

Développer des standards de données

Pour que la solution soit véritablement intégrée, l'échange de données entre les dispositifs analytiques et les plateformes tierces doit être totalement transparent, ce qui suppose de définir un standard commun. ABB est à l'origine d'un groupe de travail de la Fondation OPC³⁾ qui doit définir un standard d'interfaçage des analyseurs via OPC

UA (*Unified Architecture*). L'objectif est de permettre aux fournisseurs de développer des pilotes standards pour contrôler les flux de données des analyseurs de procédé et de laboratoire sur OPC UA. Ces pilotes autoriseront l'accès complet à toutes les données de bas et haut niveaux, et seront compatibles avec les environnements de fabrication réglementés. Les membres du groupe de travail OPC ont pour mission de se focaliser sur les exigences PAT pour l'industrie des sciences de la vie.

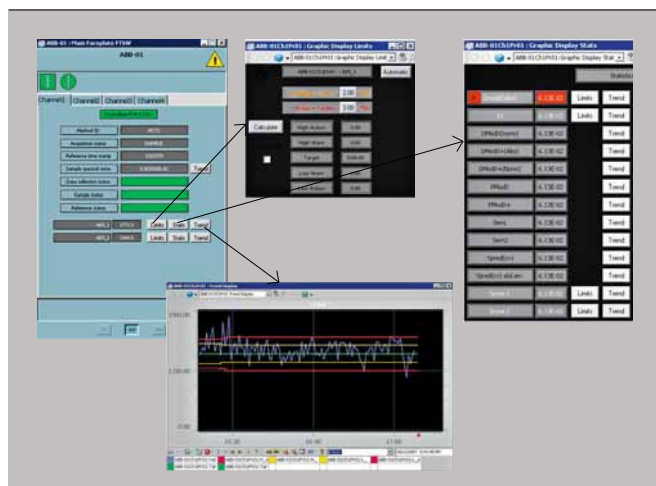
Gestion des données

Les données PAT pertinentes doivent être stockées selon une structure spécifique et conforme aux exigences réglementaires qui facilitent leur visualisation, leur exportation et leur validation. Par ailleurs, elles doivent inclure des informations sur l'étape du procédé où elles ont été collectées, de même que sur le port de l'équipement, l'analyseur et la voie d'analyseur utilisés. Tous les analyseurs ne fonctionnant pas en temps réel et l'échantillonnage pouvant se faire à différents intervalles, les données doivent être synchronisées pour une référence temporelle commune. Pour cela, ABB a ajouté à sa solution logicielle PAT un gestionnaire de données chargé d'organiser toutes les données selon le modèle S88 qui exige d'inclure des informations sur la localisation de la sonde analytique de même que sur le lot auquel les données ana-

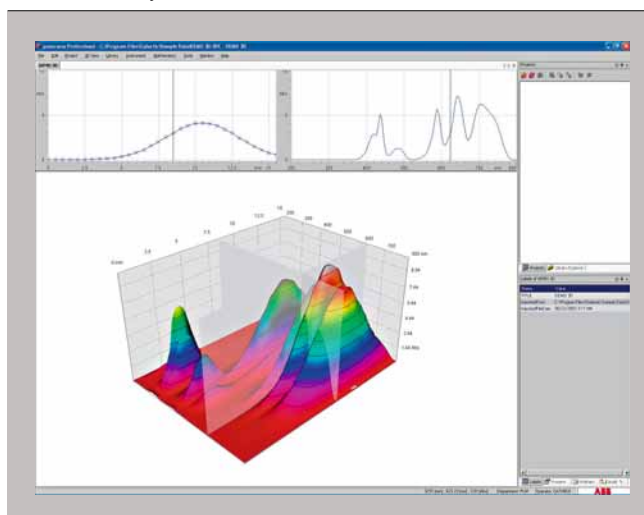
Note

³⁾ Protocole standard de communication industrielle

2 Les courbes de tendances préconfigurées facilitent l'accès aux modèles prédictifs et à leurs valeurs et statistiques associées.



3 L'outil d'analyse PAT fournit des vues 2D et 3D des données.



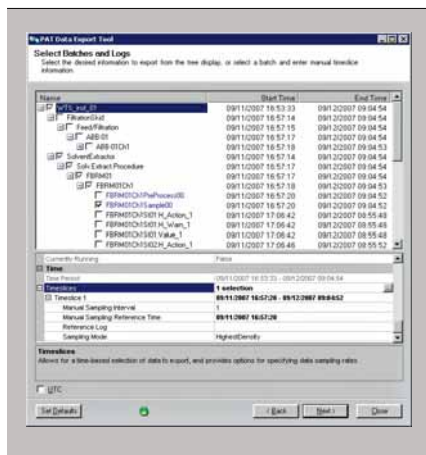
Procédés

lytiques appartiennent. Les données sont horodatées par un moteur d'archivage perfectionné capable de stocker différents formats, y compris des séries de données (spectres, chromatogrammes), des données monopoints (valeurs prédites et leurs statistiques associées) et des événements (alarmes, journaux de contrôle). Ainsi, les données de la Méthode PAT peuvent facilement être identifiées par lot, équipement, analyseur et voie. Enfin, l'ajout d'un moteur d'exportation dédié permet à l'utilisateur d'exporter des données, selon la même structure S88, dans des formats compatibles avec les logiciels de modélisation tiers.

Méthode PAT

Une Méthode PAT **1** est un jeu d'instructions qui détermine le fonctionnement, le développement et la validation des modèles d'analyseurs ; à leur tour, ces modèles surveillent, prédisent et contrôlent l'attribut critique de qualité. La Méthode PAT est un outil graphique **2** qui, d'une part, décrit la zone de production et l'analyseur qui fourniront les données et, d'autre part, détermine la structure d'archivage des données ainsi que la configuration d'analyseur requise. Elle est gérée par version et un ensemble standard de bibliothèques de types d'analyseurs permet une configuration rapide et efficace. La Méthode PAT peut fonctionner en mode autonome ou être déclenchée en externe par des plates-formes tierces comme les systèmes de contrôle-commande/surveillance existants ou les gestionnaires de traitement par lots.

4 Exemple type d'écran de sélection de données de l'outil PAT Data Export



Visualisation des données

L'exécution de la Méthode PAT peut être programmée ou déclenchée à distance par des balises OPC et son déroulement être suivi avec l'outil *Procedure Function Chart*. Les informations de l'analyseur sont ensuite envoyées dans des tableaux standards de bibliothèques et des affichages graphiques⁴⁾. Outre les valeurs brutes, d'autres éléments affichés incluent des métadonnées comme le nom de la Méthode PAT, la version, le nom de l'équipement, le nom du port et des diagnostics clés de l'analyseur. Des courbes de tendances préconfigurées facilitent l'accès aux modèles prédictifs et à leurs valeurs et statistiques associées **2**. Des seuils définis de pré-alarme et d'alarme sont surveillés pour signaler très tôt les dérives de qualité.

Analyse des données et création des modèles

ABB fournit son propre outil d'analyse des données PAT et les fonctionnalités d'exportation de données vers les outils tiers. Cet outil

- effectue une analyse statistique (*data mining*) des données de la Méthode PAT ;
- affiche les données analytiques ;
- fournit des vues 2D et 3D des données **3** ;
- inclut des fonctionnalités de modélisation de données monovariées et multivariées avec assistant ;
- gère les modèles MLR, PLS1, PLS2, PCA et PCR.

Exportation des données

Un certain nombre de logiciels de modélisation et d'analyse, qui accepte uniquement des données conformes à un format synchronisé commun, exige d'extraire et d'aligner manuellement les données, tâche fastidieuse et qui nécessite souvent un logiciel supplémentaire. L'outil *Data Export* d'ABB évite à l'utilisateur un tel labeur en exportant les données PAT issues de procédures Méthode PAT en cours d'exécution ou terminées dans des formats compatibles avec les logiciels existants (ex., ASCII séparés par tabulation ou virgule, ou GRAMS SPC). Cet outil flexible est conçu pour tourner en local dans le gestionnaire de données ou sur une plate-forme PC tierce distante, les données exportées pouvant être transmises à un ou plusieurs fichiers. Les écrans

de navigation (exemple **4**) permettent à l'utilisateur de sélectionner des données provenant de plusieurs analyseurs – en choisissant une opération unique, un équipement, une voie d'analyseur ou un point de données – pour un ou plusieurs lots de fabrication. Il est également possible d'extraire différents groupes de données en sélectionnant plusieurs tranches temporelles.

Exploiter le plein potentiel de l'initiative PAT

Le développement de nouvelles techniques et de nouveaux analyseurs confirme le bien-fondé de l'initiative PAT de la FDA, encore dans sa prime jeunesse. Pour autant, si l'on veut en tirer le plein potentiel, il faut comprendre le rôle qu'ils jouent dans les installations existantes (contrôle qualité, automatisation, validation, etc.), accroître et cibler les efforts de formation, et faire émerger les avantages de la mise œuvre de la technologie PAT dans les procédés. Sur ce plan, l'offre de services d'ABB inclut des prestations techniques, la validation, la conformité réglementaire et des prestations de conseil pour améliorer les performances des entreprises. En tout état de cause, une démarche globale standardisée reste indispensable. Les fournisseurs de systèmes doivent s'engager dans une démarche de standardisation, principalement dans des domaines clés comme le traitement des données. Par ailleurs, il faut abattre les barrières créées par une multitude de systèmes disparates. Avec sa solution d'intégration PAT, ABB s'est clairement engagé sur cette voie.

Chris Hobbs

ABB Ltd
IIT PAT MEC (Europe)
St Neots (Royaume-Uni)
Chris.hobbs@gb.abb.com

Note

⁴⁾ Ils peuvent varier selon le type d'analyseur mais pas selon l'analyseur ; le cache NIR (*Near InfraRed*) est identique pour un analyseur proche infrarouge d'ABB et de Bruker.

Bibliographie

Roy, J., *Process Analytical Technology*, ABB Review Special Report on Instrumentation and Analytics, 2006, p. 61–64

Performance au top, pollution en baisse

Maximiser le rendement des centrales d'énergie avec la régulation prédictive multivariable
Pekka Immonen, Ted Matsko, Marc Antoine

Les centrales au charbon ont accompli des progrès considérables, ces dernières décennies, en termes de rendement énergétique et de réduction des émissions polluantes. Chaudières, turbines à vapeur et cycles de production en ont été les premiers bénéficiaires.

Pour autant, ce n'est que récemment que la régulation avancée, solidement implantée dans d'autres secteurs industriels, a investi la filière. La commande prédictive multivariable par modèle (MPC) d'ABB y a démontré sa supériorité en matière d'écoperformance ; les centrales qui l'ont adoptée ont réduit leurs émissions d'oxydes d'azote (NO_x) de 8 à 40 %, tout en produisant à l'année des dizaines de GWh excédentaires, sans alourdir leur consommation de combustible.



Procédés

La commande prédictive multivariable basée sur un modèle interne du procédé est bien plus performante que la régulation classique monovariable **Encadré**. Destinée à l'origine aux raffineries de pétrole, cette technique plus que trentenaire est couramment mise en pratique dans les industries de transformation ; son déploiement dans la conduite et l'optimisation des centrales d'énergie est néanmoins récent.

Cette lente pénétration se justifie en partie par les impératifs de performance du secteur. La dynamique des équipements d'une centrale d'énergie est généralement beaucoup plus rapide qu'en pétrochimie et exige une capacité de calcul jusqu'ici insuffisante ou inabordable. A l'époque où l'énergie était bon marché et la pression environnementale moindre, l'avantage économique était moindre.

Grâce à la montée en puissance des outils informatiques, la commande MPC est aujourd'hui bien armée pour résoudre les problèmes de régulation des grandes centrales. Dans les centrales industrielles, plus petites, la technique est opérationnelle et remplit une double fonction : coordonner et optimiser de multiples chaudières, combustibles, turbines, collecteurs de vapeur, prélèvements et injections d'énergie dans le réseau. Les nombreux atouts de la solution (stabilisation du procédé, amélioration de la disponibilité, allègement de la facture énergétique...) lui ont ouvert la voie des grosses centrales d'énergie [1].

Le champ d'application traditionnel de la commande MPC dans ce secteur est l'optimisation de la combustion. Objectif visé : distribuer au mieux le combustible et l'air dans la chaudière afin de réduire ses émissions polluantes (principalement NO_x) tout en améliorant le rendement de combustion [2]. Plus récemment, la commande

de MPC a investi d'autres procédés, comme la gestion de la température principale et de réchauffage, et la coordination chaudière-turbine. L'offre OPTIMAX® d'ABB regroupe pour cela toute une palette de technologies comme le logiciel de prédiction et de conduite P&C (*Predict & Control*) qui figure parmi les solutions MPC les plus avancées pour les centrales d'énergie industrielles et électriques.

Doper les performances

Le premier objectif de la commande avancée est de minimiser la variabilité du procédé. Pour les centrales d'énergie, il s'agit d'améliorer la stabilité et la fiabilité du process, et d'alléger les contraintes de cycle thermique que subissent les équipements à haute pression.

La réduction de la variance permet de

produire au plus près des limites de la centrale. Dans bien des cas, cet optimum est fonction des contraintes. En minimisant les variations, on peut pousser le procédé aux limites, sans dépasser les contraintes **1**.

Une centrale d'énergie classique se caractérise par un grand nombre de contraintes intrinsèques, dont certaines sont énumérées en **2**. Une exploitation aux limites est triplement avantageuse : meilleur rendement thermique, productivité accrue, émissions réduites.

La régulation prédictive multivariable accélère également la montée en charge, tout en maintenant la production dans la plage de fonctionnement acceptable : une situation très bénéfique aux unités à fonctionnement cyclique ou en cas de reflux de la chaudière.

La régulation prédictive ABB

Les solutions MPC traditionnelles, souvent appliquées à la conduite avancée des procédés continus, souffrent de graves lacunes [3] :

- Le choix des modèles de commande est limité ; les modèles courants à réponse indicielle et impulsionnelle ne conviennent qu'aux procédés naturellement stables et se prêtent mal aux systèmes intégrateurs ;
- Les performances des régulateurs sont médiocres en présence de mesures fortement bruitées ou de perturbations non mesurées ;
- L'identification du modèle fait appel à des essais écheconnés, en boucle ouverte ; seuls les modèles monovariables sont identifiables.

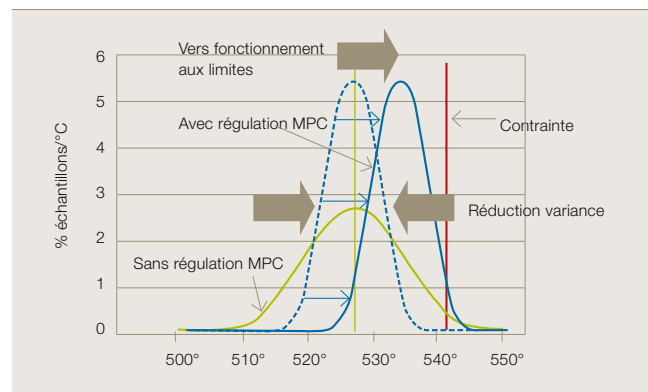
A défaut de trouver dans le commerce une solution logicielle exhaustive, ABB a travaillé sur un système complet basé sur la régulation prédictive par modèle. Cette innovation, baptisée *Optimize^{IT} Predict & Control* (P&C), comble les lacunes des solutions précédentes. Elle s'appuie sur une nouvelle technologie substituant au traditionnel jeu de modèles à réponse indicielle

Encadré Repères

La régulation prédictive multivariable, que l'on peut rattacher à la famille des commandes par modèle dynamique du procédé, se fonde sur la relation entre variables indépendantes (entrées du modèle) et dépendantes (sorties). Les variables manipulées *MV* et les variables anticipatrices (perturbations) *FF* en constituent les entrées, les variables régulées *CV*, les sorties. Le modèle prédit le comportement futur du procédé en exploitant 1) les valeurs passées des valeurs manipulées, 2) les valeurs calculées futures des variables manipulées et 3) les valeurs passées des variables anticipatrices.

Un algorithme MPC multivariable repose sur une connaissance poussée du comportement dynamique du procédé à piloter. Toutes les interactions entre les grandeurs du procédé sont prises en compte dans la résolution simultanée de nombreuses équations. Cette méthodologie se démarque des approches traditionnelles (PID, par exemple), où chaque régulateur a une entrée et une sortie. Au vu des multiples contraintes et interactions ardues caractérisant le contrôle-commande d'une centrale d'énergie, la régulation prédictive multivariable est bien adaptée à la conduite et à l'optimisation dynamiques des procédés continus du génie électrique.

- 1** Réduire la variance de la température de vapeur autorise un fonctionnement aux limites.



Procédés

mandes de base pour les températures principale et de réchauffage dans une plage de régulation favorable tout en minimisant le débit du réchauffeur.

Une fois défini le cadre fonctionnel du modèle, les outils de développement P&C peuvent servir à créer et à modifier la structure de la commande multi-

variable. Un navigateur convivial aide à définir les variables manipulées, régulées (ou contraintes) et anticipatrices. Leurs propriétés sont également définies avec l'outil de configuration.

La solution P&C intervient normalement au niveau de la supervision pour manipuler les consignes des multiples

boucles de régulation élémentaires implantées dans le système de contrôle-commande numérique (SNCC) : débit de combustible, débit de désurchauffe et consignes d'oxygène. Pour parfaire la régulation, ces boucles (capteurs, actionneurs et autres instruments de terrain) doivent être correctement réglées et en état de marche. La solution d'audit et de réglage «LPM» (*Loop Performance Monitoring*) fait partie de la même suite logicielle de conduite avancée des procédés que P&C ; elle améliore ces boucles élémentaires, avant mise en service de la commande prédictive par modèle.

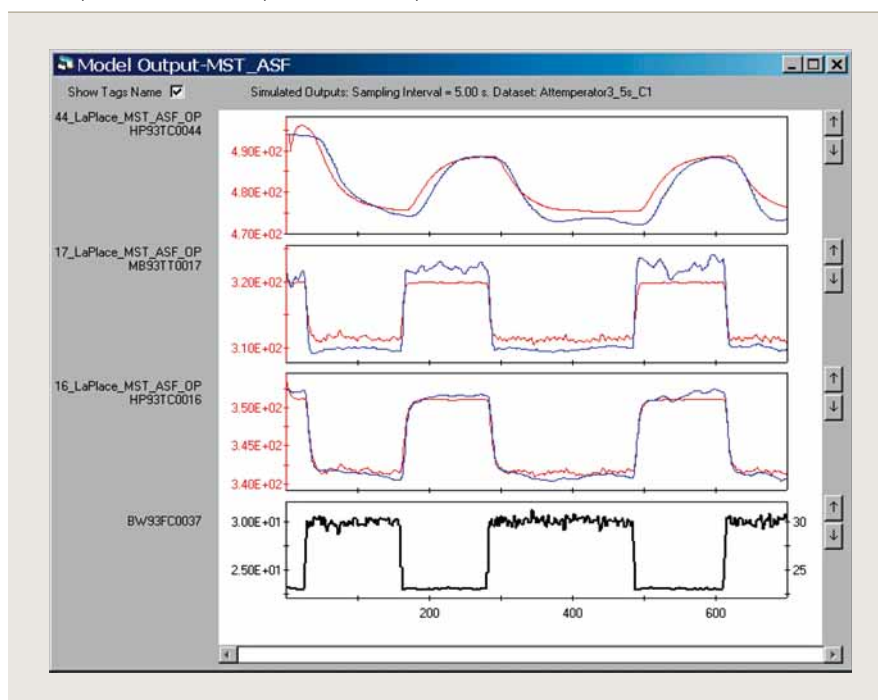
Par sa puissance de traitement, l'outil de développement est à même d'importer, de mettre en tendance et de filtrer les données process collectées, mais aussi d'identifier et de supprimer automatiquement les valeurs aberrantes. Au cœur des calculs de modélisation figure l'outil d'identification paramétrique servant à l'élaboration des modèles état-espace. Simple d'emploi, l'algorithme évolué est capable d'utiliser les données d'essais, à la fois en boucle ouverte et fermée, dans l'identification du modèle. Des écrans de tendance illustrent l'adéquation des modèles identifiés aux mesures réelles. Dans l'exemple 6 de régulation de la température de vapeur principale d'une chaudière, les températures réelles (en rouge) sont comparées aux valeurs prédites, à partir des mouvements de vaporisation du désurchauffeur (en bleu).

L'ultime étape de la conception MPC est l'adaptation du régulateur à l'installation. A l'aide de paramètres de pondération destinés aux différentes régulations, la commande prédictive est affinée pour produire la réponse dynamique désirée. Ce réglage inclut l'attribution de poids aux erreurs de régulation et dérive des différentes variables. A l'autorisation d'une petite erreur de commande ou d'une faible dérive correspond un poids élevé, et inversement. Les diverses contraintes sont également hiérarchisées suivant leur priorité. En cas de conflit, la contrainte prioritaire est satisfaite en premier. S'il existe des degrés de liberté adéquats et une bonne capacité de régulation, des contraintes supplémentaires sont résolues dans leur ordre hiérarchique.

5 Matrice d'optimisation de la combustion mettant en relation entrées et sorties du procédé

	Variable régulée ==>	NO _y	OPACITÉ FUMÉES	ÉQUILIBRE O ₂	DMD VAPO. RÉCH. A	DMD VAPO. RÉCH. B
Variable manipulée		ppm	%	% (O ₂)	%	%
BIAIS CONS. O ₂	Biais consigne O ₂	–	–			
BIAIS BTE VENT CHBRE	Biais consigne PD boîte à vent	–				
BIAIS AA E-O	Biais air auxiliaires est-ouest			–		
BIAIS AA A-H	Biais élévation air auxiliaires A-H	–	–			
BIAIS AA B-G	Biais élévation air auxiliaires B-G	–				
BIAIS BROU. H	Biais alimentation broyeur H	–				
BIAIS BROU. G	Biais alimentation broyeur G	–				
BIAIS BROU. B	Biais alimentation broyeur B	–				
BIAIS BROU. A	Biais alimentation broyeur A	–				
DMD INCLIN. E	Demande inclinaison brûleurs est	–	–		–	
DMD INCLIN. O	Demande inclinaison brûleurs ouest	–	–			–
DMD AIR SURCH	Demande air surchauffé	–	–			
BIAIS AIR SURCH. E-O	Biais air surchauffé est-ouest			–		
Variable anticipatrice						
MW ALTERNATEUR	Demande de charge unité	–				

6 Comparaison du modèle prédit et des températures mesurées dans une centrale



Toutes les boucles à la loupe

Les exploitants de centrales électriques doivent disposer d'une vue d'ensemble aussi rapide que complète de l'état de santé de leur unité et pouvoir accéder à tous les détails de la production. L'opérateur a deux moyens de surveiller et de consulter le système de conduite avancée sur P&C : rapatrier tous les paramètres opérationnels sur une console SNCC, facilitant ainsi la conduite de l'installation sur une seule fenêtre, par liaison OPC (*OLE for Process Control*); utiliser l'interface cliente *P&C Operator Interface*.

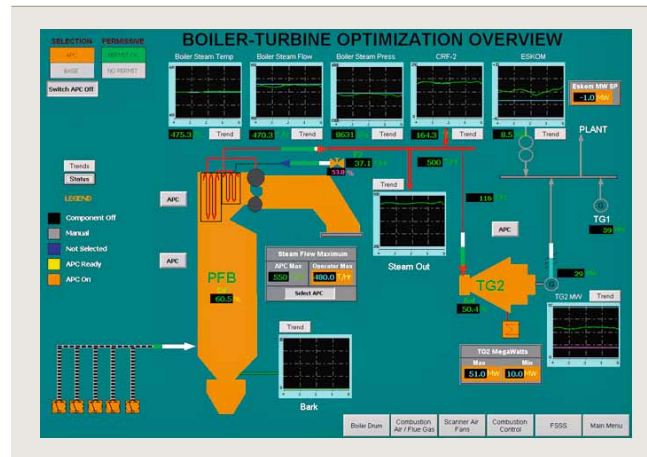
Un écran d'optimisation type est reproduit en 7; il permet de suivre l'état de la conduite avancée et de l'optimisation, et d'activer ou désactiver cette dernière pour un équipement donné.

Gisements d'économies

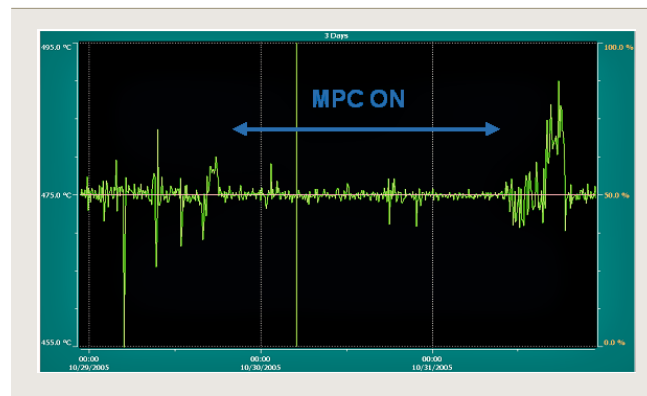
Les systèmes de commande prédictive par modèle améliorent considérablement les opérations d'un site :

- Baisse caractéristique des taux de NO_x : 8 % à charge de base, jusqu'à 40 % en régime oscillatoire;
- Amélioration du rendement thermique :
 - 0,25 % à 1,5 %, à charge de base
 - 1,5 % à 2,5 %, en régime oscillatoire
- Réduction du taux de carbone imbrûlé dans les cendres de 1 % à 5 %;
- Baisse des rejets de CO_2 par MWh produit;
- Maintien du CO aux niveaux souhaités;
- Accroissement de la disponibilité;
- Accélération de la montée en charge.

7 Fenêtre affichant toutes les caractéristiques et conditions d'optimisation d'une turbine de chaudière.



8 Hausse du rendement thermique par une meilleure régulation de la température de vapeur principale



Les gains de rendement peuvent être considérables en exploitant la chaudière à la plus haute température de vapeur principale. 8 illustre la baisse des variations de température dans une chaudière à charbon pulvérisé, grâce à la régulation prédictive multivariable, cette condition étant indispensable à la sécurité de fonctionnement à température maximale. En l'occurrence, ces améliorations ont abaissé l'écart-type de la température de vapeur principale de 80 % et augmenté la consigne de 10 °C. Ce résultat, a priori négligeable,

a induit une hausse du rendement thermique de 1,2 %, ce qui a permis de gagner environ 10 000 MWh supplémentaires par an, à quantité de combustible égale !

On peut aussi améliorer le rendement thermique en régulant les débits de vaporisation de réchauffage (variables de contrainte). La réduction des variations de débit par la commande MPC permet d'abaisser ces variables et de les exploiter au plus près des limites. En réduisant de moitié les débits de vaporisation, dans une autre application, les gains de rendement thermique correspondants ont atteint 0,36 % pour produire 25 000 MWh supplémentaires par an, sans consommer davantage de combustible. Dans le même temps, les émissions de NO_x chutaient de 10 %.

Ces exemples démontrent le poids significatif de la commande prédictive par modèle sur les performances techniques, énergétiques et environnementales du site. Cette régulation est un puissant

instrument répondant aux exigences économiques et écologiques de plus en plus fortes de la production d'énergie.

Pekka Immonen

ABB Utility Automation Systems
Wickliffe, Ohio (USA)
pekka.immonen@us.abb.com

Ted Matsko

ABB Process Automation
Wickliffe, Ohio (USA)
ted.matsko@us.abb.com

Marc Antoine

ABB Power Systems
Baden (Suisse)
marc.antoine@ch.abb.com

Note

²⁾ Dispositif adaptant la température du débit de vaporisation à la valeur requise.

Bibliographie

- [1] Immonen, P., Matsko, T., Antoine, M., 2007, September, *Increasing stability and efficiency of industrial power plants*, Paper presented at POWER-GEN Asia, Bangkok, Thailand
- [2] Antoine, M., *Optimiser ? Maximiser ? OPTIMAX™*! Revue ABB 3/2005, p. 36-41
- [3] Qin, S. J., Badgwell, T. A., 2003, A survey of industrial model predictive control technology, *Control Engineering Practice* (11)7, p. 733-764
- [4] Bonavita, N., Martini, R., Matsko, T., 2003, June, *Improvement in the performance of online control applications via enhanced modeling techniques*, Paper presented at ERTC Computing, Milan, Italy

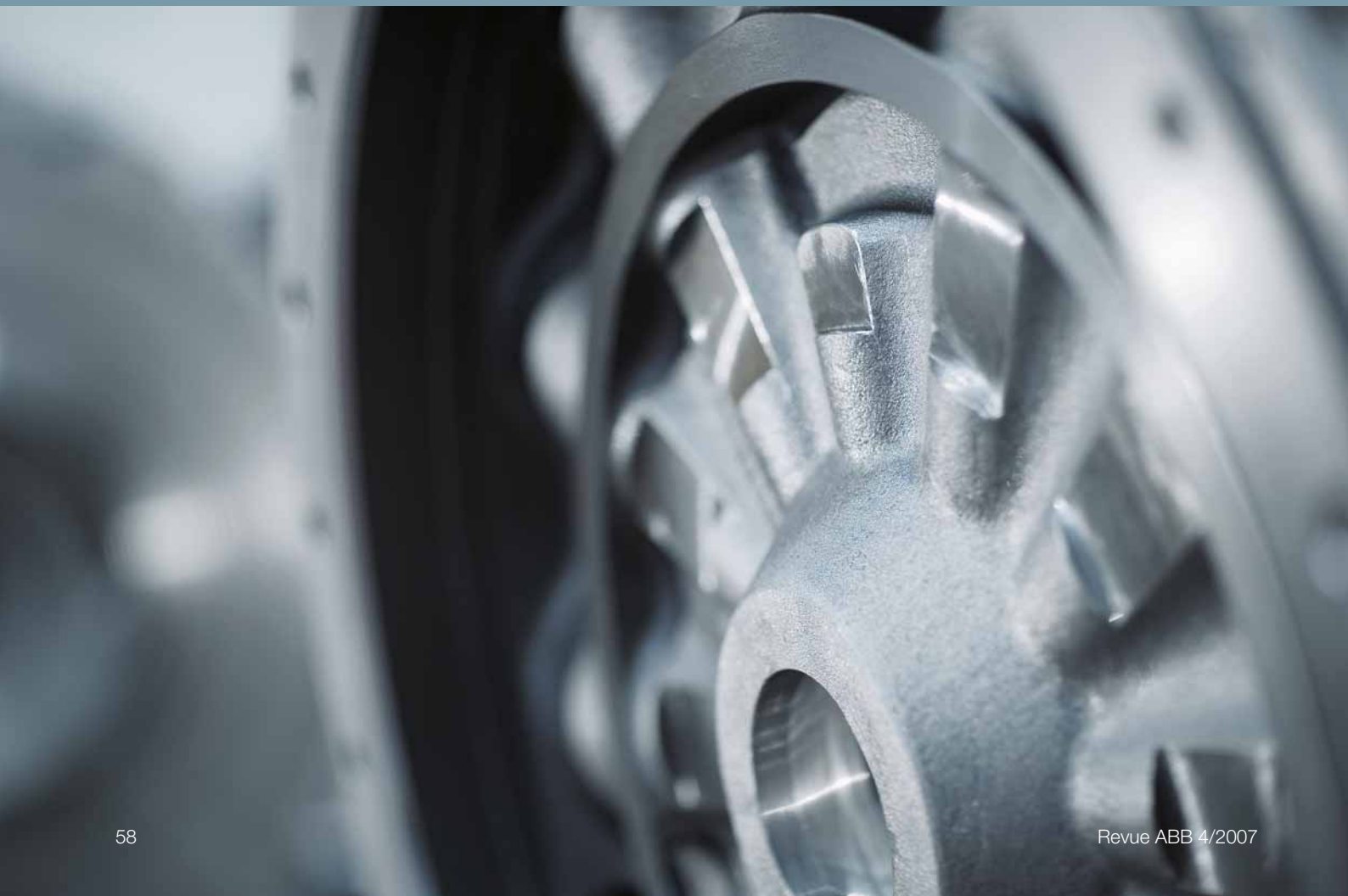
Le grand bleu se met au vert

La turbine de puissance ABB allie performance énergétique et respect de l'environnement
Markus Rupp

Les porte-conteneurs et autres gros navires qui sillonnent les océans utilisent de puissants moteurs Diesel équipés de turbocompresseurs pour doper leur rendement énergétique. Depuis des décennies, les turbocompresseurs ABB aident les armateurs à améliorer les performances économiques de leurs flottes.

Les gaz qui s'échappent de ces gros moteurs sont récupérés et convertis en énergie pour accroître encore plus le rendement énergétique des combustibles. De surcroît, l'utilisation des calories récupérées peut être optimisée pour chaque type de navire.

La nouvelle génération de turbines de puissance ABB s'appuie sur des méthodes innovantes pour doper le rendement énergétique des gros moteurs marins, aidant à réduire les émissions polluantes et les coûts d'exploitation des navires.



Une importante quantité de combustible – environ 25 % – est dissipée en pure perte dans les gaz d'échappement des moteurs. Les turbo-compresseurs à haut rendement pour moteurs marins deux temps récupèrent une partie des gaz qui peut être convertie par une turbine de puissance (reliée à un générateur) en énergie électrique afin de consommer moins de combustibles et, donc, de réduire les coûts d'exploitation.

Bien évidemment, les armateurs ont depuis longtemps pris pleinement conscience de l'intérêt économique de récupérer la chaleur de ces gaz d'échappement et ont très tôt installé de nombreux systèmes de récupération sur les navires de gros tonnage. Entre 1985 et 1994, ABB Turbo Systems a fourni plus de 130 turbines de puissance dont la plus grosse est capable de produire 1 200 kW. Bon nombre de ces premiers équipements sont encore « fidèles au poste » à bord de plusieurs navires, contribuant à réduire les coûts et fournissant un précieux retour d'expérience à ABB. Dans les années 90, les économies d'énergie n'étaient plus le souci majeur du secteur maritime. En effet, pour équiper les géants des mers qui sortaient des chantiers navals, les motoristes ont dû développer des moteurs Diesel toujours plus gros et plus puissants. La stabilité du prix du pé-

trole à un niveau relativement faible favorisa cette relégation au second plan des économies d'énergie.

Efficacité énergétique, le retour

Quelque temps plus tard, le pétrole repartant à la hausse et les préoccupations environnementales se faisant de plus en plus vives, les systèmes d'efficacité énergétique bénéficiaient d'un regain d'intérêt. En 2001, ABB se penche sur les potentiels inexploités des systèmes de récupération et engage une étude interne couvrant toutes les puissances de moteurs Diesel deux temps et son turbocompresseur à haut rendement lancé en 1999, le TPL...-B **1**.

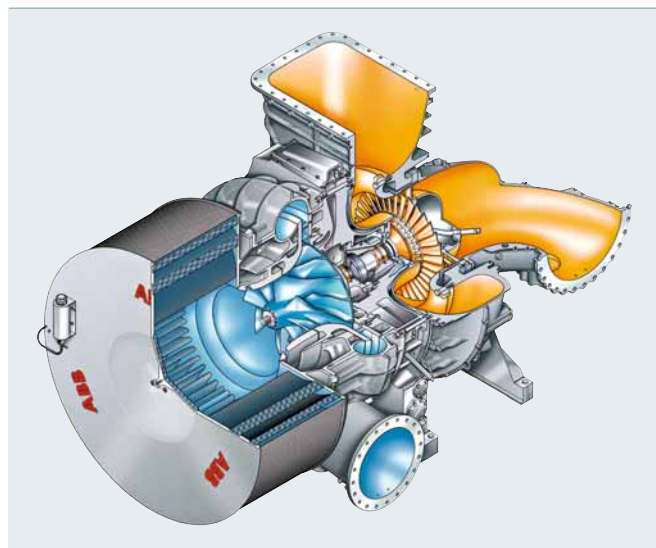
La gamme TPL avait été très bien accueillie par le marché; fin 2006, plus de 3 500 appareils avaient été livrés ou spécifiés pour plus de 2 100 moteurs Diesel deux temps, correspondant à une puissance totale supérieure à 67 millions bhp¹⁾.

Mais le rendement énergétique des navires n'était qu'une facette du problème! En effet, les projecteurs commençaient à se braquer sur les gaz polluants émis par leurs moteurs. Déjà soumis aux réglementations draconiennes de l'Organisation maritime internationale (OMI)²⁾, les navires devront, à l'avenir, réduire davantage leurs émissions pour respecter

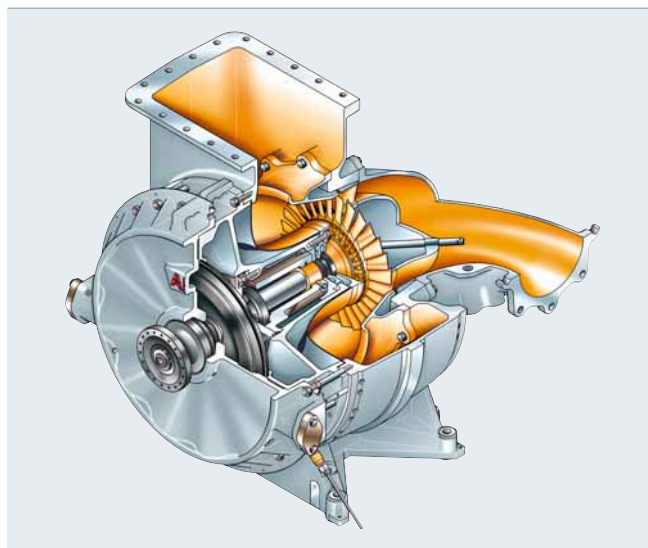
3 Les turbines de puissance PTL sont fabriquées dans une usine moderne d'ABB en Suisse.



1 Turbocompresseur TPL...-B d'ABB pour moteurs deux temps



2 Turbine de puissance PTL



Notes

¹⁾ Acronyme de l'unité de mesure anglosaxonne *Brake horsepower*: puissance au frein, équivalant à la puissance fournie directement au vilebrequin d'un moteur.

²⁾ Institution spécialisée des Nations Unies chargée d'élaborer des dispositions relatives à la sécurité maritime et à la protection du milieu marin.

une législation antipollution se durcissant.

Le succès commercial des turbocompresseurs TPL...-B et l'intérêt grandissant des exploitants pour des navires plus performants sur le plan à la fois écologique et économique justifient le développement d'une nouvelle turbine de puissance intégrant le *nec plus ultra* de la technologie des turbocompresseurs. En 2005, ABB lança sa

turbine nouvelle génération PTL3200, pour des puissances de 1 500 à 3 200 kW [2 et 3].

Des solutions sur mesure

Il existe essentiellement deux types de systèmes de récupération avec turbine de puissance pour améliorer le rendement énergétique d'un moteur marin principal. Dans le premier, la turbine est autonome : l'énergie est directement utilisée pour produire de l'électricité

via un générateur et un réducteur.

Dans la seconde configuration, la turbine s'insère dans un cycle vapeur. Les systèmes de récupération avec turbine de puissance ABB sont intégrés par la société d'ingénierie britannique Peter Brotherhood qui travaille en étroite collaboration avec ABB Turbo Systems.

Système de récupération avec turbine de puissance autonome

La configuration de ce système est illustrée en [4]. La turbine de puissance et le générateur, fonctionnant en tout automatique, alimentent directement en électricité le réseau de bord ou un éventuel moteur d'arbre. Outre un surplus d'énergie électrique pour le navire, cette configuration économise jusqu'à 4 % de combustibles et réduit les gaz polluants.

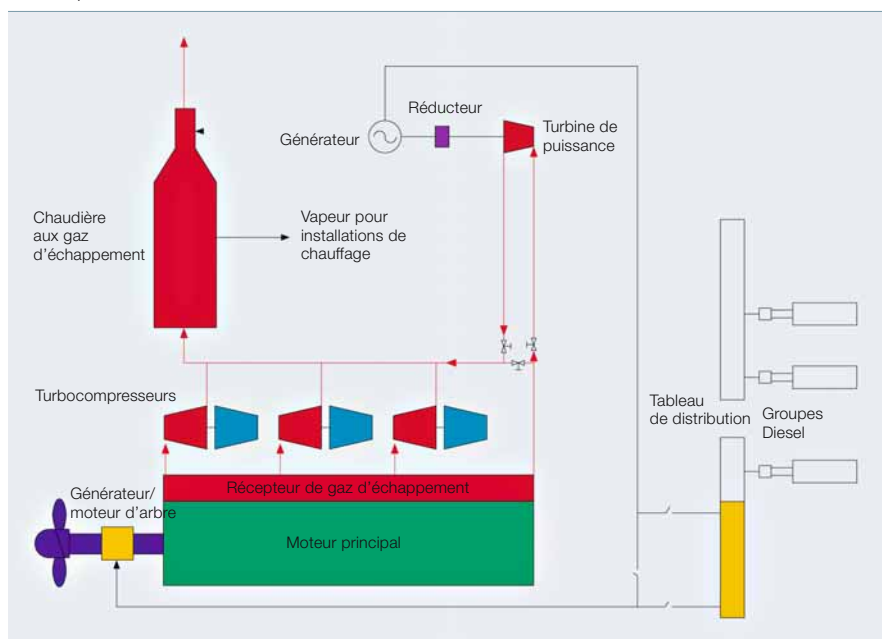
Système de récupération avec turbine de puissance et turbine à vapeur

La réduction de consommation et d'émissions peut dépasser les 10 % avec le système de récupération présenté en [5]. Dans cette configuration, le potentiel énergétique des gaz d'échappement est pleinement exploité : la chaudière aux gaz d'échappement, en aval des turbocompresseurs, produit une vapeur surchauffée alimentant une turbine à vapeur qui, à son tour, entraîne le générateur. Le premier système à récupération thermique, associant la turbine PTL3200 d'ABB à une turbine à vapeur, équipe le navire *M/S EMMA MÆRSK* récemment lancé par MÆRSK LINE [6]. D'une capacité officielle de 11 000 EVP³⁾, il s'agit, avec ses sept navires-jumeaux, des plus gros porte-conteneurs au monde. Doté de quatre turbocompresseurs TPL85-B ABB, le moteur 14RTFlex96C de l'imposant navire *Doosan Wärtsilä* développe une puissance de 80 000 kW et fixe de nouvelles références pour un transport maritime respectueux de l'environnement. Son système de récupération fournit une puissance supplémentaire maximale de 8 500 kW, soit une réduction de plus de 10 % des émissions polluantes et de la consommation de combustibles en régime maximal continu.

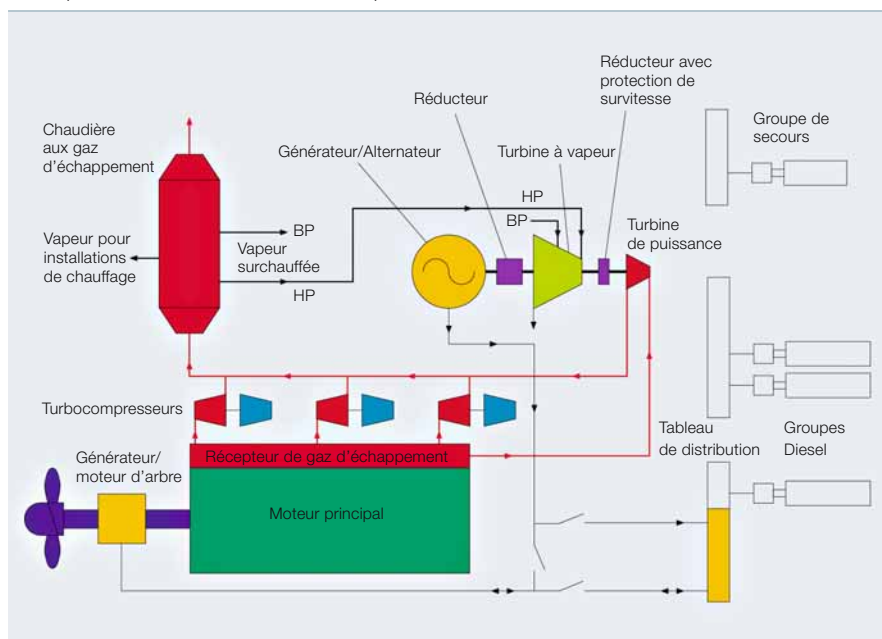
Optimiser la conception

Si l'intérêt tant économique qu'écologique de la récupération thermique

4 Récupération de chaleur avec une turbine autonome ABB



5 Récupération de chaleur avec une turbine de puissance ABB et une turbine à vapeur



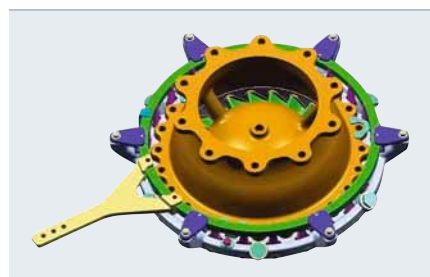
est indéniable, la construction navale se doit de tenir compte de l'impact des choix de conception, d'exploitation et d'autres critères sur la performance économique de chaque navire. La conception retenue varie selon le type de navire et les principales conditions d'exploitation.

Le rendement exigé du turbocompresseur par le navire pèse également sur la configuration du système de récupération. En effet, deux questions se posent ici : a) le turbocompresseur devrait-il uniquement assurer le rendement minimum d'un moteur pour un niveau de charge thermique acceptable des composants du moteur et un balayage⁴⁾ satisfaisant ? et b) des niveaux de rendement doivent-ils être ciblés ?

Citons, pour finir, les facteurs économiques comme le prix du combustible, les dépenses d'investissement et la taille de la centrale d'énergie qui a une incidence indirecte sur l'énergie électrique produite par le système de récupération. Le retour sur investissement est généralement plus rapide pour les systèmes associés aux gros moteurs Diesel.

L'association moteur principal/turbine de puissance peut être optimisée en remplaçant l'anneau du gicleur fixe standard par un aubage à géométrie variable. En effet, la turbine à géométrie variable améliore les performances du moteur principal, par exemple en réduisant l'ouverture du gicleur pour des bâtiments navigant en régions tropicales **7**. De même, la surface de turbine peut être augmentée aux basses températures ou aux faibles vitesses pour maximiser la puissance de la turbine.

7 La turbine à géométrie variable permet d'optimiser l'association moteur principal/turbine de puissance.



6 En avril 2007, le *M/S EMMA MÆRSK* est élu « Navire de l'année » par la revue Lloyd's List pour ses qualités environnementales.



Bilans économique et environnemental

ABB a calculé que la turbine de puissance en configuration autonome réduisait considérablement les émissions de CO₂. En combinant système de récupération, turbine de puissance et turbine à vapeur, cette réduction est multipliée par deux.

Pour un gros porte-conteneurs au profil de charge type, le surplus d'électricité produit permettrait d'économiser plus de 2 300 t de combustible (configuration autonome) et près de 5 000 t (cycle vapeur). Dans les deux cas, on suppose que l'électricité supplémentaire remplace l'énergie normalement fournie par les moteurs Diesel auxiliaires.

Des flottes « vertes »

La turbine PTL d'ABB satisfait à deux des priorités du secteur maritime moderne, à savoir des navires moins polluants et plus économes en combustible.

Si les gains réels sur la facture énergétique varient directement selon l'évolution du prix du pétrole, le durcissement de la réglementation anti-pollution reste un ressort majeur pour les investissements dans les technologies d'efficacité énergétique. En conjuguant baisse des coûts et respect de l'environnement, les armateurs gagnent sur les deux tableaux. Comme pour

d'autres industriels soumis à des contraintes anti-pollution de plus en plus fortes, l'intérêt des technologies propres pour le secteur maritime ne doit pas être négligé.

Parmi d'autres mesures, on trouve les incitations économiques comme les droits de port et taxes au tonnage différenciés, d'ores et déjà adoptés par plusieurs ports à travers le monde.

Sur un marché aussi concurrentiel que le transport maritime, des systèmes qui allient performance énergétique et respect de l'environnement sont une très bonne nouvelle !

Markus Rupp
ABB Turbo Systems Ltd.
Baden (Suisse)
markus.rupp@ch.abb.com

Notes

³⁾ Équivalent vingt pieds : unité de mesure de conteneur pour les navires et les ports qui équivaut environ à 38,5 m³

⁴⁾ Evacuation des gaz d'échappement par les cylindres d'un moteur à combustion interne

Bibliographie

Summers, M., *Il était une fois... le turbocompresseur* ABB, Revue ABB 2/2007, p. 85-90
Turbocharging in Switzerland (2005), Turbo magazine 2, p. 1-36

Une alimentation nickel pour produire l'aluminium !

ABB améliore l'interfaçage entre usines d'aluminium et centrales d'énergie « intégrées »

Max Wiestner, Georg Köppl

La production d'aluminium métallurgique par électrolyse est électro-intensive ; c'est pourquoi les usines s'établissent là où l'énergie est abondante, à un coût concurrentiel. Elles sont d'ailleurs appréciées des fournisseurs d'électricité dans la mesure où leur raccordement au réseau contribue à la stabilisation et à la dépollution de la charge. Pour autant, ces derniers ont bien du mal à satisfaire ces besoins accrus en énergie et ne peuvent plus alimenter les installations d'électrolyse à partir du réseau : combiner plusieurs sources devient alors un impératif. Aussi des centrales d'*autoproduction* ou *intégrées* sont-elles désormais construites à proximité des usines d'électrolyse. Mais qu'en est-il de la production d'aluminium dans des sites éloignés, mal alimentés ou carrément dépourvus de réseau électrique ? Trouver les moyens de concilier la chaîne de production avec la fourniture, la sécurité et la disponibilité de l'énergie relève du défi.

La solution de protection électrique BPC (*Blackout Protection Control*) d'ABB y répond.

Les puissances mises en jeu par les séries de cuves d'électrolyse (600 MW) ont de quoi inquiéter les distributeurs électriques ! Face à cette consommation record, bon nombre de sociétés productrices d'aluminium ont installé des centrales d'énergie intégrées. Toutefois, les nouveaux projets de complexes d'alumine (avec ou sans centrale intégrée) sont souvent implantés dans des sites raccordés à un réseau électrique fragile. Le couplage des installations d'électrolyse à la centrale est un ambitieux défi qui oblige à tenir compte d'une foule de facteurs tels que la consommation et ses fluctuations, la continuité et la qualité de l'alimentation, les incidences du démarrage et du déclenchement des séries d'électrolyse... Autres points épineux : le rendement de la centrale d'énergie en fonctionnement normal et les conséquences du déclenchement d'une unité de production îlotée. Il faut aussi savoir que les groupes redresseurs à diodes ne peuvent délester la charge qu'à la vitesse maxi de 5 MW/3 s.

Satisfaire aux exigences des producteurs d'aluminium comme des énergéticiens **Encadré** suppose une solution d'interfaçage optimale, très en amont de la planification du projet d'usine. Sur le long terme, l'optimisation anticipée de la conception peut réduire les coûts d'investissement de la centrale et de la station d'alimentation de l'électrolyse d'aluminium. La solution de protection électrique BPC¹⁾ (*Blackout Protection Control*) d'ABB favorise également la stabilité opérationnelle de l'usine.

Le graphique 1 montre les courbes de charge tension/courant caractéristiques d'une usine d'aluminium, vues par la centrale, qui dicteront la conception



Encadré Cahiers des charges

La centrale d'énergie doit tenir compte des critères d'interfaçage suivants pour répondre aux besoins de la station d'alimentation électrique de l'électrolyse :

- Une puissance de court-circuit pour tous les régimes de fonctionnement de la centrale ;
- La pollution harmonique maximale admissible (taux global de distorsion ou « THD ») ;
- Des oscillations de puissance et une puissance maxi, en MW ;
- Les oscillations de puissances active/réactive maxi ;
- La charge maximale admissible des câbles véhiculant des courants harmoniques ;
- Le facteur de puissance requis ;
- Le déséquilibre de puissance (triangle/phase) maxi.

Autres points d'importance :

- Les creux de tension attendus et admissibles ;
- Le respect des réglementations du réseau ;
- La charge de courant harmonique secondaire à la mise sous tension du transformateur ;
- L'explication des processus de synchronisation des générateurs d'énergie et de charge de bloc minimale ;
- La variation de la puissance de court-circuit, en fonctionnement réseau et îloté, disponible

sur le jeu de barres de la station d'alimentation HT de l'usine.

La centrale d'énergie doit aussi résoudre les problèmes inhérents à la production d'aluminium :

- Les effets d'anode créent au quotidien une forte oscillation de puissance de 15 MW ;
- Une série de cuves d'électrolyse peut déclencher plus de cinq fois au cours de la première année (chute immédiate de 600 MW) ;
- Les besoins électriques, à la mise en service initiale d'une série d'électrolyse, augmentent de 3,5 MW par jour ;
- Une montée en puissance de 20 MW/min constitue la vitesse de redémarrage idéale de la série d'électrolyse après déclenchement ;
- Un facteur de puissance de 0,82 est nécessaire au redémarrage, sur une courte période ;
- Des creux de tension de 70 % sont constatés sur le jeu de barres de l'usine lorsque les transformateurs d'alimentation des redresseurs sont mis sous tension, sans synchronisation des disjoncteurs de ligne ;
- Une augmentation de la puissance de court-circuit permet de mieux remplir les exigences de qualité de l'alimentation électrique ;
- Un THD maxi admissible de 2 % oblige à installer des filtres tertiaires si la puissance de court-circuit est 10 fois moindre que la puissance assignée de l'usine.

La conception globale du tandem usine/centrale doit s'appuyer sur les paramètres suivants :

- Fonctionnement îloté nécessaire ? Une réponse affirmative doit donner lieu à une étude de détail ;
- Les groupes redresseurs à diodes ne peuvent délester la charge qu'à la vitesse maxi de 5 MW/3 s ;
- La commutation synchronisée des transformateurs réduit les perturbations de puissance et les creux de tension, ainsi que l'effort mécanique exercé sur les redresseurs et les filtres de courants harmoniques. Dans tous les cas, sans commutation synchronisée, l'îlotage peut s'avérer impossible ;
- Les disjoncteurs à isolation gazeuse ou dans l'air doivent pouvoir basculer d'une phase à l'autre, à la milliseconde près ;
- La conformité IEEE 519²⁾ impose des filtres tertiaires sur les transformateurs de redresseurs, en fonctionnement îloté ;
- Les filtres de courants harmoniques, côté haute tension, peuvent nécessiter une étude car ils sont chargés avec les courants harmoniques éventuellement présents dans le réseau.

Note

²⁾ Norme internationale fixant les limites admissibles de pollution harmonique des réseaux électriques.

globale du système. 2 illustre la charge que la station d'alimentation de l'électrolyse peut délester, avec et sans la solution BPC²⁾ d'ABB, tandis que 3 renseigne sur la qualité du courant fourni à la station d'alimentation de l'électrolyse, selon la puissance du réseau. Il faut tenir compte de ces valeurs en cas de découplage du réseau ou pour poursuivre l'îlotage. De gros consommateurs électriques de l'usine (alimentations sans interruption, onduleurs, convertisseurs de fréquence...) sont particulièrement sensibles aux fortes distorsions de courants harmoniques. 4 trace le facteur de puissance, au démarrage d'une usine, applicable à la première mise en service et après redémarrage d'une série d'électrolyse. Les choix de conception pour la réalisation du redresseur doivent s'appuyer sur le contrat de fourniture d'électricité et sur la qualité de l'ali-

mentation électrique, pour ces régimes d'exploitation.

Chutes de tension à la mise sous tension du transformateur d'alimentation des redresseurs

Les usines de production d'aluminium à centrale intégrée utilisent des scénarios d'exploitation en cas d'alimentation de l'usine par la centrale, en mode

îloté. Ce fonctionnement peut amener à beaucoup réduire la puissance de court-circuit disponible. La taille des transformateurs de redresseurs allant de pair avec l'ampleur des usines d'aluminium, leur impact sur le réseau, à la mise sous tension, est considérable. 6 en est l'illustration, avec et sans mise sous tension commandée. Les creux de tension peuvent déclencher des

consommateurs déjà alimentés. Ces chutes sont dramatiques pour les usines d'aluminium à centrale intégrée puisque la tension, côté moyenne tension, risque de perdre 25 % de sa valeur assignée, soit bien plus que les 10 % normalement admis. Les cinq études de cas ci-après illustrent l'immense

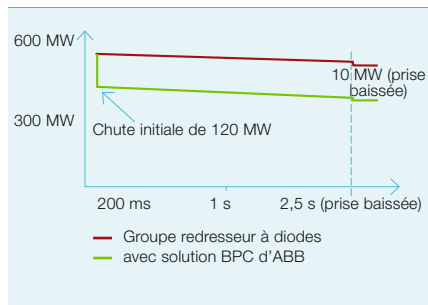
Note

¹⁾ Le détail de cette solution, encore confidentiel à ce jour, sera diffusé à une date ultérieure.

1 Consommation de puissance active au déclenchement/démarrage



2 Capacité de délestage d'une station d'alimentation de l'électrolyse d'aluminium, avec et sans solution BPC d'ABB



variété des choix de conception, qui s'ajoute à la complexité de projets qu'ABB a équipés ou étudiés.

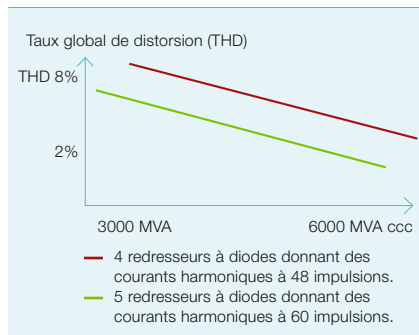
ALBA (Bhareïn)

Ces dernières années, l'usine a dû faire face à plusieurs coupures de réseau pour de multiples raisons. Toutefois, grâce au mix énergétique et à cinq séries d'électrolyse, le déclenchement des cuves ont perdu de leur criticité. La stratégie d'ALBA consiste à alimenter les services auxiliaires de l'usine à partir des différents réseaux fournissant l'énergie des séries d'électrolyse, ce qui rend l'installation insensible aux creux de tension ou chutes de charge.

DUBAL (Dubai)

L'usine de Dubai Aluminium compte un grand nombre de séries d'électrolyse dont certaines, d'une puissance inférieure à 100 MW, bénéficient d'un bon mix énergétique. Le réseau peut donc facilement pallier le déclenchement d'une série. Cette configuration de faible puissance a en outre un effet bénéfique sur la qualité de l'alimentation électrique, les courants harmoniques étant compensés par une exploitation multiphasée. L'appel de puissance au démarrage et l'ilotage ne posent pas de problème ; de même, les auxiliaires sont alimentés par un autre réseau d'énergie.

3 Qualité de la fourniture électrique par rapport à la puissance du réseau



Nordural (Islande)

Si le réseau électrique islandais monte en puissance, force est de constater que sa production tire essentiellement parti de la géothermie (turbines à vapeur de faible inertie) et, pour plus de

la moitié, des fluctuations diurnes et nocturnes de la consommation non industrielle. Les usines de Nordural créent une charge idéale. Les fortes variations journalières de stabilité du réseau exigent une conception très souple des stations d'alimentation de l'électrolyse pour autoriser un délestage ultrarapide des charges tout en garantissant une qualité de fourniture optimale. C'est ce qui a amené Nordural à utiliser des filtres tertiaires sur les transformateurs de réglage ainsi que des transformateurs de redresseurs à thyristors pour le délestage rapide. La qualité de l'alimentation électrique est garantie à la fois par la commutation commandée des transformateurs de redresseurs et les filtres tertiaires 5.

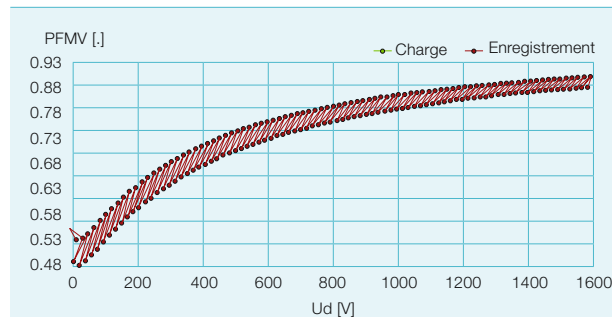
Fjardaal (Islande)

Cette usine d'électrolyse équipée d'une seule série de cuves de 500 MW sera alimentée par une centrale hydroélectrique intégrée, distante d'une soixantaine de kilomètres. Une faible interconnexion réseau de 132 kV est possible au niveau du poste électrique de la centrale. Celle-ci tirera son énergie auxiliaire des mêmes lignes électriques alimentant ses transformateurs de redresseurs. Un déclenchement de la série d'électrolyse provoquera l'arrêt de la centrale, le réseau islandais étant incapable d'absorber cette énergie excédentaire. La puissance de court-circuit disponible doit se situer entre des valeurs faibles et très faibles, à la première mise en service comme en régime normal.

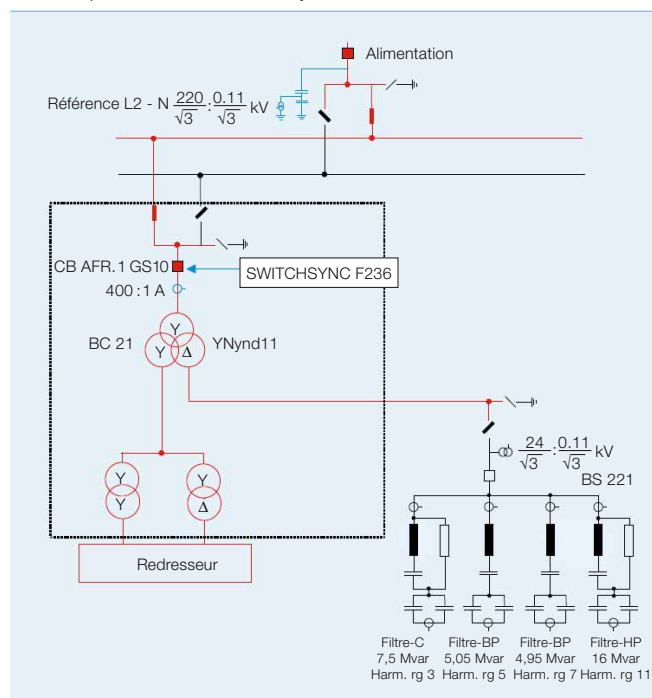
Sohar (Oman)

Cette nouvelle usine d'électrolyse est conçue pour accueillir trois séries de cuves de 550 MW, alimentées par une cogénération intégrée. Une interconnexion réseau de 220 kV est possible au niveau du poste électrique de la centrale, laquelle est distante de l'usine d'environ 12 km. Celle-ci tirera son énergie auxiliaire des mêmes lignes électriques alimentant ses transformateurs de redresseurs. Comme en Islande, le déclenchement d'une série

4 Facteur de puissance au démarrage d'une série d'électrolyse



5 Principe de la commutation synchronisée chez l'Islandais Nordural



arrêtera la centrale. Idem pour la puissance de court-circuit disponible (comprise entre des valeurs faibles et très faibles), à la première mise en service comme en régime normal.

Bilan

Une puissance de court-circuit disponible de 2500 MVA, fournis par une centrale d'énergie, et une charge de 600 MW pour l'usine donnent un rapport de 4, correspondant à un système très faible.

On estime alors que le déclenchement d'une seule turbine à gaz de la centrale suffirait à déclencher à son tour les installations d'électrolyse. Ce risque ne doit pas être écarté dans l'étude de la centrale. Les groupes redresseurs à diodes sont inaptes au délestage de la charge et les centrales thermiques à gaz fonctionnant en mode îloté peuvent déclencher sur un creux de fréquence, en moins de 2 secondes. Pour éviter pareil incident, on peut avoir recours à une

charge fictive afin de protéger la centrale d'un découplage total du réseau en cas de déclenchement d'une série d'électrolyse. Il existe deux façons d'éviter le déclenchement des installations après celui de la centrale :

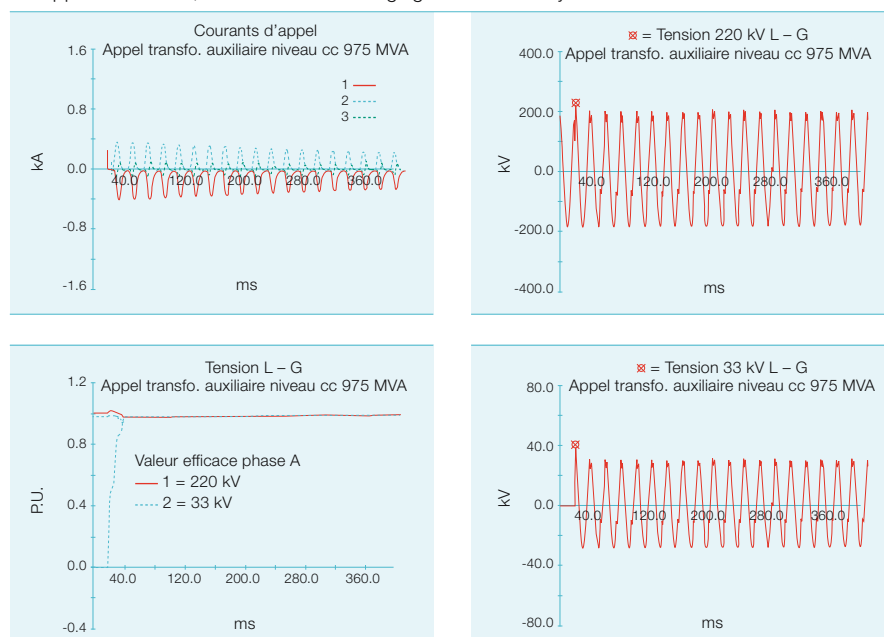
- Concevoir la centrale de façon à pouvoir suivre la montée en charge et le déclenchement de l'usine (solution BPC d'ABB);
- Equiper l'usine de redresseurs à thyristors autorisant un délestage immédiat.

6 Creux de tension, côté moyenne tension, à la mise sous tension de gros transformateurs, avec et sans commutation commandée

a Courants d'appel



b Appel de courant, transformateur de réglage à fermeture synchronisée



Si l'on nécessite un taux global de distorsion (THD) de 2 % ou un facteur de puissance de 0,98, et si le contrat d'alimentation électrique stipule en permanence un facteur de puissance élevé, la solution la plus économique réside dans des filtres de courants harmoniques raccordés au tertiaire du transformateur de réglage. Cette méthode convient également si le système électrique est faible. La commutation synchronisée devrait être utilisée sur les batteries de filtres pour réduire les sollicitations liées aux appels de courant et aux surtensions. La nouvelle station de conversion de l'Islandais Nordural est à cet égard la mieux équipée :

- un transformateur de réglage pleine échelle doté de filtres tertiaires garantissant en permanence un facteur de puissance optimal;
- des redresseurs à thyristors pour suivre les capacités du réseau;
- une commutation synchronisée des transformateurs et des filtres pour minimiser la distorsion du réseau dans un système électrique très faible et les contraintes sur les filtres, appareillages et transformateurs.

Max Wiestner

Production d'aluminium primaire
ABB Suisse,
Baden-Dätwil (Suisse)
max.wiestner@ch.abb.com

Georg Köppl

Consultant auprès d'ABB

Bibliographie

- Metal Events Conference, Reykjavik, Islande, 2004
- Metal Bulletin Conference, Oslo, Norvège, 2004
- Metal Events Conference, Muscat, Oman, 2005
- Aluminium World, Bahreïn, 2006/1
- Metal Events Conference, Dubaï, EAU, 2006

Plus sobre, moins polluant

Pour muscler durablement les performances économiques des sites industriels, ABB fait la chasse au gaspi

Jim McCabe

Une usine au meilleur de sa forme est la clé de sa rentabilité à long terme. Confrontés à l'envolée des prix de l'énergie, les industriels prennent conscience de l'importance de réduire leurs consommations. Mais sur quels leviers jouer pour assurer l'efficacité optimale d'un site ?

Un piètre bilan énergétique peut s'expliquer par une production mal planifiée, des boucles de régulation mal réglées ou encore des équipements sous-exploités ou surdimensionnés, problèmes souvent exacerbés par des conduites qui fuient ou des chaudières et des tuyaux mal calorifugés.

Avec son programme d'amélioration de l'efficacité énergétique conçu pour l'industrie des procédés, ABB identifie des gisements d'économies pouvant atteindre durablement 20 % de la facture d'énergie.



La fluctuation du prix des combustibles et le durcissement de la législation sur les émissions polluantes obligent l'industrie des procédés à réduire ses consommations énergétiques et ses émissions de gaz à effet de serre. Dans ce contexte, les réseaux d'énergies et de fluides (vapeur, eau glacée, air comprimé, etc.) offrent une cible de choix, surtout si l'on peut passer au crible l'ensemble d'un site, et pas simplement quelques-unes de ses composantes. Un formidable potentiel d'économies existe en réduisant la consommation de fluides, en minimisant les pertes dans les réseaux et en améliorant le rendement productif. En fait, un plan d'actions bien mené peut alléger jusqu'à 20 % la facture énergétique.

Mais qu'entend-on par là? Si les gains potentiels servent d'aiguillon, optimiser ses performances énergétiques impose de prendre des décisions éclairées et de mettre en balance ces gains avec les coûts et les risques éventuels.

Plaidoyer pour l'efficacité énergétique

L'énergie est la pierre angulaire de la quasi-totalité des procédés industriels. Dans une usine, les transferts d'énergie se font essentiellement sous forme d'électricité et de fluides. Constituant une part croissante des coûts de fonctionnement de nombreuses entreprises, le poste énergie est l'objet d'une attention accrue et d'une quête d'optimisation.

ABB Engineering Services met sa longue expérience des procédés au service

des industriels pour identifier les pistes d'amélioration et réaliser les gains escomptés dans les meilleurs délais possible. Plus de 50 entreprises à travers le monde ont déjà mis à profit l'expertise d'ABB pour rationaliser leurs consommations d'énergie et de fluides. Pour ce faire, nos consultants appliquent une méthode structurée d'évaluation du potentiel d'économies d'un site avant d'élaborer et de mettre en œuvre des plans d'actions ¹. Au-delà des formidables gains réalisés grâce à cette démarche, nombreuses sont les entreprises à avoir développé des compétences et la motivation indispensables pour pérenniser les acquis et continuer à consolider l'efficacité énergétique de leurs sites.

Traquer les gaspilleurs

Une démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique débute par un bilan énergétique du site et une évaluation des gains potentiels. Tous les maillons de la chaîne énergétique sont passés en revue: production, distribution et consommation. Les actions préconisées englobent autant des interventions rapides qui n'exigent que peu ou pas d'investissement que la mise en œuvre de technologies d'efficacité énergétique. Dans le premier cas, il peut s'agir tout simplement de réparer une isolation ou de colmater des fuites, ou encore de bouleverser les habitudes, comme arrêter un équipement important inutilisé ou modifier les points de consigne de certaines boucles de régulation (température, pression ou débit).

Au chapitre technologique, les solutions sont légion, depuis le pilotage en vitesse variable des équipements jusqu'à la conduite avancée des procédés. La difficulté majeure est ici de choisir la solution ad hoc, ce qui suppose une analyse minutieuse des avantages et des risques. Si les avantages se concrétisent le plus souvent par un allègement de la facture énergétique, ils peuvent également se traduire par une hausse de la fiabilité ou de la capacité de production.

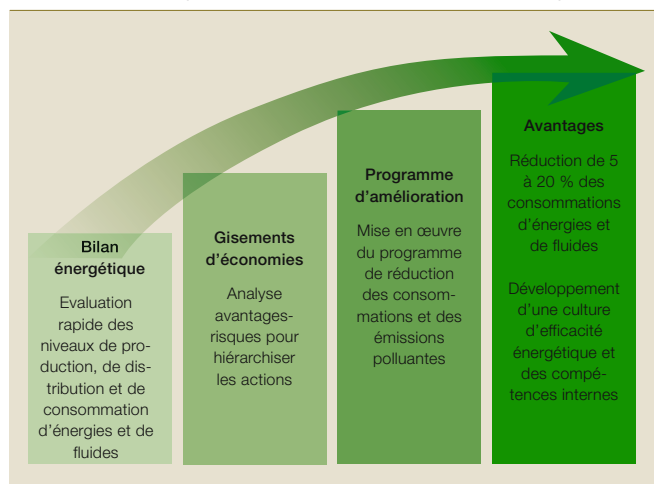
ABB est fréquemment complimenté par ses clients pour son sens pratique, comme en témoigne le directeur d'un fabricant britannique de principes actifs: «*Nous en avons assez des audits qui nous conseillent soit d'éteindre la lumière, soit d'investir des millions d'euros. Nous apprécions le pragmatisme de la démarche ABB.*»

Travaux pratiques

Un prédiagnostic réalisé pour un industriel européen de la chimie ² anticipait des économies équivalentes à 10 % des dépenses totales en énergie et fluides du site. Voyons dans le détail les remèdes préconisés.

Pour commencer, de nombreux gisements d'économies furent identifiés au cours d'un bilan énergétique du site. Une analyse avantages-risques permit ensuite de les circonscrire à quatre domaines prioritaires: gestion des tranches tarifaires, réseau de vapeur, récupération de chaleur et vitesse variable.

¹ Etapes d'un programme d'amélioration de l'efficacité énergétique



² Un prédiagnostic réalisé pour un industriel européen de la chimie prédit des économies équivalentes à 10 % des dépenses totales en énergies et fluides du site.



Gestion des tranches tarifaires

Les ingénieurs ABB notèrent que, pendant les mois d'hiver, la grille tarifaire du fournisseur d'électricité du site incluait une tranche quotidienne de trois heures au prix fort. Au total, l'électricité consommée au cours de cette période coûtait aussi chère que sur tout le reste de la journée. Des économies substantielles sans consentir d'investissement furent donc recensées en replanifiant la production pour minimiser l'exploitation de procédés électro-intensifs dans cette tranche tarifaire.

Un prédiagnostic réalisé pour un industriel européen de la chimie anticipait des économies équivalentes à 10 % des dépenses totales en énergies et fluides du site.

Un autre levier d'économies fut identifié au niveau de deux pompes d'eau froide de 160 kW, secourues par deux pompes à moteur Diesel. Ces dernières étaient testées chaque semaine pendant deux heures en dehors de la tranche tarifaire maximale. En les faisant tourner cette fois dans la période à plein tarif, les économies annuelles potentielles s'élevaient à 4 400 euros. Qui plus est, leur utilisation systématique cinq jours par semaine pendant la période de tarif

élevé, induirait des économies de 20 600 euros par an.

Réseau de vapeur

Les fuites dans le réseau de vapeur furent réduites par une meilleure maintenance des purgeurs et la consommation globale de vapeur diminua grâce à une récupération accrue de chaleur. En effet, les échangeurs thermiques récupérant les effluents chauds d'une colonne de distillation à la vapeur d'eau pour préchauffer son alimentation étaient sous-dimensionnés avec une récupération de chaleur incomplète.

Vitesse variable

Les ingénieurs s'aperçurent que les pompes de liquides chargés et les ventilateurs des installations de séchage étaient surdimensionnés, fonctionnant souvent à moins de la moitié de leur régime nominal. Il s'agit d'une application idéale pour le pilotage à vitesse variable avec, à la clé, une baisse de la consommation énergétique des moteurs des pompes et des ventilateurs pouvant atteindre 60 %¹⁾.

Des résultats tangibles

Dans un autre projet, un industriel de la chimie de spécialités ³ devait fiabiliser son procédé de réfrigération à basse température pour plusieurs produits clés. La capacité du système installé se dégradant, les volumes de production étaient limités avec une piètre efficacité énergétique du fait de l'exploitation de deux compresseurs au lieu d'un seul.

L'installation d'origine comptait deux compresseurs à piston (un en fonctionnement et un de réserve) utilisant du R22 comme réfrigérant primaire, un séparateur d'huile, un robinet d'étranglement et un évaporateur avec un système de rectification d'huile ainsi qu'un séparateur d'huile supplémentaire. Le système était conçu pour des températures pouvant atteindre -48 °C.

ABB scruta les performances du procédé et des équipements. A la suite d'essais en usine et d'une analyse de données, les problèmes furent imputés à des défaillances mécaniques et à l'encrassement des échangeurs thermiques. Leur nettoyage entraîna une augmentation immédiate de la capacité de production. ABB préconisa également des modifications mécaniques progressives pour prévenir leur encrassement. En phase finale du projet d'amélioration, un échangeur thermique plus performant fut installé pour accroître la capacité du système de réfrigération.

Cet accroissement permit de raccourcir les temps de cycle des lots et d'augmenter à la fois les taux de production et les rendements de réaction.

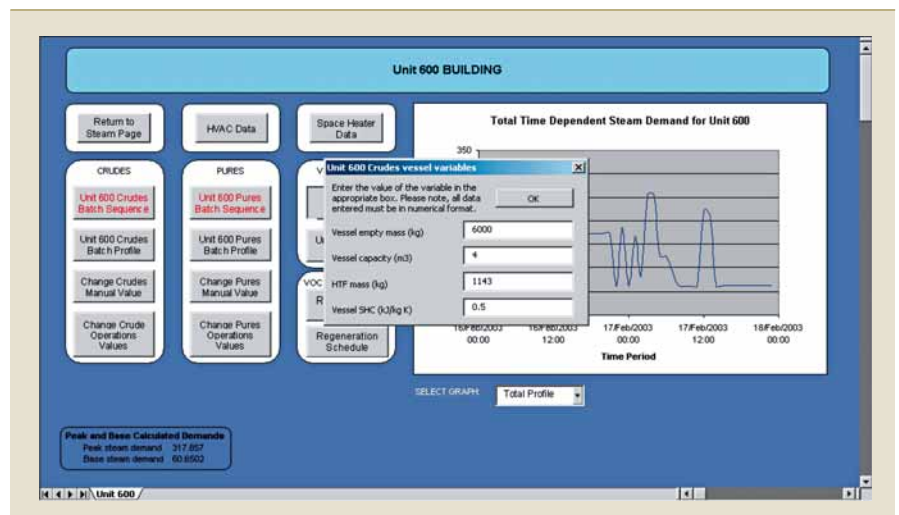
Note

¹⁾ Cf. également Wikstroem, P., Tolvanen, J., Savolainen, A., Barbosa, P., *La variation de vitesse au rendez-vous de l'efficacité énergétique*, Revue ABB 2/2007, p. 73-80

³ Chimie fine: l'optimisation énergétique induit d'importantes économies.



⁴ Profils de demande horaire de vapeur de différentes unités de production par lots multiproduits (chimie fine et pharmacie)



Le système de réfrigération est également devenu plus fiable alors que l'utilisation d'un seul compresseur a engendré des économies de l'ordre de 70 000 euros par an.

Fixer les objectifs et mesurer les progrès

Comme pour tout programme d'amélioration, des objectifs doivent être fixés et les progrès mesurés. Lors de l'élaboration du programme, son périmètre, son budget, son calendrier et les gains escomptés pour chaque poste de consommation sont convenus avec le client et un suivi des performances est mis en place. Dans la mesure du possible, un système de gestion de l'énergie est installé, avec des compteurs ainsi qu'un système de collecte et d'analyse des données.

La définition des objectifs est une étape déterminante de la plupart des programmes d'efficacité énergétique. S'ils sont inatteignables, la motivation s'étirole rapidement. À l'inverse, des objectifs peu ambitieux compromettent la baisse des coûts et des émissions. Le problème est particulièrement épineux pour des sites où la demande en énergies et fluides varie fortement dans le temps, ce qui est notamment le cas de la production par lots dans l'industrie pharmaceutique ou la chimie fine : le profil de charge des infrastructures y évolue d'heure en heure et de jour en jour selon la composition des produits, les temps de cycle et les besoins énergétiques de chaque lot. Impossible donc de donner des valeurs universelles de consommation pour les sites multiproduits : un casse-tête pour ceux qui fixent les objectifs.

Ceux-ci sont souvent établis à partir d'un historique de consommation d'énergies et de fluides. Cette approche qui suppose un suivi des actions et un contrôle des résultats a notamment l'inconvénient de dépendre fortement de la qualité des données collectées et, plus particulièrement, des conditions d'acquisition de ces données. Or rien ne permettra dans ce laps de temps de déceler un purgeur mal fermé ou une fuite importante dans une conduite d'air comprimé pendant la collecte des données alors même que ces dernières serviront de

référentiels à des comparaisons futures. Qui plus est, cette approche ne tient pas compte de la capacité effective des infrastructures existantes et est incapable d'identifier les goulots d'étranglement dans les réseaux.

Pour éviter ces écueils, ABB utilise la méthode robuste des consommations pratiques minimales MPE (*Minimum Practical Energy*) pour construire les référentiels et fixer des objectifs d'amélioration établis à la fois sur des bases théoriques solides et des programmes de production réels. Les procédés où le niveau réel de consommation s'écarte notablement des valeurs pratiques minimales (ex., un procédé consommant plus de vapeur que prévu) sont rapidement identifiés. Les pistes d'amélioration sont ainsi recensées et on dispose d'un référentiel pour suivre les progrès. Le profil de demande d'un programme de production donné est comparé à la capacité des infrastructures, mettant en lumière les goulots d'étranglement et permettant d'exploiter les réseaux d'énergies et de fluides au maximum de leur efficacité. En planifiant mieux la production, on diminue les pics de consommation et on évite des dépenses d'investissement.

ABB a utilisé ce concept pour dégager des économies annuelles de l'ordre de 147 000 euros au sein d'une unité de production de principes pharmaceutiques actifs. Un modèle de simulation des réseaux d'énergies et de fluides calcule les consommations pratiques minimales. Les écoulements massiques et les chutes de pression sont scrupuleusement modélisés dans tous les réseaux du site pour chaque fluide (ex., vapeur, gaz comprimés et eau). Le modèle dynamique des réseaux prédit les valeurs de débit, de pression et de vitesse sur la base du profil de demande horaire ⁴ résultant des activités quotidiennes de chaque unité. Les zones de production et hors production (ex., stockage, traitement des effluents et alimentation électrique des bureaux et des cantines) sont incluses dans l'analyse.

La demande en énergies et fluides peut être saisie manuellement pour l'exploitation de chaque unité – besoins de chaleur ou de froid,

mélange ou ajout de réactifs – ou calculée à partir des étapes successives de la recette du lot. Des lots individuels peuvent être combinés pour simuler un programme de production complet et le profil de la demande calculé sur une période allant d'un jour à cinq ans. Enfin, les données climatiques sont intégrées pour tenir compte des besoins de chauffage ou de climatisation des locaux.

Ce modèle de demande prévisible d'énergies et de fluides est comparé à la capacité connue des réseaux du site, facilitant l'identification de contraintes de capacité transitoires ou prolongées. Des fonctionnalités de contrôle-commande des réseaux d'énergies et de fluides peuvent être intégrées pour répondre en ligne aux fluctuations de la demande. La simulation permet à l'opérateur d'anticiper les besoins en énergies et fluides au vu des programmes de production (ex., nombre de chaudières à démarrer à un moment donné). Ceux-ci peuvent être optimisés pour minimiser toute fluctuation excessive des charges d'énergies et de fluides, et éviter les pics de demande incompatibles avec la capacité des réseaux. Enfin, le modèle permet à l'utilisateur d'identifier des zones où les consommations effectives en énergies et fluides dépassent les valeurs pratiques minimales et, donc, de déceler des potentiels d'économies inexploités et fixer des objectifs pour des plans d'actions ultérieurs.

Le programme d'amélioration de l'efficacité énergétique d'ABB est une démarche structurée avec des outils perfectionnés permettant d'identifier et d'exploiter les gisements d'économies d'énergie dans l'industrie des procédés. Laissant l'industriel se concentrer sur son cœur de métier, il lui permet de réduire jusqu'à 20 % ses dépenses en énergies et fluides, et d'améliorer durablement l'efficacité énergétique de son outil de production.

Jim McCabe

ABB Engineering Services
Daresbury Park (Royaume-Uni)
jim.mccabe@gb.abb.com

Détection de mouvement

Exit les câbles !

Olivier Steiger, Richard Bloch, Beat Kramer,
Daniel Matter, Philippe Prêtre, Christian Heite

Les détecteurs de mouvement ont envahi nos foyers et lieux de travail en se donnant trois grandes missions : commander l'éclairage, le chauffage, la climatisation..., protéger nos biens et nous avertir des intrus. Toutefois, jusqu'à présent, qui disait détection de mouvements supposait une installation câblée, aussi laborieuse que coûteuse. Fort heureusement, les temps changent : ABB, en partenariat

avec un grand nom du domaine, vient de développer un nouveau détecteur de mouvement, sans fil à la patte. Grâce aux technologies embarquées, nos ingénieurs se sont débarrassés des câbles et ont réalisé un dispositif souple d'emploi, fiable, compact, économique et capable de fonctionner cinq ans d'affilée avec des piles alcalines classiques !



Busch-Jaeger, entreprise d'ABB, possède un riche portefeuille de détecteurs de mouvement à usages résidentiel et tertiaire. Ces «anges gardiens» des lieux, qui ont élu domicile aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur, se distinguent par leur fiabilité et leur conception novatrice. Pour autant, leur installation ne va pas forcément de soi, surtout dans les bâtiments existants ne disposant d'aucun câblage supplémentaire. C'est donc pour gagner en confort de pose et en optimisation de l'espace que Busch-Jaeger, MEMS AG¹⁾ et le centre de recherche d'ABB ont développé un nouveau détecteur de mouvement sans fil **1**.

Consommer moins d'électricité sans rogner sur la fiabilité fut l'un des leit-motifs de cette innovation. Il a pour cela fallu recourir à des composants peu énergivores et aux technologies embarquées. Autre défi : maîtriser la susceptibilité électromagnétique, qui va de pair avec l'impédance du système, en limitant la longueur des lignes de signaux sensibles aux parasites. Résultats : des câbles supprimés, une installation simplifiée et, au final, un détecteur de mouvement fiable et économique qui consomme en moyenne moins de 20 μ A ! Sans oublier une parfaite intégration dans l'offre produits de Busch-Jaeger en

1 Le nouveau détecteur de mouvement sans fil ABB séduit par sa fiabilité exceptionnelle et son concept novateur.



termes de coût, d'esthétique et de performance.

Grâce aux technologies embarquées, le détecteur de mouvement sans fil d'ABB est souple d'emploi, fiable, compact et économique.

Caractéristiques constructives

L'appareil se résume à l'interconnexion de trois principaux modules assurant les fonctions de détection, de radiocommunication et de commande.

Module de détection

C'est la partie la plus délicate du sys-

tème puisqu'elle intègre le détecteur pyroélectrique à infrarouge passif (PIR) **2a** qui capture les mouvements surveillés et les transforme en signaux électriques extrêmement faibles. Comme ces signaux sont particulièrement sensibles aux perturbations électromagnétiques, il faut les amplifier le plus près possible de leur source. D'où le montage d'un amplificateur à très faible consommation **2b**, à proximité immédiate du détecteur PIR. Dérivé de la gamme *Busch-Watchdog ProfessionalLine*,

celui-ci répond aux plus strictes exigences de consommation électrique.

Module radio

Ce module assure la communication entre le détecteur sans fil et un ou plusieurs actionneurs (interrupteurs radiocommandés). Pour prétendre à la «sobriété» énergétique, la communication est seulement unidirectionnelle, c'est-à-dire dans le sens émetteur (détecteur) → récepteur (actionneur) afin d'éviter que ce dernier soit en permanence en attente de réception. La transmission utilise la bande ISM (In-

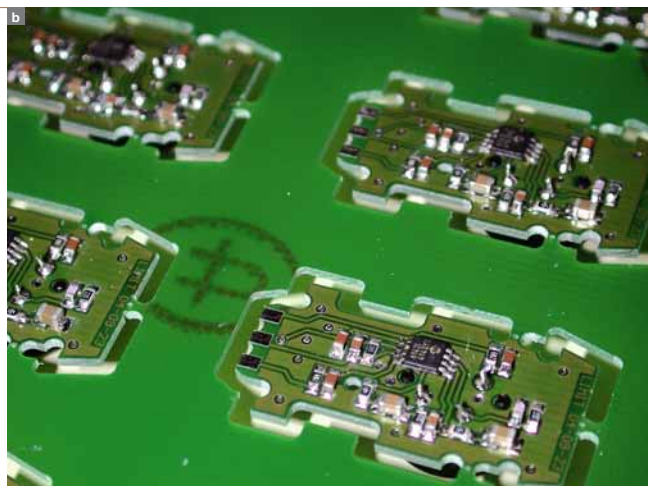
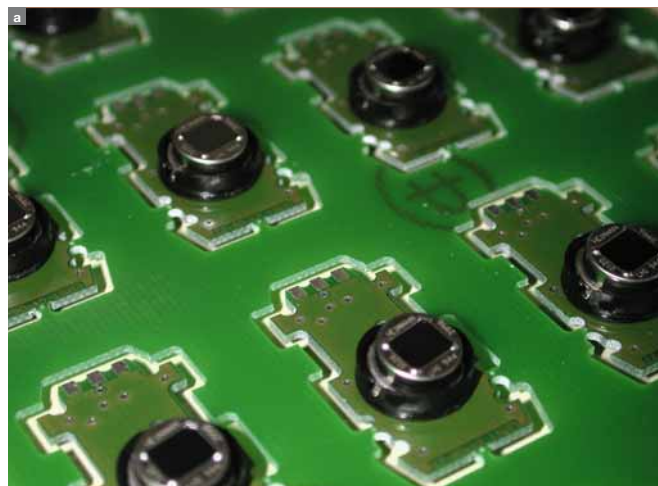
Note

¹⁾ Entreprise dont les membres fondateurs sont d'anciens ingénieurs de l'équipe de recherche ABB. Pour en savoir plus, rendez-vous sur www.iwb.ch.

2 Exemple d'antiparasitage : sur le module de détection, l'amplificateur est monté à proximité immédiate du détecteur PIR.

a Face avant équipée du PIR ;

b Arrière accueillant l'électronique et l'amplificateur.



dustrielle, Scientifique et Médicale) à 868 MHz, selon le protocole KNX-Radio Fréquence, la portée pouvant atteindre 300 m en champ libre.

Module de commande

Les modules de détection et radio sont montés sur le module de commande **3**, qui abrite également l'alimentation électrique et assure la détection de la luminosité ambiante ainsi que le paramétrage de l'appareil. Il est bâti autour d'un microcontrôleur de signaux mixtes qui traite tous les signaux de détection et les paramètres du système pour produire le signal de présence binaire transmis à l'action-

neur via l'émetteur radio. Cette puce gère plusieurs modes de mise en veille autorisant la suspension temporaire de certaines de ses fonctions et leur remise en activité moyennant un délai de quelques microsecondes seulement. Cette exploitation « sur mesure » de l'électronique pour réaliser une fonction donnée permet d'économiser d'autant l'énergie consommée.

Stockage d'énergie : l'embarras du choix ?

Le succès d'un appareil sans fil tient autant à sa conception innovante qu'au choix et à la disponibilité d'une alimentation adéquate. En effet, l'utili-

sateur demande des sources d'énergie durables, bon marché et compactes. Pour cette raison, plusieurs solutions et leur adéquation à la détection de mouvement sans fil ont été étudiées. Parmi les critères de sélection, citons :

- Un fonctionnement sans interruption sur au moins dix ans ;
- Une capacité à fournir 20 μ A en moyenne et à supporter des pics d'intensité de 25 mA, typiques des transmissions radio ;
- Une plage de température étendue : -20°C (mini) à $+60^{\circ}\text{C}$.

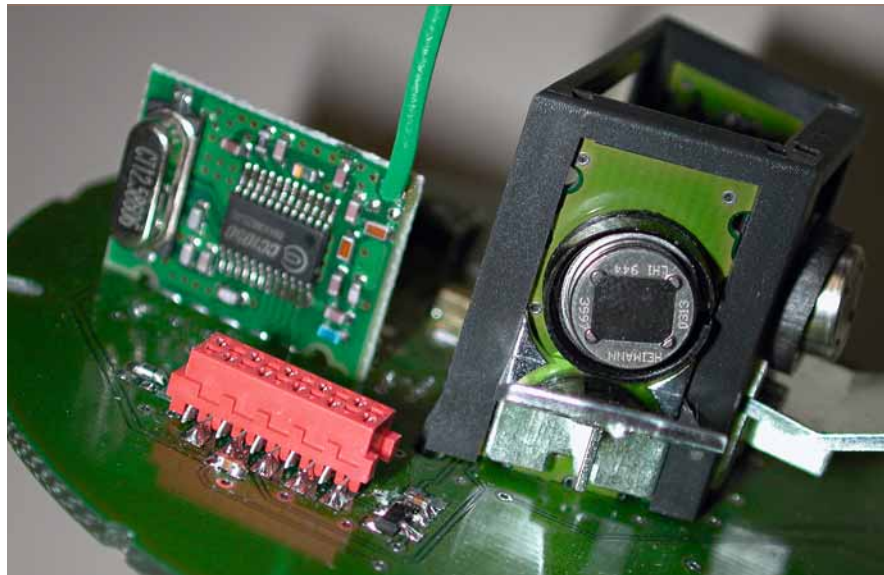
Six solutions ont été considérées

Encadré.

Encadré Les alimentations candidates à la détection de mouvement sans fil

Alimentation	Source d'énergie	Adéquation
Piles traditionnelles (alcalines)	Principe électrochimique	Bonne
Cellules photovoltaïques	Soleil	Bonne
Générateurs thermoélectriques	Gradients thermiques	Envisageable (malgré des performances médiocres)
Pile à combustible	Principe électrochimique	Mauvaise (coût élevé et durée de vie insuffisante)
Piézoélectricité	Effet Von Karman (vent)	Mauvaise (très faibles performances)
Transfert d'énergie sans fil	Alimentation de l'installation	Mauvaise (coût élevé et faible réceptivité des clients)

3 Le module de commande, équipé de trois modules de détection et de l'émetteur radio



Piles traditionnelles

Première solution venant à l'esprit pour alimenter notre détecteur : la pile. Ainsi, quatre piles alcalines 1,5 V lui garantissent une durée de vie de 5 à 7 ans, soit un peu moins que les 10 ans escomptés. Elles sont en outre très économiques et largement disponibles. En contrepartie, leur plage de température²⁾ est limitée et leur taux d'auto-décharge, élevé. La pile LiFeS₂ (lithium sulfure de fer) remédie à ces inconvénients : certes plus onéreuse, elle dure jusqu'à trois fois plus longtemps !

Piles solaires

Une alimentation solaire est idéale pour notre détecteur de mouvement sans fil : écologiques par excellence, les piles solaires n'ont pas besoin d'être entretenues ni remplacées et se prêtent parfaitement à l'autosuffisance. C'est pourquoi les ingénieurs d'ABB ont conçu un prototype d'alimentation à base de piles solaires. Seul handicap : les cellules photovoltaïques produisent l'essentiel de leur énergie à la lumière du jour ; il faut donc prévoir un stockage pour le fonctionnement nocturne. Le principe est illustré en **4** : le condensateur double couche C1 emmagasine l'énergie produite de jour par la pile solaire. La densité énergétique stockée par ce « supercondensateur » est 300 fois supérieure à celle des condensateurs classiques. De plus, il peut être rechargé des centai-

Note

²⁾ De -10°C à $+50^{\circ}\text{C}$ pour les cellules alcalines, de -40°C à $+85^{\circ}\text{C}$ pour les piles LiFeS₂.

nes de milliers de fois, contre quelques centaines, voire un millier de fois pour les piles traditionnelles. Par contre, sa charge peut prendre plusieurs heures. C'est pourquoi un autre condensateur plus petit (C5) lui est raccordé en parallèle pour écourter la mise en route initiale du dispositif alimenté.

Ici, des piles solaires au silicium amorphe sont utilisées. Elles sont à la fois bien moins chères que les piles cristallines et plus efficaces, leur rendement énergétique n'étant pas tributaire de la luminosité ambiante : un atout de choix pour les détecteurs de mouvement souvent placés dans des lieux peu éclairés ! Pour preuve, une pile de 57 x 50 mm suffit à alimenter le détecteur en toute fiabilité.

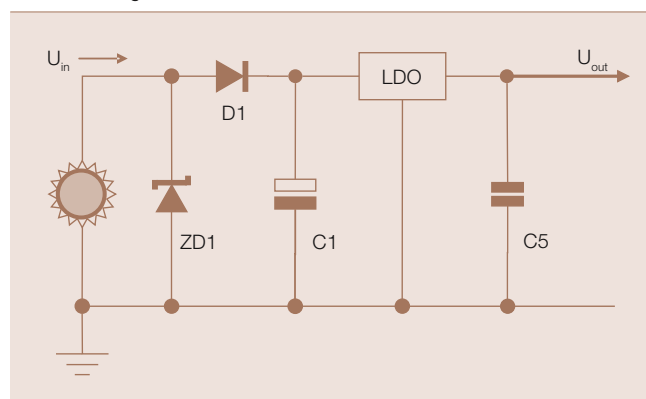
Générateurs thermoélectriques

Ils utilisent l'effet Seebeck pour produire de l'énergie à partir de la différence de potentiel électrique apparaissant à la jonction de deux conducteurs de natures différentes soumis à des gradients thermiques. Si l'effet thermoélectrique obtenu est habituellement infime, les générateurs récents ont atteint 20 μ W sur un seul circuit présentant un écart de température de 5 °C. Ce principe ne se prête donc à la détection de mouvement sans fil que si l'on obtient dans le capteur un gradient de température suffisant. Autre obstacle : ces générateurs ne conviennent pas aux applications en intérieur.

Pile à combustible

Une pile à combustible (PAC) reprend le principe électrochimique de tout accumulateur classique, à une différence près : ses réactifs gazeux (combustible et comburant) sont renouvelés en permanence. En d'autres termes, si une pile traditionnelle a une capacité de stockage interne limitée, la PAC produit de l'électricité en se nourrissant des sources externes qui constituent l'hydrogène et l'oxygène. Elle se développe à grands pas sur les marchés convoités de l'informatique nomade et de la téléphonie mobile, mais elle pâtit malheureusement d'un

4 Alimentation solaire : la pile solaire produit de l'électricité en journée qu'elle stocke dans des condensateurs (C1 et C5) qui restitueront cette énergie la nuit.



coût encore trop élevé et d'une durée de vie insuffisante pour envisager une application embarquée dans les détecteurs de mouvement sans fil.

Piézoélectricité

On appelle « piézoélectricité » la propriété que possèdent certains cristaux naturels (comme le quartz) à produire une charge électrique proportionnelle à la contrainte mécanique exercée par le vent ou toute autre forme d'écoulement thermique de l'air de type Von Karman. Selon ce principe, que l'on retrouve dans le flottement d'un drapeau, l'écoulement d'air autour d'un corps peu profilé crée des tourbillons de part et d'autre de la structure. Hélas, le rendement énergétique de la piézoélectricité est généralement insuffisant pour alimenter nos détecteurs de mouvement sans fil.

Le détecteur de mouvement sans fil d'ABB allie la technologie Busch-Jaeger, réputée pour sa fiabilité, à une consommation d'énergie particulièrement faible ; facile à installer, il peut se loger partout.

Transfert d'énergie sans fil

Cette méthode repose sur la transmission d'énergie électromagnétique d'une source externe au récepteur, ce qui oblige à équiper l'actionneur d'une bobine émettrice, chère et volu-

mineuse... Une solution qui, pour l'instant, n'a guère la faveur des clients !

Le plein d'avantages

Le détecteur de mouvement sans fil d'ABB allie la technologie Busch-Jaeger³⁾, réputée pour sa fiabilité, à une consommation d'énergie particulièrement faible. Facile à installer, il peut se loger partout. Les piles alcalines courantes lui garantissent une autonomie d'environ 5 ans, qui peut être portée à plus de 10 ans avec les piles LiFeS₂. Qui plus est, ce détecteur remplit tous les exigences CEM courantes.

Aussi n'est-il pas surprenant que le nouveau détecteur de mouvement ABB ait remporté un vif succès sur le salon *Elektrotechnik* de Dortmund (Allemagne), en septembre 2007 !

Olivier Steiger

Richard Bloch

ABB Suisse – Centre de recherche
Baden-Dättwil (Suisse)
olivier.steiger@ch.abb.com
richard.bloch@ch.abb.com

Beat Kramer

Daniel Matter

Philippe Prêtre

MEMS AG
Baden-Dättwil (Suisse)
beat.kramer@memsag.ch
daniel.matter@memsag.ch
philippe.pretre@memsag.ch

Christian Heite

Busch-Jaeger Elektro GmbH
Lüdenschied (Allemagne)
christian.heite@de.abb.com

Note

³⁾ Pour en savoir plus, cf. <http://www.busch-jaeger.de/de/bewegungsmelder/1836.htm> (septembre 2007)

100 ans !

ABB commémore un siècle de présence en Chine

Franklin-Qi Wang



ABB est en Chine depuis 1907, année où le Groupe livrait au pays sa première chaudière à vapeur. Aujourd'hui, il y exerce une large palette d'activités (R&D, production, ventes et services), y emploie plus 12 000 personnes dans 25 coentreprises ou filiales détenues à 100 %, et dispose d'un réseau commercial et d'après-vente dans 38 villes. En 2006, le carnet de commandes s'élevait à 3,1 milliards de dollars et les ventes à 2,8 milliards, faisant de la Chine le premier marché d'ABB en termes de chiffre d'affaires.

ABB, ÉTERNEL PIONNIER

Le Groupe ABB capitalise plus d'un siècle d'expérience en électrotechnique pour innover dans les domaines de l'énergie et de l'automatisation. La Chine compte un grand nombre de filiales ABB parmi les plus performantes au monde et montrées en exemple dans de nombreux secteurs d'activité.

En 1974, ABB ouvrait son premier bureau chinois à Hong Kong suivi, en 1979, par l'ouverture d'un bureau permanent à Beijing. En 1994, ABB transférait son siège chinois à Beijing et, un an plus tard, la holding ABB (China) Ltd. était officiellement constituée ¹.

L'offre d'ABB sur le marché chinois inclut la gamme complète de transformateurs de puissance et de distribution ; l'appareillage électrique pour les applications HT, MT et BT ; les variateurs de vitesse et les moteurs ainsi que les robots industriels. Tous ces produits trouvent de nombreux débouchés dans l'industrie, le tertiaire, les filières de l'énergie et de l'eau.

En Chine, ABB a participé à de nombreux grands chantiers : centrale hydroélectrique des Trois-Gorges et réseaux de transport d'électricité jusqu'à Shanghai, Changzhou et Guangdong ² ; canaux de dérivation nord-sud ; plusieurs projets liés au grand rendez-vous sportif mondial de 2008, y compris la construction de stades ³, l'extension de l'aéroport international de Beijing, la construction de postes électriques et de métros.

Par ailleurs, ABB a fourni du matériel électrique à la centrale nucléaire de Lianyungang, des systèmes de surveillance et d'analyse de la qualité de l'eau aux autorités en charge de la

protection de l'environnement de même que des solutions d'énergie et d'automatisation pour le plus grand complexe pétrochimique d'Asie de Shanghai SECCO, le parlement (Grand Hall du Peuple), les métros de Shanghai et de Guangzhou, les sociétés Shanghai GM, Baosteel, etc.

En 2003, ABB était classé parmi les dix premiers employeurs de Chine par une étude conjointe du magazine Fortune, de Yahoo et d'autres organisations. Début 2006, des étudiants chinois plaçaient ABB (China) Ltd. dans le Top 10 des «employeurs préférés».

Démarche de localisation

Fermement décidé à s'implanter durablement en Chine, ABB n'a cessé d'y transférer un nombre croissant d'activités et de technologies pour accélérer son processus de localisation et proposer des produits en phase avec le marché local, raccourcir les délais de livraison et améliorer la qualité de ses prestations techniques.

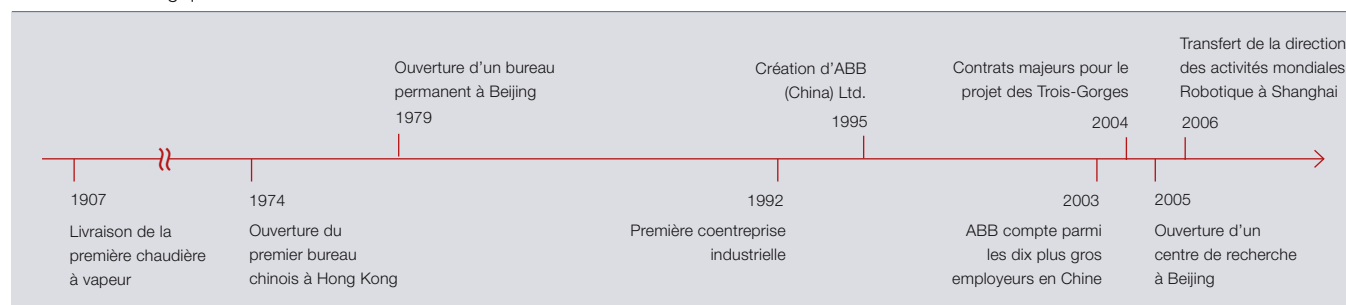
En mars 2005, ABB ouvrait un centre de recherche à Beijing avec une antenne à Shanghai, témoignant de la volonté de comprendre, d'anticiper et de satisfaire aux futurs besoins du pays dans les domaines de l'énergie et de l'automatisation. Intégrés au réseau mondial de laboratoires d'ABB, le centre de recherche de Beijing travaille sur le transport et la distribution d'énergie électrique, les procédés manufacturiers et la robotique. Début 2006, ABB implantait la direction mondiale de son activité Robotique à Shanghai, reflétant l'évolution du marché et l'importance stratégique du secteur en Chine. Chaque branche d'activité d'ABB en Chine emploie des scientifiques afin d'y maintenir sa position de leader. Enfin, chaque entreprise ABB possède une équipe technique chargée de répondre aux besoins locaux spécifiques.

Actuellement, le centre mondial d'assemblage des organes de transmission d'ABB (Asia Metals) et le centre d'excellence pour les lignes de transfor-

Lac de retenue des Trois-Gorges



1 Frise chronologique d'ABB en Chine



ABB, ÉTERNEL PIONNIER

2 Barrage des Trois-Gorges



mation et les laminoirs à tubes sont tous les deux situés à Shanghai.

Au fil des ans, ABB a noué des relations étroites avec des membres du gouvernement et des clients majeurs. En Chine, comme partout dans le monde, ABB veut aider ses clients à atteindre leurs objectifs. Pour ce faire, le Groupe cherche à bien cerner leur domaine d'activité, anticiper l'évolution des besoins et du marché et, enfin, y répondre le plus rapidement possible avec des produits innovants et des solutions complètes, y compris des solutions financières et un service après-vente irréprochable. L'amélioration continue de la satisfaction des clients est devenue un leitmotiv. ABB cherche à développer ses activités en Chine pour élargir son offre, avec des produits et des services fiables, performants sur le plan énergétique et respectueux de l'environnement.

Technologies ABB en Chine

L'efficacité énergétique est une des priorités du pays. Avec un taux de croissance inégalé, la Chine se doit d'accroître ses capacités énergétiques tout en exploitant ses ressources avec

parcimonie, ce que souligne son 11^{ème} plan quinquennal qui veut édifier une société soucieuse d'économiser ses ressources. ABB est déterminé à aider le pays à réaliser ses ambitions en matière d'efficacité énergétique et de développement durable.¹⁾

Transport d'énergie électrique

La technologie CCHT (courant continu en haute tension), mise au point en 1954 par ABB, est une solution économique et écologique pour le transfert massif d'électricité sur de longues distances avec des pertes en ligne minimales. En Chine, ABB a construit trois liaisons CCHT de près de 1 000 km chacune. Par rapport à la solution en courant alternatif, les économies réalisées dans chaque cas correspondent à la consommation d'environ 160 000 foyers.

Réseaux intelligents i-bus EIB d'ABB

Les réseaux intelligents i-bus EIB/KNX d'ABB sont la clé des performances énergétiques des applications domotiques et immotiques modernes. Ainsi, un tel système aide un des magasins de la chaîne Ito Yokado de Chengdu à réduire sa facture d'énergie de près de 250 000 dollars par an.

Turbocompresseurs

ABB est le leader mondial des turbocompresseurs pour les gros moteurs Diesel utilisés par les navires, les centrales d'énergie et les locomotives. En dopant la puissance et le rendement de ces moteurs, les turbocompresseurs ABB minimisent leur consommation énergétique et leur impact environnemental. Les clients en Chine et partout dans le monde ont accès à un réseau ABB Services hors pair qui compte 86 implantations.

Variateurs de vitesse

Dans chaque application, les variateurs de vitesse pilotent les moteurs au maximum de leur rendement. On estime que le parc installé de variateurs à courant alternatif ABB permet d'économiser environ 100 millions de MWh par an dans le monde. Les variateurs ABB ont fait économiser à la Chine dix millions de MWh au cours de la dernière décennie, soit l'équivalent de deux années de production d'une centrale nucléaire.

Moteurs à haut rendement

Les moteurs absorbent près de 65 % de l'électricité consommée par le secteur industriel. Le rendement des mo-



teurs ABB vendus en Chine est supérieur de 1,5 à 2 % au rendement moyen des autres moteurs, avec d'importantes économies à la clé ; chaque année, ils évitent au pays de gaspiller 1 500 MWh.

Encadré Grands contrats remportés par ABB (en dollars US)

- Liaison CCHT entre les Trois-Gorges et Shanghai, plus gros projet mondial de transport d'énergie électrique en 2004 (390 millions) ;
- Liaison CCHT entre les Trois-Gorges et Guangdong (360 millions) ;
- Équipements électriques pour les métros et réseaux ferroviaires de Beijing, Shanghai, Guangzhou et Tianjin ;
- Fourniture de systèmes d'automatisation industrielle, de variateurs de vitesse, de systèmes de contrôle qualité et électriques, et autres services au papeter Asia Pulp & Paper (APP) en Chine (40 millions) ;
- Fourniture d'équipements de levage pour 8 mines du Groupe Huainan Mining (24 millions) ;
- Fourniture d'un appareillage à isolation gazeuse de 500 kV et de 12 transformateurs de puissance pour la centrale de la rive droite du projet des Trois-Gorges (60 millions) ;
- Fourniture d'un appareillage à isolation gazeuse HT pour le projet Phase II de la centrale de Jiaxing de la province de Zhejiang (11 millions) ;
- Technologie innovante pour le procédé de propylène du pétrochimiste Shanghai SECCO destinée à réduire la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre (200 millions). Il s'agit de la première utilisation de cette technologie en Chine ;
- Fourniture d'équipements d'automatisation et de systèmes électriques pour une aciérie ultramoderne construite par la société Zhangjiagang GTA Plate Co (56 millions).

Système de propulsion marine

En août 2005, ABB fêtait le lancement du premier navire de recherche et d'exploration (3 000 tonnes) entièrement conçu par la Chine. Equipé du système de propulsion Compact Azipod® d'ABB, il consomme 10 à 15 % de carburants en moins que les navires comparables sans Azipod®. Ce système propulse également les trois navires de la nouvelle ligne de transbordeurs reliant Yantai et Dalian, avec des économies de même ampleur.

Un bilan exceptionnel

Le rôle important d'ABB en Chine est reconnu au sommet de l'Etat. En 1999, l'ancien président, Jiang Zemin, visitait les installations d'ABB en Suisse. En 2004, c'était au tour du vice-premier ministre, Zeng Peiyan, de découvrir le centre de recherche d'ABB en Suisse alors qu'en 2007, le Président chinois, Hu Jintao, visitait l'usine ABB de transformateurs de Chongqing.

Cet engagement de longue date est concrétisé par le nombre impressionnant de grands contrats remportés par ABB en Chine **Encadré**.

Une présence pérenne

ABB a vocation à rester en Chine et à prendre une part active à sa modernisation. Pour accompagner son développement économique, les dépenses d'infrastructures devraient continuer d'augmenter à un rythme annuel de 8 à 10 %. D'ici à 2011, 335 milliards de dollars vont être consacrés à des projets majeurs dans les secteurs du transport ferroviaire, de l'énergie éolienne, du gaz et de l'eau. L'activité industrielle devrait égale-

ment connaître une forte croissance. A elle seule, la production d'acier augmentera de 45 % pour atteindre 600 millions de tonnes en 2015. Ce secteur privilégie l'énergie, la productivité et la qualité des produits, des exigences en adéquation parfaite avec l'offre ABB.

L'urbanisation rapide, la hausse du niveau de vie et les besoins en électricité vont également tirer le marché. Dans ce contexte, la stratégie d'ABB en Chine se résume en cinq points :

- Forte croissance organique ;
- Investissements majeurs dans de nouvelles gammes de produits et de nouveaux moyens de production, de même que création d'autres coentreprises ;
- Mise à profit des écarts de coûts ;
- Intensification des activités de R&D en liaison avec le réseau mondial de laboratoires ABB ;
- Développement de hauts potentiels et d'un personnel local très qualifié.

Après un siècle de présence en Chine, ABB peut s'enorgueillir d'avoir contribué à la modernisation du pays grâce à une offre de produits et de services adaptés spécifiquement au marché chinois ; le Groupe se réjouit de continuer à aider le pays à atteindre ses objectifs d'efficacité énergétique et de développement durable.

3 Stade en forme de nid d'oiseaux de Beijing

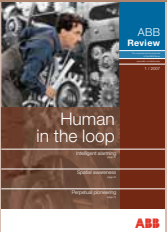


Franklin-Qi Wang

ABB (China) Ltd
Beijing (Chine)
franklin-qi.wang@cn.abb.com

Note

¹⁾ Pour en savoir plus sur ABB en Chine, cf. **Eliasson B., & Lee Y. Y.** (Eds.), 2003, *Integrated Assessment of Sustainable Energy Systems in China: The China Energy Technology Program*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

			
1/2007 : L'homme dans la chaîne d'automatisation		3/2007 : Stratégies de collaboration	
L'homme dans la chaîne d'automatisation	6	L'innovation dans tous ses états	6
Le calme après la tempête	11	Couplé gagnant	9
ABB galvanise la performance industrielle	16	Jamais sans mon client !	11
Sous bonne garde	20	Une collaboration fructueuse	15
Des performances au sommet	24	Stratégie d'anticipation	18
L'homme de la situation	30	Alkylation à l'acide fluorhydrique	22
Navigation à « vues »	34	Soif de technologie	27
La productivité sur grand écran	37	En douceur...	31
Aux commandes du futur	40	L'union fait la stabilité	34
Mater le maillon faible	44	Commande et protection de la distribution électrique	39
Plus simple la VEV !	49	Déjouer les liaisons dangereuses	42
Habitat intelligent	53	Un bolide en toute sécurité	46
Nette amélioration en perspective	56	Alliance technologique au sommet	50
Semi-conducteurs de puissance (2ème partie)	62	Bien huilé !	53
Expression orale	67	Quand le temps presse	58
La bonne touche !	70	Maître soudeur	63
ABB, éternel pionnier	73	Affaire de spécialistes	65
Le disjoncteur	75	Effet d'entraînement	68
		Intégration des opérations	72
		Le dessous des boucles	76
		ABB et le transformateur	80
			
2/2007 : Efficacité énergétique		4/2007 : Planète Innovations	
Enjeux et vecteurs de changement	6	2007, année féconde	6
2015 – Retour vers le futur	11	Traitement de faveur	12
Des autoroutes de l'énergie	14	Nos disjoncteurs d'alternateur prennent le frais	18
Le réseau de grand transport réconcilie alternatif et continu	22	Question de doigté	22
Problème de congestion ? Venons-en aux FACTS !	28	Onduleurs de tension multiniveaux	26
Souffler n'est pas jouer	33	L'intégration en tête d'affiche	32
Optimisation sur toute la ligne	39	Célérité et qualité bien ordonnées	27
OPTIMAX™	44	Votre usine sur écoute	42
Championne toutes catégories	45	Essais transformés sur site avec TrafoSiteRepair™	45
ABB lamine les coûts énergétiques	49	Intégration sur ordonnance	49
Avis d'expert	53	Performance au top, pollution en baisse	53
Plus propre, plus productif	58	Le grand bleu se met au vert	58
Carburants verts : un écobilan en demi-teintes	62	Une alimentation nickel pour produire l'aluminium !	62
Un vent d'énergie souffle sur l'océan	69	Plus sobre, moins polluant	66
Les variateurs de vitesse au rendez-vous de l'efficacité énergétique	73	Détection de mouvement	70
Moteurs à haut rendement énergétique	81	100 ans !	74
Il était une fois... le turbocompresseur	85		

Rédaction

Peter Terwiesch
Chief Technology Officer
Group R&D and Technology

Clarissa Haller
Corporate Communications

Ron Popper
Sustainability

Frank Duggan
Head of Group Account Management

Friedrich Pinnekamp
Chief Editor ABB Review,
Group R&D and Technology
friedrich.pinnekamp@ch.abb.com

Edition

ABB Schweiz AG
Corporate Research
ABB Review/REV
CH-5405 Baden-Dättwil
Suisse

La *Revue ABB* paraît quatre fois par an en anglais, français, allemand, espagnol, chinois et russe.

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

La *Revue ABB* 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.

Editeur © 2007
ABB 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

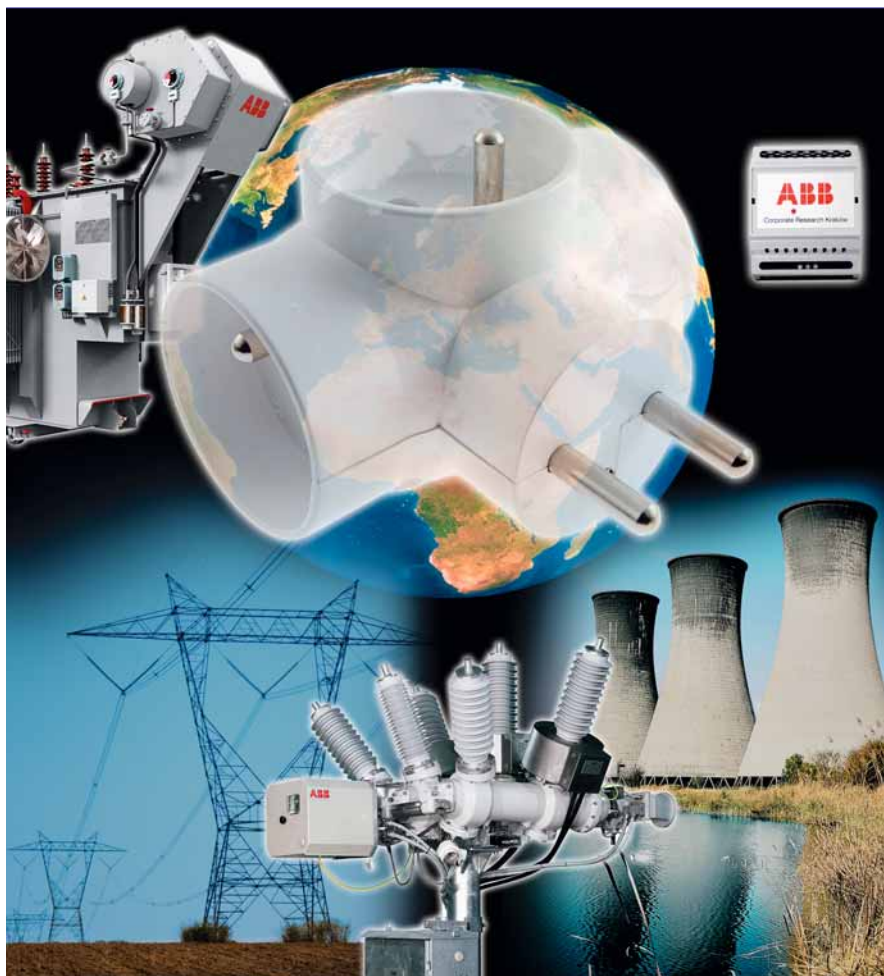
Avertissement

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

ISSN: 1013-3127

www.abb.com/abbreview

Dans le numéro 1/2008



Sous la prise électrique, la technologie

La prise électrique est l'ultime maillon d'une longue chaîne de transformation. De la mine de charbon à l'éolienne, du transport ferroviaire à l'éclairage électrique, les technologies ABB sont présentes chaque fois qu'il s'agit de produire, d'acheminer et d'exploiter le plus efficacement l'énergie.

Nous ferons le point sur les récentes avancées dans le domaine des équipements et des systèmes électriques, tous niveaux de tension confondus – dis-

joncteurs, transformateurs, réseaux de transport et de distribution, centrales de production – et verrons pourquoi l'efficacité énergétique est plus que jamais d'actualité.

Nous donnerons une vision de l'avenir de la filière électrique, du producteur au consommateur, où les systèmes de distribution intelligents et les technologies avancées de transport arrivent en force.

ABB is a leader in energy-saving technology:
minimum energy, maximum result!



ABB's energy-saving automation solutions support our goal to build a resource efficient society, whilst improving productivity. For further information, please visit www.abb.com