

# Revue ABB

Revue de l'actualité technologique  
du Groupe ABB

[www.abb.com/abbreview](http://www.abb.com/abbreview)

3 / 2007

## Stratégies de collaboration

L'innovation dans tous ses états

Page 6

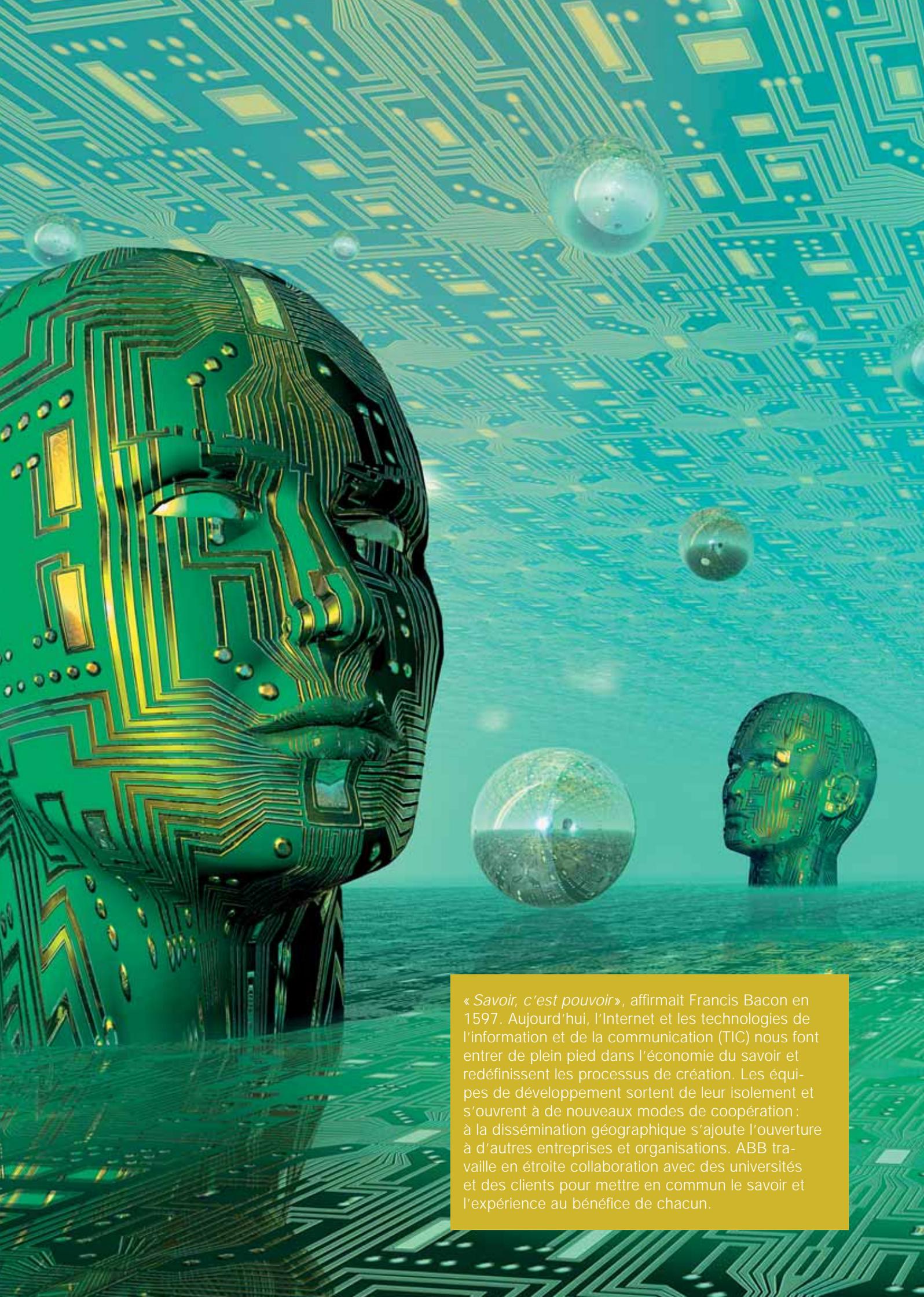
Démarrer en douceur . . .

Page 31

L'union fait la stabilité

Page 34

**ABB**



« *Savoir, c'est pouvoir* », affirmait Francis Bacon en 1597. Aujourd'hui, l'Internet et les technologies de l'information et de la communication (TIC) nous font entrer de plein pied dans l'économie du savoir et redéfinissent les processus de création. Les équipes de développement sortent de leur isolement et s'ouvrent à de nouveaux modes de coopération : à la dissémination géographique s'ajoute l'ouverture à d'autres entreprises et organisations. ABB travaille en étroite collaboration avec des universités et des clients pour mettre en commun le savoir et l'expérience au bénéfice de chacun.



**Peter Terwiesch:** « Pour rester dans le peloton de tête, nous devons consolider notre savoir, repousser les limites du possible et comprendre les futurs besoins. »



**Frank Duggan:** « ABB est leader incontesté sur la plupart des marchés de ses métiers de base. Chercher à mieux comprendre les besoins de nos clients est la clé de la réussite de nos produits. »

## Collaboration : obligation de résultats

Ce numéro de la *Revue ABB* est consacré à un principe fondamental de l'entreprise moderne : la collaboration. Si le dictionnaire la définit comme un *travail en commun*, chez ABB, nous lui associons un triptyque indissociable : savoir, partage, réussite.

Bon nombre des innovations majeures d'ABB sont le fruit d'un partenariat étroit avec ses clients. De l'idée au produit, cette concertation permet à chacun d'exprimer ses attentes et d'avancer des solutions de progrès, qu'il s'agit ensuite de tester et de parfaire, bien avant leur mise sur le marché. Permettre à des développeurs d'appréhender le produit sous l'angle du client contribue à mieux adapter les processus de «recherche-innovation-développement» aux besoins réels. C'est aussi le moyen d'être plus à l'affût et à l'écoute des desiderata du client final. Aussi ces projets ont-ils souvent étoffé l'offre produits d'ABB, au bénéfice d'autres clients.

Si le Groupe fait front commun avec sa clientèle, il tisse également des partenariats avec ses fournisseurs. Sachant qu'une entreprise prospère mise avant tout sur des atouts technologiques «métier», ces accords de coopération sont l'occasion pour d'autres intervenants de compléter à bon escient l'offre globale de produits et de services d'ABB. Nous savons gré à nos partenaires d'y être parvenu en nous honorant de leur confiance.

La recherche n'échappe pas à la règle : ABB collabore avec plus de 70 prestigieuses universités, dont le *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) et l'université *Carnegie Mellon* aux Etats-Unis, l'*Imperial College* de Londres et l'université chinoise de Tsinghua. Ces apports ne font pas qu'élargir le champ d'action et les facultés de nos chercheurs ; ils réunissent également quelques-uns des «grands esprits» de ce monde dans des projets d'envergure.

Si la coopération a souvent aidé ABB à étrenner des concepts et technologies novateurs, elle a aussi permis d'explorer de nouvelles pistes dans le cadre de projets conjoints. Pour autant, la collaboration à elle seule ne saurait faire une première mondiale ! Derrière toute réussite s'énoncent trois grandes vérités : chercher ensemble, faire œuvre de pionner, partager les acquis.

La première revient à savoir se poser les bonnes questions ; si les parties prenantes d'un projet prennent le temps de

connaître le métier du partenaire et d'en assimiler les contraintes et les enjeux, elles sont bien mieux armées pour identifier les solutions permettant de lever tous les obstacles. La collaboration innovante et productive est affaire de dialogue : chacun doit poser des questions tout en répondant aux interrogations de l'autre. Il faut également prendre le pouls de la situation et maîtriser toutes les composantes du projet. Converser avec l'*alter ego* de l'entreprise partenaire ne suffit pas ; il est impératif d'apprendre d'un large panel d'intervenants.

Jouer le rôle de précurseur oblige ensuite à savoir dépasser, tant dans la réflexion que dans l'action, le périmètre des pratiques traditionnelles. Le principe vaut aussi bien pour chacun des partenaires, à titre individuel, que pour leur relation client-fournisseur globale.

Quant au partage, il vise à diffuser aux autres acteurs de l'innovation les résultats et leçons de l'expérience : c'est l'aptitude à apprendre de ses erreurs mais aussi à cerner les vraies raisons de ses réussites (plutôt que s'en attribuer le seul mérite) et à renouveler les succès ponctuels. Ce partage assoit la position commune de nos partenaires, tirant parti des enseignements d'un projet pour ne pas avoir à réinventer la roue.

Ce numéro entend montrer la réussite de ces préceptes à l'épreuve du terrain. Le Groupe ABB compte quelque 6000 chercheurs et ingénieurs de tous horizons, disciplines et applications. Un nombre modeste comparé aux équipes de recherche de tous nos partenaires confondus ! Nous tenons ici à saluer leur capacité d'innovation qui, au bénéfice de tous, débouche sur les percées technologiques enrichissant notre quotidien... et les colonnes de la *Revue ABB*.

Bonne lecture,

Peter Terwiesch  
Directeur des  
technologies ABB

Frank Duggan  
Responsable  
Grands comptes ABB

# Revue ABB 3/2007

## Stratégies de collaboration

### Collaborer pour innover

**6**  
L'innovation dans tous ses états  
L'analyse scientifique valide une stratégie d'innovation payante.

**9**  
Couplé gagnant  
Les raisons qui obligent les entreprises à collaborer avec la recherche universitaire pour développer leurs produits et leurs services.

**11**  
Jamais sans mon client !  
Faire la distinction entre ce que veut le client et ce dont il a réellement besoin est un vrai travail d'orfèvre.

### Procédés

**15**  
Une collaboration fructueuse  
Une démarche inédite de collaboration bénéficie non seulement aux deux principaux acteurs, mais également à des pans entiers de l'industrie des procédés.

**18**  
Stratégie d'anticipation  
Si la qualité du combustible varie, celle du ciment ne tolère aucune fluctuation. Le système *Expert Optimizer* d'ABB veille au grain !

**22**  
Alkylation à l'acide fluorhydrique  
Un procédé qui contribue à renforcer la sécurité et la rentabilité des raffineries.

**27**  
Soif de technologie  
Pour éteindre sa soif, la ville de Bâle optimise son approvisionnement en eau potable avec le système OPTIMAX® d'ABB.

**31**  
En douceur . . .  
Pour protéger les canalisations des coups de bélier à chaque fois que vous fermez le robinet d'eau, ABB a développé un démarreur très « progressiste ».

### Energie

**34**  
L'union fait la stabilité  
Des partenaires de choix pour aider ABB à contrer les instabilités des vastes réseaux électriques.

**39**  
Commande et protection de la distribution électrique  
Un nouveau relais de protection des lignes moyenne tension

**42**  
Déjouer les liaisons dangereuses  
Une innovation ABB lève la menace des défauts à forte impédance.

**46**  
Un bolide en toute sécurité  
Il fonce . . . le nouveau dispositif ABB de protection rapide des condensateurs série.

**50**  
Alliance technologique au sommet  
Le transformateur à protection-coupure d'ABB répond aux exigences croissantes de fonctionnalités, sécurité et fiabilité dictées par EDF.

**53**  
Bien huilé !  
Une huile végétale innovante qui « transforme » la vie de la filière électrique.

## Automation

58

### Quand le temps presse

Avec la technologie DDC, les lignes d'emboutissage ne confondent pas vitesse et précipitation.

63

### Maître soudeur

L'IRB 6620, un robot léger, agile et dédié aux applications de soudage par points

65

### Affaire de spécialistes

Si un robot généraliste est un touche-à-tout, un spécialiste maîtrise parfaitement son sujet.

68

### Effet d'entraînement

Des entraînements extraordinaires pour des applications qui sortent de l'ordinaire.

72

### Intégration des opérations

Optimisation oblige, un consortium de R&D mené par ABB fédère les opérations du géant pétro-gazier Statoil.

76

### Le dessous des boucles

Qu'une boucle de régulation vacille et c'est toute la production qui défaille : mieux vaut prévenir que guérir.

## ABB, éternel pionnier

80

### ABB et le transformateur

Plus d'un siècle de progrès : toute une histoire!



# L'innovation dans tous ses états

L'analyse scientifique valide une stratégie d'innovation payante

Ellen Enkel

Le client détient une des clés du succès d'une entreprise. En faire un acteur à part entière du processus d'innovation est une des composantes de la démarche de progrès et de la réduction des risques financiers qui accompagnent toute rupture technologique. Plus tôt vous intégrez les connaissances et l'expérience du client dans ce processus, plus l'entreprise peut mobiliser ses ressources en R&D pour satisfaire les attentes de ce dernier. Impliquer

le client dans le processus de R&D permet à l'entreprise de collecter des informations sur ses besoins, de les diffuser en interne et de les traduire en nouveaux produits et services porteurs d'avenir. Des études empiriques montrent que son intégration dans le processus d'innovation est une méthode de plus en plus utilisée pour réduire les risques d'échec des investissements.



En tête des priorités des dirigeants, les innovations radicales présentent un risque spécifique car elles comportent un plus grand degré d'incertitude que les innovations *incrémentales* Encadré. Beaucoup d'éléments entrent en jeu : la nature du produit lui-même, la capacité de l'entreprise à le fabriquer efficacement, son acceptation par le marché et, en fin de compte, sa réussite financière. En même temps, les meilleures pratiques traditionnellement mises en œuvre pour développer des innovations incrémentales (amélioration de l'existant) posent également un défi car à la fois les attributs du nouveau produit et l'environnement futur des innovations de rupture ne sont pas encore connus. Les méthodes traditionnelles de prévision des besoins/attentes des clients et des opportunités du marché, qu'elles soient quantitatives ou qualitatives, se limitent à la compréhension des améliorations des produits. L'interaction à un stade précoce avec les clients, y compris des clients aux besoins similaires et des clients potentiels, aide à mieux appréhender les besoins non exprimés du marché ciblé

ainsi que les besoins futurs des clients et, par conséquent, peut également déboucher sur des innovations *de rupture* **Encadré**.

De fait, les entreprises ont toujours été attentives à impliquer leurs clients pour créer de nouveaux produits. Cette intégration peut se faire de diverses manières et à différentes étapes des activités de R&D. **1** synthétise les modes d'intégration des clients à chaque étape du processus d'innovation et leur contribution selon le profil de chacun **3**.

Ainsi, les *clients demandeurs* favorisent le développement de nouveaux produits qui répondent à leurs besoins. La contribution d'un client demandeur dépend de la capacité de l'entreprise à formaliser la connaissance du client qui est souvent exprimée sous la forme d'insatisfaction et de suggestions. L'insatisfaction découlant le plus souvent de l'utilisation et des caractéristiques de produits existants, elle constitue une source plutôt limitée d'information pour le développement de nouveaux produits. Inversement, le *client de lancement* est intégré dès la phase de développement pour simuler, concevoir ou participer au processus. Le *client de référence* fournit, quant à lui, un retour d'expérience applicative. Le rôle éminemment actif que les clients peuvent jouer pour tester les produits et les prototypes a été mis en évidence par plusieurs

études empiriques. Le *premier acheteur*, toutefois, joue un rôle plus passif dans le processus de développement. Comme décrit dans les modèles de diffusion de l'innovation, un précurseur qui influence fortement la pénétration du marché peut détenir les clés du succès du produit ou du service.

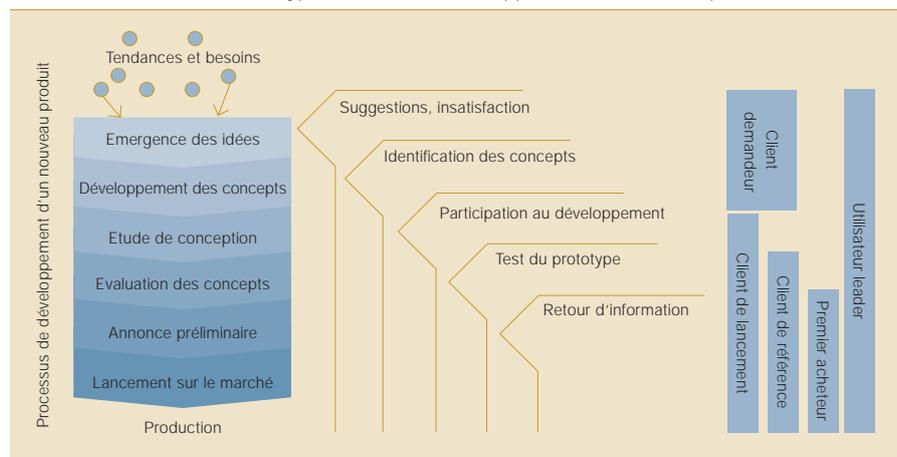
Les clients qui couvrent toutes les étapes du processus de R&D sont la cible privilégiée des projets de coopération. Il s'agit des *utilisateurs leaders*.

Plusieurs études empiriques ont démontré que pour les projets d'innovation s'appuyant sur les utilisateurs leaders, quatre aspects – caractère innovant, chiffre d'affaires escompté, part de marché et importance stratégique – pèsent beaucoup plus lourd que dans les méthodes traditionnelles.

L'approche multi-étape de la méthode de l'utilisateur leader ne se contente pas d'engendrer de nouveaux concepts de produits innovants, mais veut également améliorer et renforcer l'efficacité des équipes pluridisciplinaires de développement des produits.

Enfin, les utilisateurs leaders se démarquent sensiblement des utilisateurs ordinaires du fait que leurs besoins évoluent beaucoup plus vite que ceux de la majorité des clients du marché et qu'ils tirent parti des innovations répondant à ces besoins. Les utilisateurs leaders peuvent ainsi contribuer à différentes sous-étapes de l'avant-projet d'innovation, parfois appelé *Fuzzy front-end* (zone floue). Comme illustré en **2**, la connaissance du client peut être d'un grand secours pour générer des idées, identifier des opportunités et définir des concepts

**1** Contribution des différents types de client au développement de nouveaux produits [1]



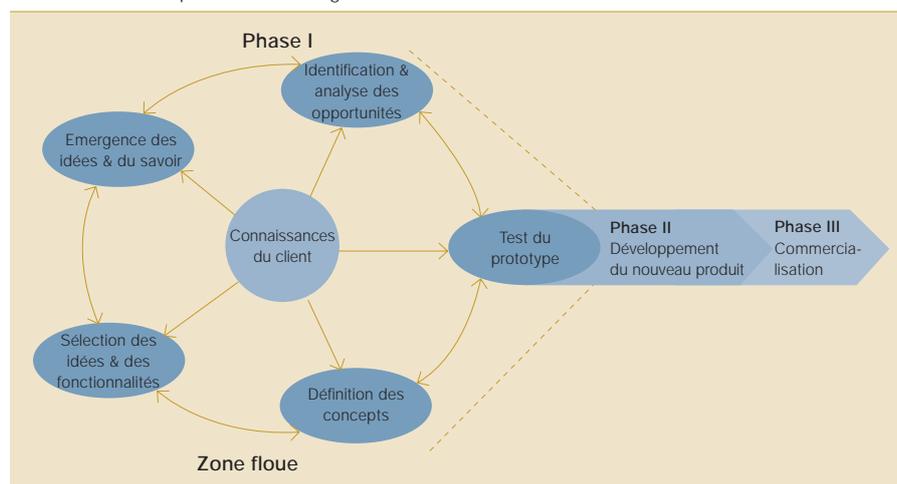
**Encadré** Glossaire de l'innovation

**Innovation radicale ou de rupture** : produit ou système totalement nouveau qui supprime une technologie dominante ou un produit antérieur, et qui crée un nouveau marché.

**Innovation incrémentale** : amélioration apportée à une technologie existante qui satisfait des objectifs à court terme et contribue à maintenir la croissance de l'entreprise.

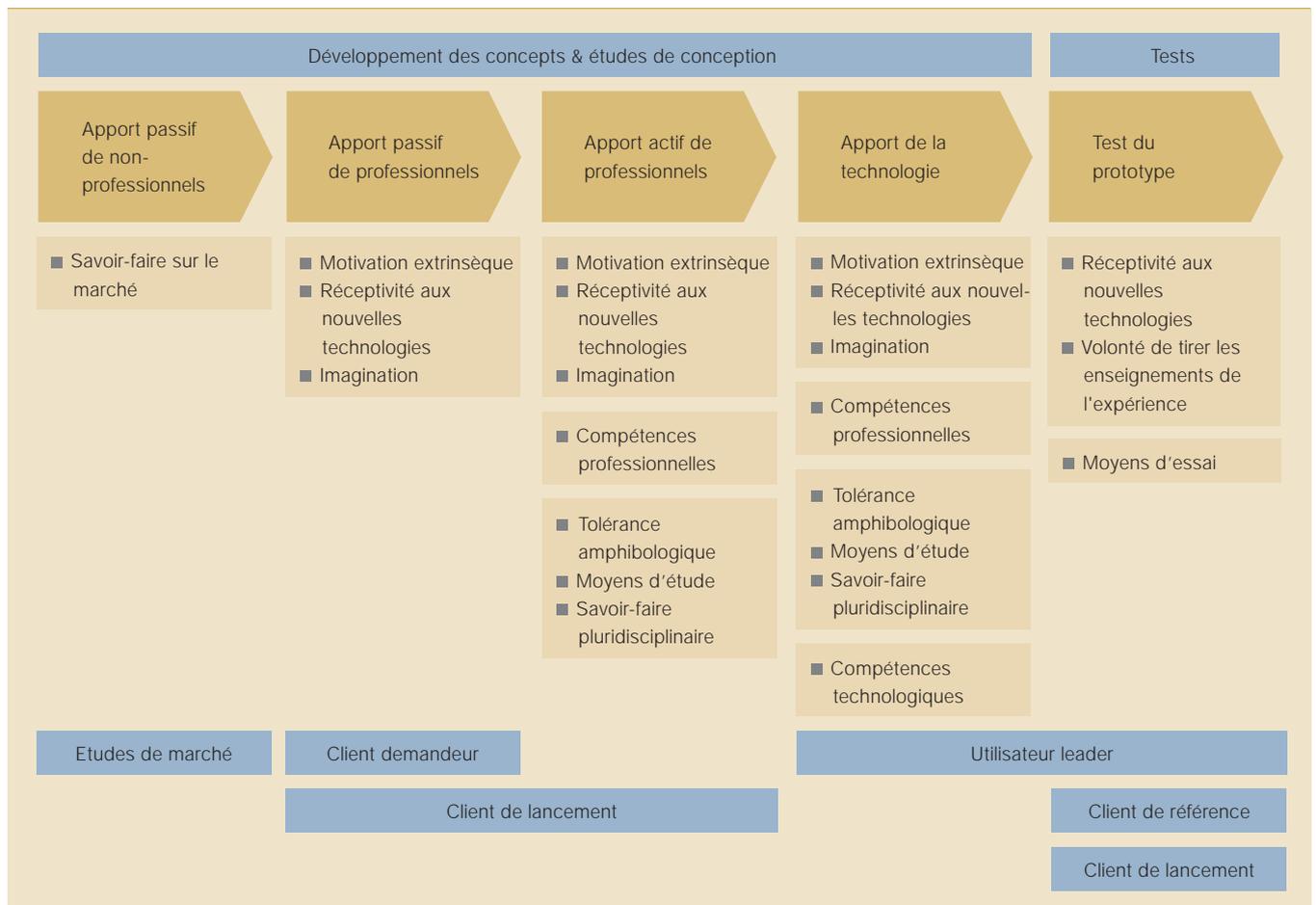
**Innovation ouverte** : achat ou exploitation sous licence de procédés ou technologies développées par des ressources externes ; les méthodes et les procédures spécifiques à ce mode d'innovation ont été développées au cours des cinq dernières années [5].

**2** Zone floue compte tenu de l'intégration des connaissances du client



## Collaborer pour innover

3 Différents profils de clients participant au développement de nouveaux produits [1]

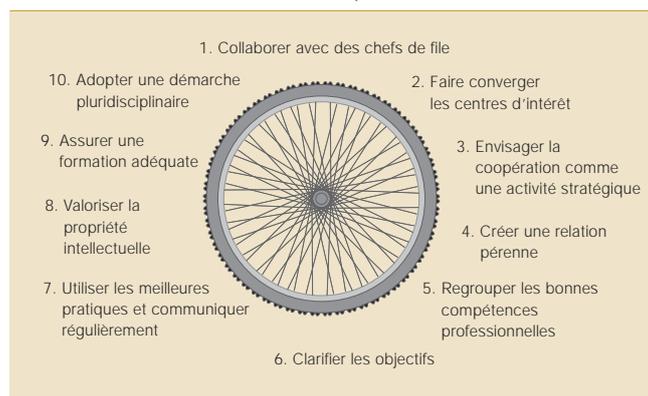


pour les futurs produits, procédés/processus ou services.

L'intégration de ressources externes – non seulement des clients, mais également des universités et des organismes publics de recherche – a donné naissance à une nouvelle discipline prometteuse baptisée *innovation ouverte* <sup>Encadré</sup>. Les aspects pratiques et les principes directeurs développés pour le modèle d'innovation ouverte peuvent également être appliqués à la relation client <sup>4</sup> [2].

Conclure de véritables partenariats ne s'improvise pas. A défaut, vous risquez de perdre votre savoir-faire, de dépendre des clients, de vous cantonner à des innovations incrémentales ou de ne servir que des marchés de niche [3, 4].

4 Les dix commandements de la coopération en R&D



Pour autant, en suivant les conseils de cet article et en appliquant les meilleures pratiques, les risques inhérents à la coopération avec les clients deviennent négligeables et les opportunités considérables.

**Ellen Enkel**  
Responsable du *Competence Centre Open Innovation* de l'université de Saint Gall (Suisse)  
ellen.enkel@unisg.ch

### Bibliographie

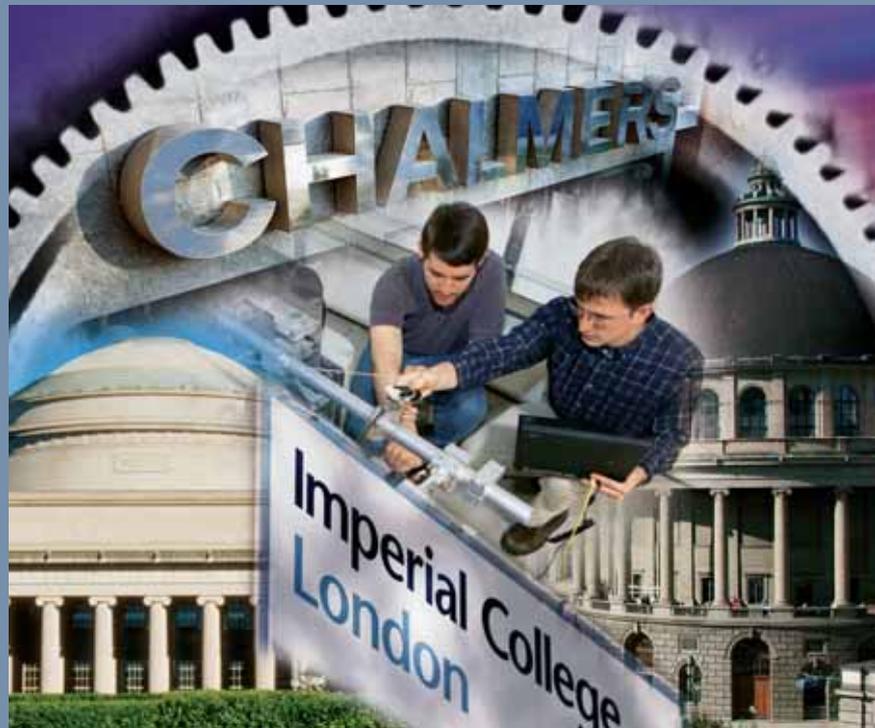
- [1] Enkel, E., Prez-Freije, J., Gassmann, O., *Minimizing Market Risks through Customer Integration in NPD. Learnings from a bad practice.* Creativity and Innovation Management, Vol. 14 (4), p. 425-437 (2005)
- [2] Gassmann, O., Kausch, Ch., Enkel, E., *A study of negative side effects of customer integration.* International Journal of Technology Management, 2007 (en préparation)
- [3] *Responsible Partnering: a handbook* composed by EIRMA, EARTO, ProTon and EUA, www.eirma.asso.fr
- [4] Enkel, E., Kausch, Ch., Gassmann, O., *Managing the risk of customer integration;* European Management Journal Vol 23,2, pp. 203-213, April 2005
- [5] Enkel, E., Gassmann, O., *Driving Open Innovation in the Front End. The IBM Case.* International Journal of Technology Management, 2008 (en préparation)

# Couplé gagnant

La recherche industrielle, trait d'union entre le marché et la technologie

Friedrich Pinnekamp

Aujourd'hui, le monde n'a jamais compté autant de scientifiques. Mieux informés et plus pointus que jamais dans leur domaine d'expertise, ils inventent et innover à un rythme exponentiel. Encourager les partenariats université-entreprise dans la recherche scientifique est désormais une impérieuse nécessité pour soutenir le processus d'innovation et transformer les grandes idées en grandes inventions pour la collectivité. C'est pourquoi les laboratoires de recherche industriels doivent non seulement avoir un pied chez les clients, mais également être présents sur les campus universitaires.



La collaboration université-industrie pour but ultime de repousser les frontières du savoir et de le transformer en nouveaux produits, procédés et services. C'est l'innovation scientifique et technologique qui nous permet de relever les grands défis techniques de notre époque pour améliorer notre avenir à tous [1].

Or, pour récolter les bénéfices de ce savoir et créer des emplois et de la richesse, il ne suffit pas de «chercher» et de mener des politiques de recherche. Encore faut-il des entrepreneurs pour valoriser cette recherche et encourager le dialogue avec les chercheurs.

A long terme, seule l'innovation scientifique et technologique permettra aux entreprises de réussir dans le jeu concurrentiel international. Collaborer avec la recherche universitaire devient donc une composante intégrante des processus de développement de leurs produits et services.

Au cours de la décennie passée, ce mode de pensée a fait son chemin dans les labos industriels et le Groupe ABB est fier d'en être un des précurseurs. En réalité, ABB affiche une longue tradition de collaboration avec la recherche universitaire mondiale. Nous entretenons des relations avec

plus de 50 universités de renommée internationale aux Etats-Unis, en Europe et en Asie, dont une grande partie est à la pointe du progrès dans leurs domaines de spécialité. Nous présentons brièvement six en [Encadré](#).

Par une politique délibérée d'«innovation ouverte», non seulement ABB intègre le meilleur de la technologie dans ses produits, mais draine également les meilleurs talents qui rejoignent nos équipes de R&D. Parallèlement, nous aidons les universités à identifier des pistes de recherche bénéfique à l'ensemble de la société. Un tel couplage industrie-université

## Collaborer pour innover



**Encadré** Quelques-unes des universités avec lesquelles ABB a passé des contrats de collaboration.

#### Carnegie Mellon (Pittsburgh, USA)

L'université Carnegie Mellon est mondialement connue pour ses programmes en informatique. Avec IBM, elle est à l'origine du célèbre *Andrew File System*. Michael « Fuzzy » Mauldin y développa le moteur de recherche révolutionnaire Lycos. Par ailleurs, le corps enseignant de Carnegie Mellon travaille avec le Japonais Sony sur les robots AIBO et autres robots domestiques et de compagnie.

Le *College of Engineering*, plus particulièrement son département de génie informatique et électrique, se classe toujours parmi les meilleurs au monde.

#### RWTH (Aix-la-Chapelle, Allemagne)

L'université allemande RWTH est à la pointe de la recherche mondiale dans de nombreux domaines, notamment l'énergie, les systèmes électriques, les sciences de l'ingénieur, les matériaux et les technologies de production, etc.

Grâce à cette expertise, elle travaille avec l'industrie pour développer, entre autres, des modèles physiques et des outils de simulation, et mène des études de longue haleine sur le futur du système électrique allemand.

#### Université de technologie Chalmers (Suède)

L'université de Chalmers possède un savoir-faire spécial dans de nombreux domaines, notamment la combustion et la catalyse, l'électronique et la sécurité automobile, de même que la conception et le comportement dynamique.

L'*Alliance for Global Sustainability (AGS)* est un partenariat international unique entre l'industrie et quatre des plus prestigieuses universités des sciences et technologies au monde. Les équipes de recherche ont recueilli de nouvelles informations sur des aspects critiques du développement durable dans les domaines de l'énergie et du climat, de la mobilité, des systèmes urbains, de l'eau et de l'agriculture, des technologies propres et des communications.

#### Institut fédéral suisse de technologie ETH (Zurich, Suisse)

Des recherches sont actuellement menées sur les matériaux en collaboration avec de grandes entreprises suisses et internationales des secteurs suivants : pharmacie, ingénierie, matériels informatiques, énergie, matériaux, chimie de spécialité, agro-alimentaire, implants biomédicaux et techniques de diagnostic.

L'Institut s'intéresse également aux problèmes énergétiques et aux technologies de l'automatisation.

#### Imperial College (Londres, Royaume-Uni)

L'Imperial College se distingue par son expertise dans le traitement et la gestion de l'information, la recherche sur les systèmes, l'aéronautique, les structures et les matériaux. Les chercheurs œuvrant dans le domaine de l'énergie collaborent avec de nombreuses entreprises, dont Shell sur des programmes d'exploration-production-transformation dans une perspective de développement durable.

#### Université Tsinghua (Beijing, Chine)

L'université de Tsinghua joue un rôle majeur dans l'ambition chinoise en matière d'innovation technologique. Au fil des ans, elle s'est beaucoup investie dans des partenariats internationaux de R&D avec de grandes entreprises mondiales et a su exploiter ses ressources limitées pour mener une R&D porteuse notamment dans les domaines de la production, du transport et de la distribution d'énergie électrique. L'université de Tsinghua collabore avec ABB sur les problèmes d'interconnexion des réseaux régionaux chinois.

ne peut que stimuler l'innovation et contribuer à la croissance mondiale.

Les universités partenaires aux Etats-Unis, en Europe et en Asie collaborent étroitement avec les centres de recherche ABB à travers le monde. Cette collaboration couvre, par exemple, le développement de nouveaux procédés industriels et la recherche sur les réseaux électriques, les matériaux avancés, les réseaux sans fil, les systèmes de contrôle-

commande, les interfaces homme-machine, etc.

Pour ABB, développer des relations avec les grandes universités mondiales est un élément clé de sa stratégie de R&D. Cette mutualisation des idées et des informations lui donne accès aux dernières avancées dans les technologies émergentes et l'aide à développer des solutions concurrentielles au profit de ses clients et porteuses de progrès social.

#### Friedrich Pinnekamp

ABB Ltd, ABB Review  
Zurich (Suisse)  
friedrich.pinnekamp@ch.abb.com

#### Bibliographie

- [1] Leffler, N., Koerbaeher, C., *Collaboration université-industrie*, Revue ABB 2/2005, p. 22-28

# Jamais sans mon client!

Les clients sont partie prenante du processus de développement des produits ABB  
Peter Lindgren, Jari Sunttila, Ilpo Ruohonen

Chez ABB, le développement de nouveaux produits obéit à une méthodologie rigoureuse. Dans le cas d'un variateur de vitesse, par exemple, deux ans et demi peuvent s'écouler entre la définition du concept initial et la commercialisation. Entre-temps, les développeurs n'auront de cesse d'analyser le marché pour comprendre ce que les clients attendent réellement d'un nouveau variateur.

C'est là un travail d'orfèvre car les clients privilégient leurs contraintes applicatives et aiment se voir proposer un produit taillé à leurs mesures.

## Collaborer pour innover

Le développement de produits et le pilotage de projets de R&D technologique au sein d'ABB respectent une méthodologie formalisée (*Gate Model*) <sup>1</sup> de suivi, contrôle et validation en 8 étapes (G0 à G7), le passage à l'étape suivante n'étant autorisé qu'après avoir mené à bonne fin toutes les tâches de l'étape précédente.

C'est au terme de chaque étape qu'est prise la décision de poursuivre ou d'arrêter le projet :

- Etape G0 : lancement du projet
- Etape G1 : finalisation du plan du projet
- Etape G2 : début de l'exécution du projet
- Etape G3 : confirmation de l'exécution
- Etape G4 : introduction du produit
- Etape G5 : lancement du produit sur le marché
- Etape G6 : clôture du projet
- Etape G7 : bilan

Ces bilans d'étape se font sur des critères définis : avantages, état d'avancement, ressources, technologie et risques. La participation des clients, obligatoire à chaque étape, est un des facteurs de réussite du produit.

A certaines étapes, ils font partie intégrante du processus, devant répondre à des questions clé pour la continuité du projet. Exemple :

- *G1* – avons-nous clairement défini le type de produit que nous voulons créer pour le client final et face à la concurrence, et délimité le périmètre du projet?
- *G4* – voulons-nous introduire massivement le produit? Comment réagissent les clients pilotes de la version alpha<sup>1)</sup> dans les domaines d'application retenus?

- *G5* – le produit est-il prêt pour une mise sur le marché générale? Quels sont les retours des sites pilotes de la version bêta<sup>2)</sup>?

Les désirs des clients sont-ils des ordres ?

Aux différentes étapes de la méthode, ABB essaie d'engranger les avis d'un large panel de clients et intervenants : utilisateurs finaux, constructeurs de machines (OEM), intégrateurs de systèmes, distributeurs. Cependant, l'ensemble du développement est directement influencé par la remontée d'informations aux étapes G0 et G1 où il est impératif de faire la distinction entre besoins et désirs d'un client. Il arrive que les concepteurs satisfassent ces besoins d'une manière inédite.

Comprendre ce que les clients attendent réellement d'un nouveau variateur est un travail d'orfèvre car ils privilégient leurs contraintes applicatives et aiment se voir proposer un produit taillé à leurs mesures.

Ainsi, par exemple, un client demandait un variateur compact pour des applications industrielles. Certes, les récents progrès technologiques ont permis de réduire de manière spectaculaire la taille des modules onduleurs, divisant par deux la longueur moyenne des armoires des systèmes *MultiDrive*. Pour encore gagner de la place, les ingénieurs ont conçu des modules très compacts sur roulettes, qui se glissent dans l'armoire du variateur.

Pour un autre projet, l'impossibilité de réduire encore plus la section des câbles électriques en cuivre a incité les ingénieurs ABB à développer un socle de raccordement innovant qui permet d'extraire le module de puissance du variateur pour accéder au câblage.

#### Question de méthode!

Récemment, ABB a lancé une nouvelle génération de petits variateurs hautes performances pour le marché des constructeurs de machines. Baptisé ACSM1, il est destiné aux applications contraignantes de régulation synchronisée de position (*Motion Control*) <sup>2</sup>.

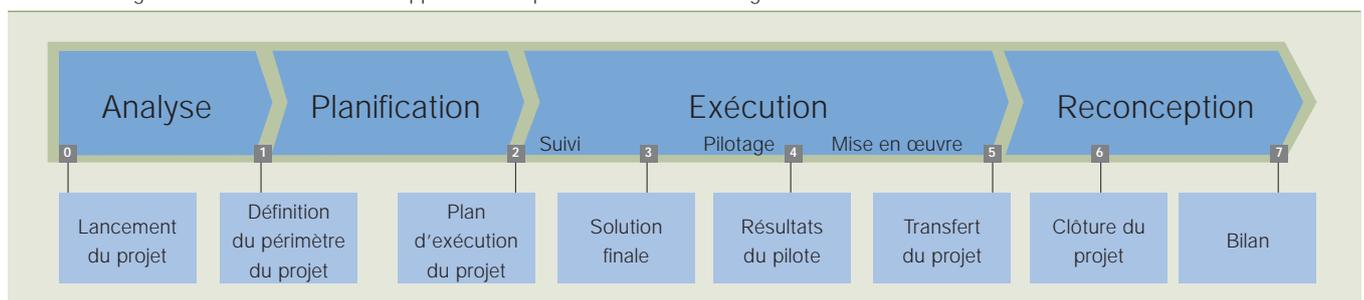
Le concept marque le début d'une ère nouvelle en vitesse variable car l'ACSM1 est apte à piloter plusieurs types de moteur : servomoteurs spéciaux, mais également moteurs asynchrones standards, servomoteurs standards, moteurs synchrones et moteurs à fort couple équipés de différents types de mesure de vitesse et de position.

En plaçant la barre aussi haute, ABB court le risque de proposer au client une trop grande richesse fonctionnelle. Après tout, si un variateur aux performances «servo» peut piloter tous les types de moteur, la quasi-totalité des applications peut être couverte,

#### Encadré 1 UniLift Control Technologies Ltd

Membre du Groupe Pickering's Lifts, cette entreprise indépendante est spécialisée dans la conception, la fabrication, l'installation et la maintenance d'ascenseurs au Royaume-uni (RU) et en Europe. Le Groupe emploie 500 personnes, dont 150 sur son site de production au RU.

#### 1 Méthodologie ABB Gate Model de développement des produits et des technologies



risquant de perdre de vue la cible du projet de développement. Dans tous les cas, aucun client n'est prêt à payer des fonctions qu'il n'utilisera jamais!

Pour éviter ce type de piège lors de l'élaboration d'un produit, ABB fait appel à des clients leaders et des groupes de référence.

#### Travailler avec des clients leaders de leur secteur d'activité

Les ascenseurs constituent un des domaines d'application du variateur hautes performances ACSM1 d'ABB. Pour être sûr de développer les bonnes fonctionnalités, ABB a sollicité l'aide d'un des premiers fabricants mondiaux du secteur, l'Italien UniLift Control Technologies Ltd **Encadré 1** basé à Milan et de son intégrateur de système, Starlift.

### La nouvelle génération de petits variateurs hautes performances ACSM1 d'ABB est destinée aux applications contraignantes de régulation synchronisée de position (*Motion Control*).

Dès l'étape G1 du projet, ABB devait fixer avec précision les fonctionnalités recherchées par UniLift, ses priorités et ce qui était disponible ou non sur le marché. De même, il était important pour ABB de bien comprendre la technologie des ascenseurs, y compris leurs contraintes de fabrication ainsi que la culture et les processus de ce secteur d'activité.

Avant de spécifier l'entraînement dans les moindres détails (variateur + moteur), il est indispensable d'avoir une vision claire du système complet et de l'application. Au niveau système, par exemple, de nombreuses solutions

peuvent être combinées, chacune ayant un impact sur les performances de l'ascenseur.

Dès le début des discussions, il devint évident que de nombreuses fonctionnalités de base du variateur hautes performances d'ABB convenaient déjà aux ascenseurs, notamment :

- Pilotage des moteurs synchrones qui ont de plus en plus les faveurs des constructeurs d'ascenseurs ;
- Deux modes de fonctionnement : régulation de vitesse et de couple d'une part, régulation synchronisée de position de l'autre ;
- Libre choix d'interfaces pour différents types de mesure de vitesse ou de position ;
- Différentes options de communication ;
- Hacheur de freinage<sup>3)</sup> intégré.

D'autres besoins furent également identifiés :

- *Batterie de secours*: indispensable pour ramener la cabine de l'ascenseur à l'étage après une coupure d'électricité ;
- *Fonctions Arrêt sécurisé*: solution économique pour arrêter la cabine de l'ascenseur conformément à la norme EN 81-1.

Outre le fait de renforcer les relations avec le client, le projet conjoint ABB-

UniLift a favorisé l'ouverture d'esprit et la création de fonctions innovantes, notamment quatre à six consignes de vitesse différentes, une rampe en S spécifique (suppression des à-coups) pour certains réglages de vitesse ainsi que le traitement de rapports de réduction et de câblage avec la possibilité d'un réglage direct des paramètres de déplacement de la cabine.

La participation de groupes de référence et de clients leaders aux projets de développement permet à la fois de cibler des domaines d'application et de les élargir.

#### Apport des groupes de référence

En plus des clients externes, ABB réunit des groupes de référence constitués d'un échantillon représentatif de collaborateurs qui sont en contact quotidien avec les clients de différents secteurs d'activité. Ces groupes font ainsi remonter directement les informations du terrain aux équipes de développement produit.

Un groupe de référence, avec des collaborateurs ABB de huit pays, a ainsi été formé pendant le développe-

2 Nouveau variateur ACSM1 d'ABB



#### Notes

<sup>1)</sup> Prototypes fonctionnels élaborés avec des outils de prototypage rapide.

<sup>2)</sup> Prototypes fonctionnels élaborés au moyen d'outils mécaniques et fabriqués sur la ligne de production réelle.

<sup>3)</sup> Sert à dissiper l'énergie de freinage renvoyée sur le bus continu d'un convertisseur de fréquence.

## Collaborer pour innover

ment du variateur industriel ABB à refroidissement liquide. Chaque collaborateur représentait un secteur d'application pour ces variateurs, dont la construction navale, l'énergie éolienne, les plates-formes de production en mer et l'industrie papetière.

Parmi les conclusions du groupe, citons les besoins de compacité exprimés par plusieurs industriels confrontés à des contraintes de place : applications offshore, construction navale, engins de levage et nacelles d'éolienne.

Autre exigence : un hacheur de freinage<sup>3)</sup> à la fois plus petit et plus puissant. En effet, celui des précédentes générations de variateurs était trop encombrant pour s'insérer dans des espaces exigus ; parallèlement, le marché demandait des puissances allant jusqu'à 5600 kW.

### A l'écoute des clients

Les performances de base et les fonctionnalités promises des nouveaux produits doivent être intégralement validées par le client et par ABB, aux bénéfices des deux parties.

Dans le cas du variateur ACSM1 d'ABB, UniLift a pu à la fois influencer les spécifications du produit et acquérir une expérience directe des fonctionnalités applicatives.

Pour le gros variateur ABB à refroidissement liquide, le constructeur allemand de foreuses verticales, Herrenknecht Vertical GmbH Encadré 2, a accepté de jouer le rôle de client pilote, augurant du fort potentiel de ce variateur pour sa foreuse verticale hors du commun *Terra Invader 350* (conçue pour les forages géothermiques jusqu'à 6000 m de profondeur).

### Encadré 2 Herrenknecht Vertical

Fondée en 2005, Herrenknecht Vertical est une filiale certifiée ISO 9001 du groupe Herrenknecht, constructeur d'appareils de forage profond silencieux, sûrs, efficaces et fabriqués sur commande pour les forages géothermiques, pétroliers, gaziers et aquifères à des profondeurs de 3500 à 6000 m. L'équipe de spécialistes de Herrenknecht Vertical est épaulée par des partenaires industriels et scientifiques, des experts indépendants ainsi que le Groupe Herrenknecht, fournisseur de premier plan de systèmes et services de percement mécanique de tunnels.

[www.herrenknecht-vertical.de](http://www.herrenknecht-vertical.de) (juin 2007)



La compacité et la puissance du variateur intéressaient particulièrement Herrenknecht Vertical GmbH qui cherchait un système offrant 1 MW de puissance dans moins de 1 m<sup>3</sup> de volume.

### Des avantages à ne pas négliger

La participation de groupes de référence et de clients leaders aux projets de développement permet à la fois de cibler des domaines d'application et de les élargir.

Non seulement les clients apportent un éclairage précieux sur le sujet, mais ils obligent également les ingénieurs et les chercheurs à plus de discipline : étant en permanence confrontés aux besoins des clients, leur travail est plus cadré.

Le fait qu'ABB soit le premier fournisseur mondial de variateurs de vitesse témoigne des relations privilégiées que le Groupe entretient avec ses clients dès la phase de R&D.

Peter Lindgren  
Jari Sunttila  
Ilpo Ruohonen  
ABB Drives Oy  
Helsinki (Finlande)  
[peter.lindgren@fi.abb.com](mailto:peter.lindgren@fi.abb.com)  
[jari.sunttila@fi.abb.com](mailto:jari.sunttila@fi.abb.com)  
[ilpo.ruohonen@fi.abb.com](mailto:ilpo.ruohonen@fi.abb.com)

# Une collaboration fructueuse

Dow Chemical et ABB : des relations porteuses d'avenir qui bénéficient à toute la communauté industrielle

Laura M. Patrick

Le cabinet conseil ARC Advisory Group estime que près de 5 % de la production de l'industrie des procédés – soit l'équivalent de 20 milliards de dollars – sont perdus du fait des arrêts intempestifs. Dans le cadre d'un projet de collaboration à long terme avec le Groupe Dow Chemical, ABB a développé un certain nombre de fonctions et d'outils logiciels qui appliquent quelques-unes des meilleures pratiques du géant de la chimie et permettent à d'autres industriels d'améliorer la sécurité et la productivité de leurs sites tout en minimisant les temps d'arrêt.

Le Groupe Dow Chemical <sup>Encadré</sup> est un leader des sciences et des technologies avec une offre innovante de produits chimiques, plastiques et agricoles, et de services à des grands comptes. Cohérence et pérennité ont toujours été les maîtres mots du pilotage de ses procédés. Entreprise multinationale, il lui importe de toujours exploiter ses différents sites selon les mêmes méthodes pour obtenir la même qualité et le même niveau de fiabilité tout en appliquant les meilleures pratiques [1]. Dans les années 60, un certain nombre de développements technologiques au sein de différentes entités de Dow ont convergé pour déboucher sur une stratégie d'automatisation standardisée et redéployable en phase avec ses objectifs de cohérence, de productivité, de pilotage uniforme de ses procédés et d'innovation avec de très grandes exigences de sécurité. En fait, Dow visait «l'excellence opérationnelle» bien avant que le concept ne soit formalisé par des analystes industriels. «L'excellence opérationnelle englobe la sécurité de l'architecture d'automatisation qui est et reste une priorité pour Dow. C'est même une règle d'or! Protéger les individus, la société et l'environnement ne souffre aucun compromis dans notre culture d'entreprise. Toutes nos usines appliquent en permanence les mêmes règles de sécurité et les mêmes méthodes de production.» [1]

Or, à l'époque, le marché n'offrait aucune solution répondant à ses exi-

## Procédés

gences. C'est ainsi que Dow développa plusieurs solutions « maison », dont un système d'automatisation appelé MOD (*Manufacturing Operating Discipline*).

### Changement de cap

Au fil des ans, le système MOD a permis à l'entreprise de réaliser de formidables gains de productivité. Toutefois, à l'aube de l'an 2000, le chimiste prit conscience qu'il n'était plus rentable de continuer à investir dans des solutions matérielles et logicielles propriétaires. Il décida donc de se recentrer sur son cœur de métier et de s'orienter vers une solution du commerce.

Ce nouveau système devait se plier à des exigences essentielles : pérennité, percée technologique et évolutivité. Le Groupe avait besoin d'un système reflétant sa vision de l'avenir, déployable dans ses usines du monde entier, alliant ouverture et évolutivité, et fonctionnant sur une plate-forme d'intégration standardisée pour tout site industriel. De surcroît, l'investissement devait être pérenne car les autres actifs industriels sont censés fonctionner pendant 40 à 50 ans. Enfin, la solution du commerce se devait de satisfaire les besoins croissants de Dow en matière de gestion des connaissances tout en restant fidèle à sa culture technique et industrielle [2].

Sur un cahier des charges répertoriant 400 exigences, 32 critères absolus furent identifiés et qualifiés du sobriquet de « Joyaux de la couronne ». Une courte liste de candidats aptes à satisfaire ces exigences fut dressée ; ABB en faisait partie !

«Après moult présentations et discussions, ABB nous a décrit sa plate-forme Industrial<sup>IT</sup> – technologie au cœur de son système d'automatisation étendue 800xA – et, à l'instant même, nous savions que nous avions trouvé la solution commerciale qui nous permettrait de progresser. La direction prise par ABB concordait parfaitement avec la nôtre. Cette solution

répondait en tous points à nos besoins et respectait nos « Joyaux de la couronne ». La plate-forme ABB nous autorisait à intégrer l'expérience et les enseignements tirés de l'utilisation du système MOD pour aller de l'avant. Mais, si la technologie est un bon sujet de conversation en elle-même, il en faut *beaucoup* plus pour tisser des liens étroits.» [2]

« A présent, notre partenariat va bien au-delà de la relation client-fournisseur. Parfois, il est difficile de distinguer l'un de l'autre; telle est peut-être la vraie définition de la collaboration. »  
Dow Chemical

«Au cours des rencontres ultérieures avec ABB, nous découvrîmes chacun que nous partagions une même vision de l'automatisation : celle d'ABB collait totalement avec notre volonté permanente d'application de nos principes opérationnels. ABB a fait preuve d'un très large esprit d'ouverture en matière de stratégie d'automatisation

et était tout à fait prêt à intégrer notre philosophie dans sa solution « sur étagère ». Il dispose également des ressources indispensables pour développer le système et la technologie, ce qui nous fait défaut en tant qu'industriel. Qui plus est, il possède des centres d'excellence en architecture sécurisée, les moyens pour mettre au point les systèmes et la volonté d'adapter son programme de développement à nos attentes.» [3] Ensemble, ABB et Dow jetèrent les bases d'une réelle démarche de collaboration et créèrent un environnement inédit pour développer avec succès la solution.

### Tisser des liens étroits

Au-delà du contrat de développement formel signé en 2001, les deux parties ont véritablement établi des relations de collaboration qui ont favorisé des activités constantes de développement. Ces liens s'appuyaient sur quatre éléments clés :

- Vision commune
- Confiance mutuelle
- Communication ouverte
- Volonté de confronter les idées de chacun et d'exploiter les différences de vue de façon constructive

«Ces relations n'ont eu de cesse de se renforcer au fil du temps. Au début, chaque entreprise avait sa propre vision de l'automatisation. Dow avec son système MOD 5 et son langage de type FORTRAN, ABB avec sa programmation orientée objet : le choc de deux philosophies différentes. L'affrontement fut le point de départ d'un long processus d'intégration du système 800xA standard d'ABB chez Dow Chemical. Cette intégration supposait un haut degré de confiance et de collaboration qui s'est renforcé au fur et à mesure que chaque partie apprenait à mieux apprécier les compétences de l'autre et que la capacité d'écoute et d'ouverture de chacun progressait. A présent, notre partenariat va bien au-delà de la relation client-fournisseur. Parfois, il est difficile de distinguer l'un de l'autre; telle est peut-être la vraie définition de la collaboration.» [4]



### Le fruit du labeur

La version 5.0 du système d'automatisation étendue Industrial<sup>IT</sup> 800xA, lancée en novembre 2006, intègre de nouvelles fonctions de développement qui permettent aux clients de modifier leurs applications sans arrêt de production ni temps mort, conséquences fréquentes et coûteuses des modifications. Ces nouvelles fonctions incluent les modes multi-utilisateurs et distribués, ainsi que des outils d'évaluation tels que LEG (*Load-Evaluate-GO*). Pour le cabinet conseil ARC, la plupart des arrêts intempestifs pourraient aisément être évités grâce à ce type de fonction [5].

L'outil LEG, développé avec Dow, permet aux clients d'ajouter des programmes, de modifier les configurations et d'effectuer des mises à niveau logicielles en cours de production pour ensuite simuler et évaluer l'impact des modifications sur le procédé de fabrication. Après quoi, le client peut décider de les mettre en œuvre, de les adapter ou de les abandonner. Cet outil réduit de manière significative les risques liés aux modifications applicatives en production et offre des gains de rendement en évitant les arrêts de production, les oublis ou retards de livraison, ainsi que les coûteux temps d'indisponibilité.

Dow a jugé que cette fonction satisfaisait un des critères absolus ; à ce titre, le chimiste a joué un rôle essentiel dans la décision de basculer de son système MOD 5 vers une solution du commerce.

#### Encadré Dow Chemical

Dow Chemical est un groupe diversifié créé en 1897 à Midland, Michigan (USA), à l'origine pour fabriquer et commercialiser des décolorants. L'entreprise annonce un chiffre d'affaires annuel de 49 milliards de dollars pour 43 000 employés à travers le monde. Son mot d'ordre est *Vision of Zero* : zéro incident, zéro blessure, zéro maladie, zéro accident et zéro atteinte à l'environnement. Dow propose un large éventail de produits et de services à ses clients dans plus de 175 pays et des secteurs d'activité très variés : traitement de l'eau, produits alimentaires et pharmaceutiques, peintures, emballages et produits d'hygiène [6].

André Schepens, architecte en systèmes d'automatisation, *Engineering Solutions, Dow Benelux BV*, nous explique la valeur ajoutée de cet outil : «LEG permet de modifier en ligne un système d'automatisation industriel et de faire un contrôle d'intégrité de dernière minute par rapport à la version actuelle de l'application. Le système vous signalant toute modification brusque pouvant avoir un impact sur les appareils de terrain au moment de l'activation de la nouvelle version de l'application, tout problème masqué susceptible de survenir à l'instant même de la transition est détecté. Même la meilleure simulation dynamique des procédés est incapable de fournir des données exactes sur le basculement de l'ancienne vers la nouvelle version d'un programme. Etant donné que la fonction *Evaluate* de LEG signale le problème alors que la sortie est à l'état passif (appareil de terrain non commandé), l'utilisateur peut soit revenir en arrière, soit apporter une correction de dernière minute pour résoudre le problème avant activation. La valeur ajoutée se traduit par une réduction du risque (détérioration des équipements, perte de production...), un rétablissement plus rapide de la production et des modifications moins coûteuses. »

L'outil LEG complète d'autres éléments développés conjointement du système 800xA, notamment la possibilité de fédérer au sein d'une même architecture flexible les fonctions de sécurité et de contrôle-commande

(*800xA High Integrity*), les clients pouvant soit exécuter les deux dans un même contrôleur, soit les séparer au sein d'un même système. On améliore ainsi la disponibilité de l'outil industriel tout en réduisant les risques au niveau de l'ensemble de l'usine avec un environnement hautement intégré pour la gestion de production, la supervision de la sécurité et le suivi de production.

Alors qu'ABB et Dow poursuivent leurs développements conjoints pour aller de l'avant, c'est toute l'industrie des procédés qui profite des nouvelles fonctionnalités d'un système sur étagère. Les principes opérationnels clés de Dow sont désormais intégrés dans nos produits et mis à la disposition d'autres industriels qui peuvent ainsi gagner en sécurité et en productivité. Cette démarche inédite de collaboration client-fournisseur et ces efforts conjoints de développement sont non seulement avantageux pour Dow et ABB, mais également pour des pans entiers de l'industrie des procédés.

*Cet article reprend des passages de la série d'articles Dow/ABB publiée dans Control Magazine, consultable sur [www.controlglobal.com](http://www.controlglobal.com).*

Laura M. Patrick

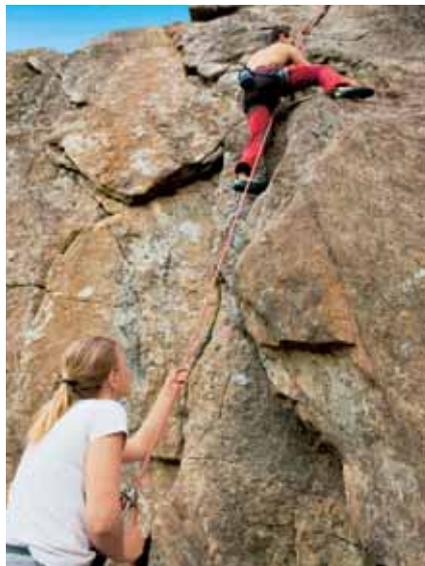
Process Automation

Rochester, NY (USA)

[laura.m.patrick@us.abb.com](mailto:laura.m.patrick@us.abb.com)

#### Bibliographie

- [1] Walker, M., Sederlund, E., Gipson, J., Cosman, E., Dow Chemical Company, *The MOD Squad: Process Automation at Dow*, Control Magazine, February 2006
- [2] Walker, M., Sederlund, E., Gipson, J., Cosman, E., Dow Chemical Company: *At the Crossroads: Process Automation at Dow, Part 2*, Control Magazine, May 2006
- [3] Walker, M., Sederlund, E., Gipson, J., Cosman, E., Dow Chemical Company, *Collaborative Process Control: The Dow/ABB Story*, Control Magazine, November 2006
- [4] Walker, M., Sederlund, E., Gipson, J., Cosman, E., Dow Chemical Company, *Process Control at Dow: Results of the Collaborative Development with ABB*, Control Magazine, July 2007
- [5] ARCwire Industry News, November 10, 2006
- [6] [www.dow.com](http://www.dow.com) (mai 2007)



# Stratégie d'anticipation

Avec *Expert Optimizer*, l'industrie cimentière stabilise et rentabilise ses opérations

Konrad S. Stadler, Eduardo Gallestey

Que faire lorsque la qualité du combustible brûlé par une cimenterie varie alors que la qualité du produit final ne tolère aucune fluctuation ? Telle est la question que se pose l'industriel qui veut utiliser des combustibles de substitution ou incinérer des déchets. Réponse : adopter une stratégie de commande prédictive, à l'instar du joueur d'échecs qui doit anticiper les conséquences de chacun de ses coups.

La production de ciment a la particularité d'être soumise aux contraintes et aux cadres législatifs de marchés régionaux, alors que les usines appartiennent à des sociétés internationales. Les coûts énergétiques étant prépondérants dans le prix de revient du ciment, les industriels cherchent à remplacer les combustibles fossiles par des combustibles de substitution ou des déchets – pneus usagés, carcasses animales, déchets ménagers, etc. – avec, à la clé, une forte réduction des coûts de production. Or cette pratique a ses inconvénients : la qualité fluctuante de ces combustibles déstabilise le procédé de combustion. De plus, la législation anti-pollution sur l'incinération des déchets est beaucoup plus sévère que celle sur la combustion du charbon. Le système d'automatisation est ainsi fortement sollicité pour maintenir la qualité du ciment dans les limites d'exploitation légales.



ABB a conjugué ses efforts à ceux des équipes de la cimenterie de Lägerdorf d'un important client allemand, Holcim, pour limiter l'impact négatif de l'utilisation de combustibles et de matières premières de substitution dans le calcinateur. Le recours à des techniques de régulation pointues a donné des résultats plus que probants, validant un savoir-faire technologique et l'orientation du client.

#### Production du clinker

Le procédé de fabrication du clinker est schématisé en 1.

On distingue de nombreuses configurations de cimenteries. Les plus modernes et les plus performantes en terme d'efficacité énergétique comportent une tour de préchauffage 1a à plusieurs étages de cyclones 1c-f qui récupère la chaleur des gaz de combustion. Dans le précalcinateur 1m, la matière crue est décarbonatée (processus de calcination  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ). La chaleur servant à la réaction endothermique provient des gaz chauds récupérés du four rotatif 1n et des combustibles brûlés dans le précalcinateur. Le cru chaud décarbonaté est enfourné 1n pour sa clinkérisation.

La forte variabilité des combustibles de substitution utilisés par la cimenterie Holcim de Lägerdorf provoque des instabilités dans le procédé de cuisson du clinker [1] où toute fluctuation du degré de décarbonation du cru chaud enfourné affecte la qualité du clinker.

En particulier, une plus faible décarbonation ne peut être compensée par le four rotatif relativement court. Ce degré de décarbonation est largement déterminé par la température dans le calcinateur. Le rapport entre la température du cru et le degré de décarbonation est illustré en 2. Dans l'usine en question, jusqu'à 70% de la chaleur utilisée pour cuire le clinker provient de la combustion de combustibles dans le calcinateur.

Le temps de transport de ces combustibles pouvant atteindre plusieurs minutes, il est impossible de les utiliser comme variables réglantes.

La caractéristique non linéaire de la courbe température-degré de décarbonation indique que lorsque la température augmente, l'intérêt de la décarbonation diminue, réduisant l'efficacité énergétique du procédé. Dans la cimenterie de Lägerdorf, les «cuiseurs» veillent essentiellement à maintenir la température du précalcinateur aux niveaux qui garantissent la qualité requise et, donc, la stabilité du procédé [1]. Or, aux températures élevées du précalcinateur, de nombreux problèmes surviennent : accélération de l'usure du revêtement réfractaire interne des cyclones, interventions de maintenance et de réparation plus

nombreuses, cru plus «collant» et risque accru d'obstruction des cyclones.

#### Projet de R&D

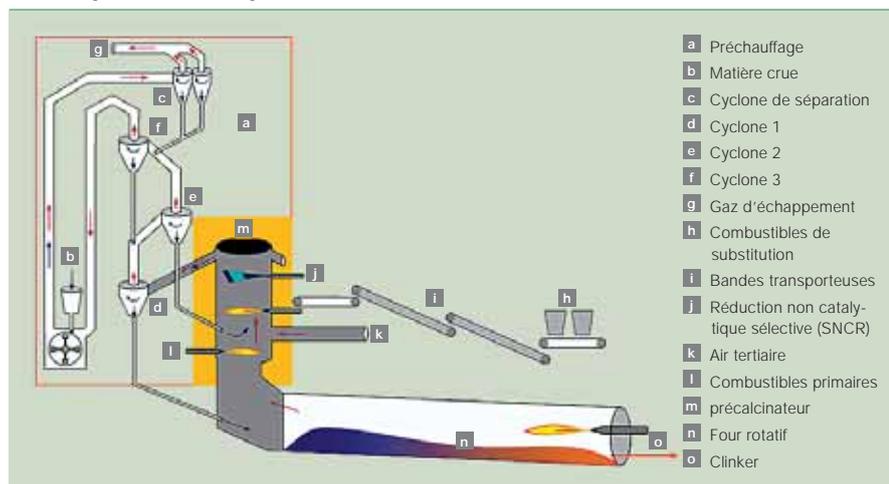
Ces deux dernières années, ABB a conçu et déployé des solutions et applications avancées d'automatisation dans différentes usines à travers le monde. Ses équipes sont en contact permanent avec les clients, cherchant à améliorer les produits pour mieux les servir. Ces systèmes d'automatisation sont mis en œuvre en utilisant la solution logicielle avancée et complète *Expert Optimizer* d'ABB 3 qui simplifie le développement de solutions génériques de résolution de problèmes hautement complexes d'automatisation industrielle [2]. Ces systèmes pilotent en majorité des procédés de mélange, de cuisson et de broyage. Ainsi, au cours de la dernière décennie, 45 systèmes de mélange, 195 fours rotatifs et 90 broyeurs ont été mis en service par ABB.

La régulation du précalcinateur est un «problème» qu'ABB cherchait à résoudre depuis longtemps, à la fois pour aider son client Holcim et pour enrichir son offre. Le projet commun a ainsi été rapidement mis sur les rails.

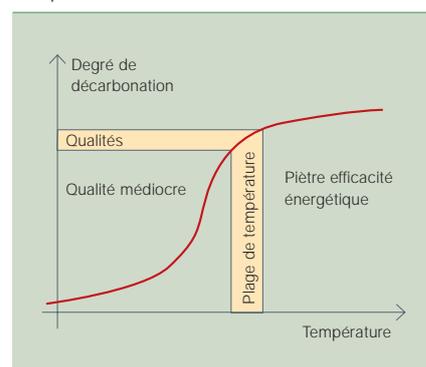
#### La commande MPC, technologie sous-jacente

La commande prédictive par modèle MPC (*Model Predictive Control*) est basée sur le principe de «l'horizon fuyant» : une séquence optimale d'actions évolutive est calculée en tenant compte de la dynamique du procédé 5. Le premier élément de la séquence envoyé au système de régula-

1 Schéma du procédé de fabrication du clinker dans la cimenterie Holcim de Lägerdorf en Allemagne



2 Rapport entre la température et le degré de décarbonation ; la plage de température et les qualités désirées sont mises en évidence.



## Procédés

tion est le nouveau point de consigne des actionneurs. Dès que de nouvelles mesures sont disponibles, l'algorithme est réexécuté et une autre séquence calculée. On peut comparer cette stratégie à celle du joueur d'échecs :

- 1) Il examine la situation sur l'échiquier (mesure et analyse de l'état du procédé) ;
- 2) Il réfléchit à l'enchaînement de ses coups (calcul de la séquence optimale d'actions par l'algorithme mathématique) ;

- 3) Il déplace son premier pion (envoi d'un nouveau point de consigne aux actionneurs).

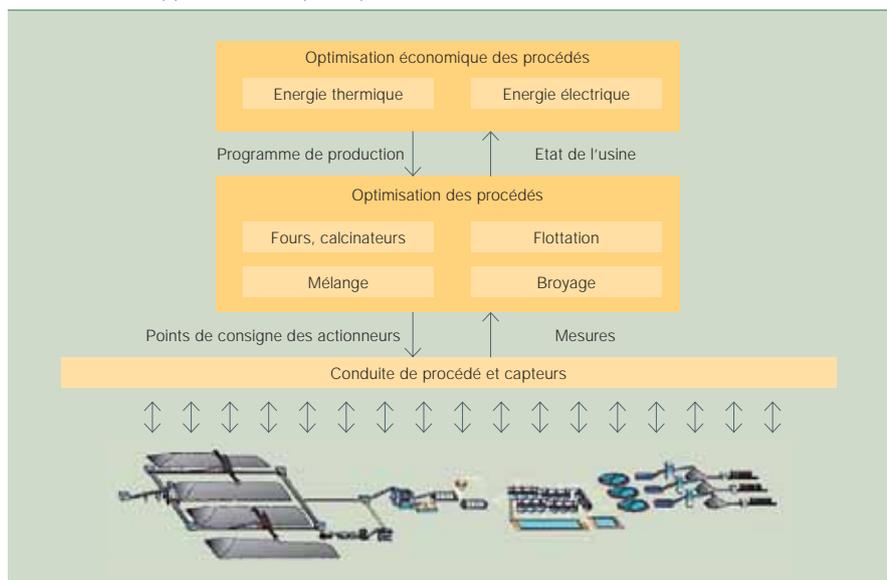
La séquence se répète après le coup de l'adversaire. L'avantage majeur de ce système est que l'algorithme mathématique peut prendre en compte des limites et des contraintes pour établir la séquence optimale d'actions. Par analogie, le joueur d'échecs est limité par la zone de jeu (échiquier) et contraint par les règles du jeu (position des pions).

Si le système *Expert Optimizer* supporte de nombreuses techniques de régulation (y compris la commande MPC), il n'avait jusqu'ici jamais été utilisé pour réguler le procédé de combustion du calcinateur d'une cimenterie.

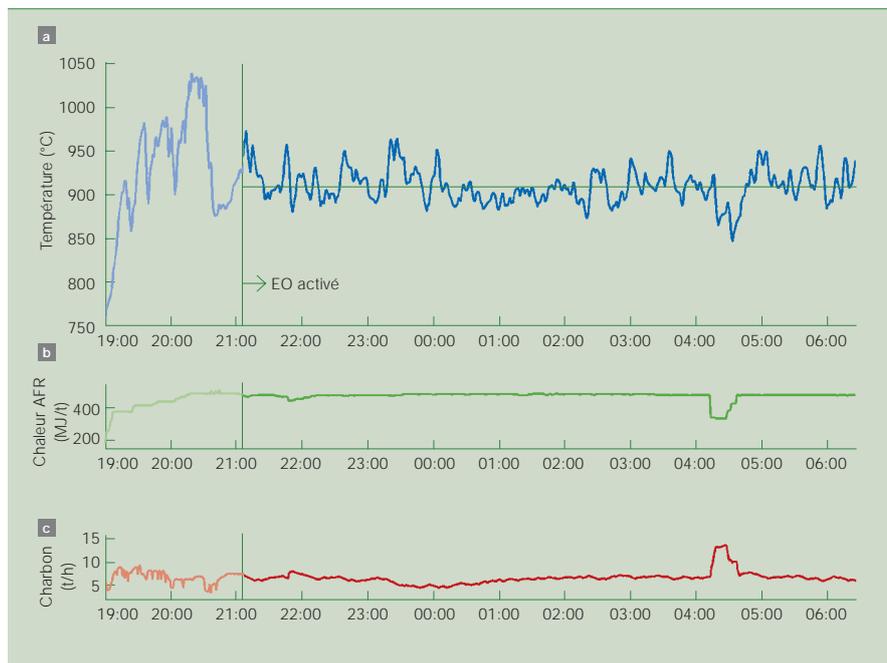
**Formulation et résolution du problème**  
Principal indicateur continu de la qualité du cru chaud, la température du précalcinateur est donc utilisée comme variable de base de régulation. De surcroît, le combustible doit brûler facilement, nécessitant de maintenir les niveaux d'oxygène au-dessus de limites prédéfinies. Enfin, les émissions de monoxyde de carbone doivent rester dans les limites réglementaires, leur dépassement pouvant déclencher le système.

Les combustibles primaires, le plus souvent du charbon, servent de grandeurs réglantes. Dans le cas présent, la cimenterie incinère également des déchets de bonne qualité. Des systèmes pneumatiques assurent le transport de ces deux combustibles jusqu'au précalcinateur et forment l'actionneur le plus rapide du système. Jusqu'à cinq autres combustibles de substitution peuvent être utilisés et acheminés par convoyeurs vers le précalcinateur ; le temps de transport de ces combustibles pouvant atteindre plusieurs minutes, il est impossible de les utiliser comme variables réglantes.

3 Domaines d'application de *Expert Optimizer*



4 Courbes d'exploitation de la cimenterie ; température et température cible **a**, chaleur de la combustion de combustibles de substitution **b**, vitesse d'alimentation de charbon **c**.

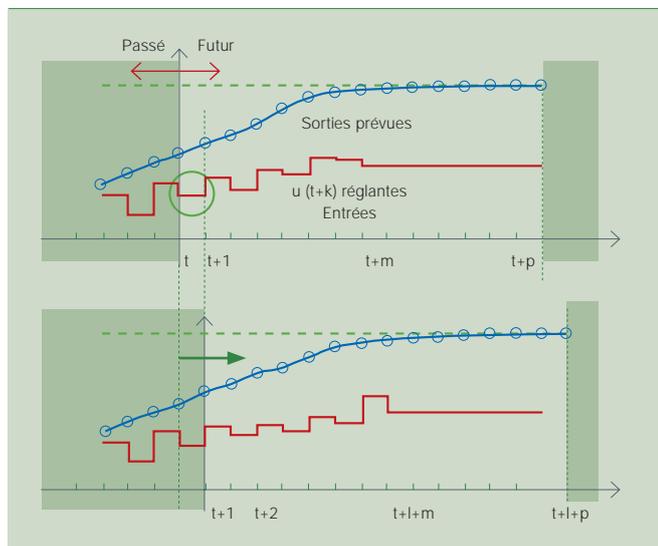


### Modèle mathématique

Le succès de la commande MPC dans l'industrie des procédés s'explique, notamment, par l'intégration directe du modèle mathématique dans la stratégie de régulation. En général, plus le modèle descriptif est précis, plus le régulateur est performant, mais également sensible aux incertitudes du procédé. Dans l'application en question, le degré d'incertitude et la variabilité sont importants. Ainsi, par exemple, le pouvoir calorifique des combustibles de substitution évolue constamment au vu de la composition des déchets alors que les paramètres associés du modèle ne sont actualisés qu'une fois par mois.

Le modèle comprend essentiellement deux parties distinctes : un modèle de transport et un modèle de combustion. Le premier est une série de

5 La régulation MPC est essentiellement basée sur l'horizon glissant. Après chaque échantillonnage, le futur pris en compte dans l'algorithme d'optimisation est modifié en conséquence.



temps unitaires correspondant aux différents temps de transport de chaque dispositif d'alimentation en combustible; le second se subdivise à son tour en deux parties:

- 1) un bilan thermique;
- 2) un bilan d'oxygène.

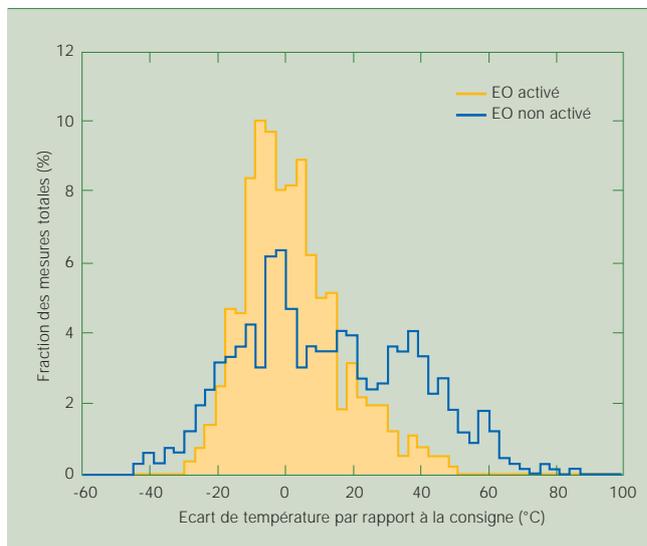
Le bilan thermique tient compte de toute chaleur ajoutée ou soustraite du précalcinateur : complément de combustible, débits de gaz et d'air, débit d'alimentation en cru et réaction de décarbonation (qui consomme énormément de chaleur). La composition changeante du cru fait également varier considérablement la chaleur utilisée pour la décarbonation. Généralement, ces fluctuations de composition sont beaucoup plus lentes que la réaction thermique et peuvent, par conséquent, être saisies avec un terme de biais adaptatif.

Des concepts similaires sont utilisés pour formuler le bilan d'oxygène.

### Résultats

Les enregistrements en 4 montrent l'évolution de plusieurs grandeurs d'exploitation : température et température cible 4a, débit de chaleur d'entrée du modèle de combustion pour tous les combustibles de substitution 4b et principale variable réglante, à savoir la vitesse d'alimentation de charbon 4c.

6 Distribution de l'écart de température pour des périodes en mode automatique (Expert Optimizer – EO – activé) et en mode manuel (EO non activé)



Pour comparer les performances du régulateur à celles des opérateurs, plusieurs périodes aux conditions comparables furent analysées. 6 montre la distribution de l'écart de température.

Le système de régulation donne de meilleurs résultats que les opérateurs. Les températures cibles sont mieux respectées avec moins de variation autour du point de consigne. Cela ne signifie nullement que l'opérateur est superflu, mais qu'il peut être affecté à des tâches plus importantes et qu'un système de régulation est apte à assurer sa mission de base.

### Conclusion

Le régulateur réussit à stabiliser la température sur une valeur cible et à réduire la variabilité de l'écart par rapport à l'objectif fixé. Le site peut alors fonctionner plus près de la limite de qualité, avec une plus grande efficacité énergétique et un moindre risque d'arrêt improductif. Le système de régulation autorise des points de fonctionnement moins stables avec des températures cibles plus basses sans altérer la qualité du produit. De surcroît, en abaissant la température, on réduit le risque d'obstruction des cyclones. L'un dans l'autre, le régulateur protège les équipements et accroît le temps productif.

La réussite de ce projet est à porter au crédit des équipes d'ABB et de celles du client qui, en collaborant étroitement, ont partagé leurs compétences techniques et leur volonté de résoudre le problème.

#### Konrad S. Stadler

ABB Corporate Research  
Baden-Dättwil (Suisse)  
konrad.stadler@ch.abb.com

#### Eduardo Gallestey

ABB Process Automation, Minerals & Printing  
Baden-Dättwil (Suisse)  
eduardo.gallestey@ch.abb.com

#### Bibliographie

- [1] Stadler, K. S., Wolf, B., Gallestey, E., *Model predictive control of the calciner at Holcim's Lägerdorf plant*, ZKG International, vol. 60, no. 03-2007, pp. 60-67, March 2007.
- [2] Castagnoli, D., Kiener, M., Gallestey, E., *Une rentabilité en béton*, Revue ABB 4/2006, p. 59-62

#### Lectures complémentaires

- Bolliger, M., Gallestey, E., Crosley, G., Kiener, M., *Avis d'expert – Des solutions pour améliorer la performance énergétique des cimenteries*, Revue ABB 2/2007, p. 53-57
- Peray, K. E., *The Rotary Cement Kiln*, Second Edition, New York, Chemical Publishing Co. Inc., 1986
- Gallestey, E., Stothert, A., Castagnoli, D., Ferrari-Trecate, G., Morari, M., *Using model predictive control and hybrid systems for optimal scheduling of industrial processes*, at-Automatisierungstechnik, vol. 51, no. 6, pp. 285-294, June 2003

# Alkylation à l'acide fluorhydrique

ABB et ConocoPhillips développent un analyseur innovant et performant pour les raffineurs

Michael B. Simpson, Michael Kester

L'analyseur infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) d'ABB, développé avec ConocoPhillips pour optimiser les unités d'alkylation à l'acide fluorhydrique (HF), permet aux raffineurs d'exploiter plus efficacement et plus sûrement leurs unités d'alkylation HF, tout en réduisant les risques environnementaux et opérationnels.



À l'aube du raffinage de pétrole, dans les années 1920-30, l'essence était fabriquée, pour l'essentiel, à partir de composants obtenus par distillation directe du pétrole brut, les raffineries n'étant alors que de simples chaudières à pétrole. Les premières unités de conversion, assez rudimentaires, réalisaient le reformage thermique des naphthas de première distillation en bases à haut indice d'octane pour une essence de meilleure qualité.

La situation a radicalement changé au cours de la Seconde Guerre mondiale face aux besoins évidents en carburants à haut indice d'octane du transport aérien : à l'époque, les avions militaires étaient principalement équipés de groupes moto-propulseurs alimentés à l'essence à haut indice d'octane et non de turboréacteurs fonctionnant au kérosène.

Ces besoins furent en partie satisfaits par le développement d'un procédé de conversion de raffinage appelé alkylation à l'acide fluorhydrique (HF).

À l'heure où la défense de l'environnement et les carburants propres font la une de l'actualité, les iso-octanes (alkylats) remportent la palme des composants pour essence.

De nos jours, ce procédé important contribue pour une part non négligeable à la composition globale du pool essence. Son importance est allée de pair avec la multiplication des procédés de craquage catalytique fluide (FCC) dans les raffineries pour valoriser les fractions lourdes des distillats du pétrole en les craquant, par catalyse, en produits plus légers comme l'huile de coupe légère (LCO) et l'essence de FCC, utilisés directement ou après hydrotraitement comme composants de mélange du produit final. Seul inconvénient : des oléfines légères (généralement du butène et du propylène), peu valorisables, sont également produites lors du craquage FCC. Il en va de même pour les coupes légères (ex., butane) produites en excès au cours de la distillation du

brut. Le n-butane est facilement converti en isobutane qui, associé aux oléfines  $C_3$  ou  $C_4$  (butène ou propylène) issues du craquage, fournit les charges à l'unité d'alkylation HF.

Cette dernière valorise ces sous-produits en alkylats à très haut indice d'octane entrant dans la composition de l'essence. D'une valeur inestimable, le balayage des oléfines  $C_4$  issues du craquage FCC et des isoalcanes  $C_4$  de la distillation du brut, ainsi que leur conversion par procédé d'alkylation HF (réaction de Friedel-Crafts modifiée) en iso-octanes, demeurent des opérations primordiales pour l'industrie du raffinage.

À l'heure où la défense de l'environnement et les carburants propres font la une de l'actualité, les iso-octanes (alkylats) remportent la palme des composants pour essence. En effet, ne contenant pratiquement pas d'aromatiques et affichant des indices d'octane recherche (IOR) et moteur (IOM) élevés ainsi qu'une teneur en soufre et une tension de vapeur Reid (TVR) faibles, ils constituent des composants parfaits pour l'essence.

Ces 15 dernières années, les agences de protection de l'environnement de la plupart des pays (en commençant par l'Union européenne et les États-Unis) n'ont cessé de renforcer la

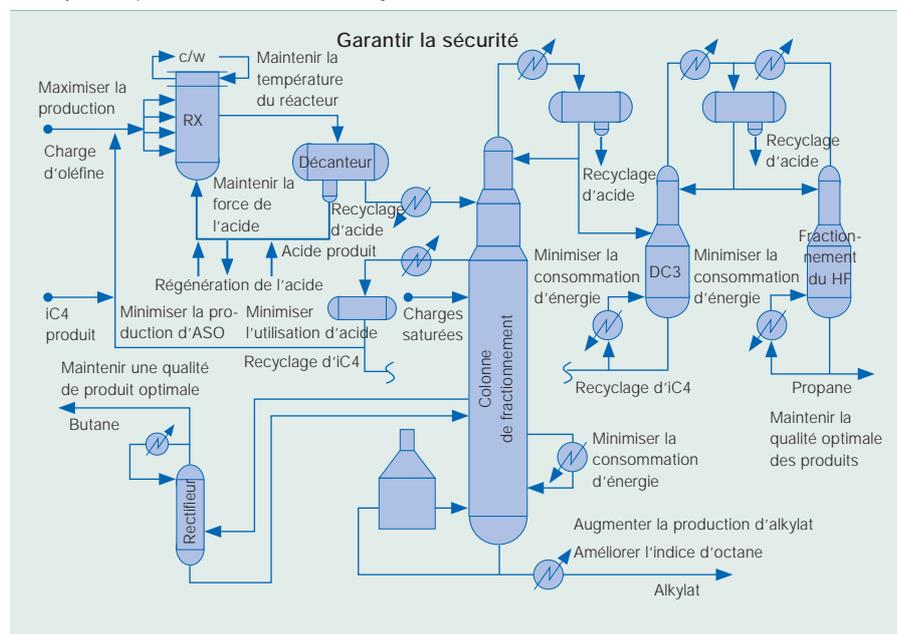
réglementation antipollution sur la formulation de l'essence – baisse de la teneur en soufre, en benzène et en aromatiques, de la TVR et de l'indice d'efficacité de carburation (combinaison de propriétés de distillation) –, limitant considérablement la marge de manœuvre des raffineurs pour la production d'essence.

Récemment, deux éléments ont probablement eu un impact majeur sur le pool essence : l'interdiction du méthyl-tertio-butyl-éther (MTBE), polluant de la nappe phréatique, et l'adjonction de bioéthanol, carburant sans émission nette de carbone. Le MTBE est un composant de l'essence à haut indice d'octane et à faible tension de vapeur. Bien qu'affichant un indice d'octane élevé, l'éthanol contribue considérablement à la TVR, évitant l'emploi de grandes quantités d'isobutane dans le même mélange. L'alkylat produit dans une unité HF revêt donc une importance toute particulière pour les raffineries qui peuvent ainsi satisfaire les contraintes écologiques et réglementaires liées à leurs activités ■.

#### Enjeux technico-économiques

Dans ce contexte, les raffineurs qui exploitent des unités d'alkylation HF sont sous pression croissante pour maximiser leur productivité, améliorer les rendements et la qualité des produits, sécuriser leurs opérations et

1 Objectifs opérationnels de l'unité d'alkylation HF



## Procédés

réduire l'incidence de leurs opérations sur l'environnement. Le durcissement constant de la législation sur l'essence, les pressions du public et la réglementation plus sévère sur l'emploi de l'acide fluorhydrique concourent à améliorer et fiabiliser le fonctionnement des unités d'alkylation HF, et donc à renforcer l'image du secteur et la rentabilité des raffineries.

Exploiter une unité d'alkylation HF n'est pas une sinécure : aux conditions opératoires difficiles s'ajoutent de nombreuses contraintes industrielles et des objectifs opérationnels qui pèsent sur l'ensemble des performances de la raffinerie.

### Conditions opératoires

- Les unités d'alkylation HF fonctionnent avec des charges dont la teneur en impuretés ainsi que la composition et le volume d'hydrocarbures varient de manière systématique du fait de la complexité des opérations amont.
- Les opérateurs ont la lourde tâche de minimiser les coûts de recyclage de l'iC4 et les coûts énergétiques tout en produisant un alkylat de la qualité demandée avec une consommation d'acide minimale.
- Les unités doivent être exploitées en toute sécurité malgré les risques permanents de réactions d'emballement d'acide, de corrosion accélérée des équipements et de dégagements de HF.

A cela se greffent les contraintes de l'industrie du raffinage.

### Contraintes industrielles

- Le nombre croissant d'unités FCC et l'introduction de nouveaux catalyseurs de craquage pour satisfaire les besoins accrus d'essence entraînent une hausse des charges d'alkylat produites.
- L'accroissement continu des capacités d'amélioration et de craquage des résidus rend les charges d'alkylation plus complexes et plus problématiques.
- Le traitement de l'oléfine C<sub>5</sub> fait l'objet d'un intérêt accru car il permet d'intégrer les constituants volatils au pool essence tout en augmentant les volumes de production.

- Le durcissement constant de la législation sur l'essence restreint davantage l'utilisation de certaines bases actuelles.

Chacune de ces contraintes impose davantage de flexibilité aux unités d'alkylation HF qui doivent traiter des charges de plus en plus importantes et hétérogènes sans compromettre l'efficacité des unités et la qualité de l'alkylat. Les caractéristiques de mélange idéales de l'alkylat en font un élément clé pour concilier performances économiques et écologiques des raffineries.

### Objectifs opérationnels

- Optimisation de la qualité des alkylats : les différentes propriétés (IOR, TVR et distillation) d'un alkylat d'unité HF sont essentielles pour son utilisation ultérieure dans le mélange d'essence. Elles varient selon la pureté du catalyseur HF et, plus particulièrement, de sa teneur en eau qui doit se situer dans des bornes précises. La teneur en eau d'un flux recyclé d'acide fluorhydrique est sensible aux événements contaminant la charge qui doivent être identifiés et traités au plus vite ;
- Réduction de la corrosion : l'acide fluorhydrique étant particulièrement corrosif, sa pureté doit être bornée dans des limites basses et sa teneur en eau dans des limites hautes. Le respect de ces bornes augmente les vitesses de chargement/déchargement de l'unité HF, fait chuter les coûts de maintenance et limite les risques de dégagement d'acide fluorhydrique dans l'atmosphère ;
- Consommation d'acide fluorhydrique : les performances d'une unité d'alkylation HF reposent sur la bonne séparation des hydrocarbures du catalyseur dans le décanteur. En cas d'accumulation d'huile acidosoluble (ASO) et de consommation d'acide HF (au détriment de sa force), le procédé peut ne pas aboutir et provoquer la consommation rapide de l'acide restant (réaction d'emballement de l'acide). Ce type d'incident, extrêmement coûteux, est un risque majeur dans les unités d'alkylation HF. Une surveillance étroite de la force de l'acide et du pourcentage d'ASO permet de réduire considérablement la probabilité d'un tel événement.

### Partenariat ABB-ConocoPhillips

Au milieu des années 90, conscient de la nécessité de renforcer la surveillance et le contrôle en ligne du procédé HF, Phillips Petroleum (aujourd'hui ConocoPhillips) se mit en quête d'un partenaire en instrumentation analytique pour développer une solution susceptible d'améliorer la surveillance de ces unités complexes et d'en optimiser les performances. ABB était un fournisseur de premier plan de solutions analytiques FTIR en ligne pour la production d'essence et les applications en aval de l'industrie pétrochimique. C'est ainsi qu'un partenariat entre les deux groupes <sup>Encadré</sup> fut conclu pour développer ensemble une solution d'analyse.

Depuis décembre 2006, le système d'analyse d'acide en ligne équipe près de 20 unités d'alkylation dans le monde et cumule plus de 40 ans d'exploitation.

A l'époque, surveiller les paramètres clés du procédé d'alkylation HF était une opération difficile, impliquant le prélèvement manuel onéreux, lent et potentiellement dangereux d'échantillons d'acide fluorhydrique recirculant pour déterminer, en laboratoire, sa force et le taux de polluants critiques tels que l'eau et les sous-produits de fluoration (ASO).

La mesure de la pureté de l'acide est le paramètre par excellence qui permet de contrôler et d'optimiser le procédé d'alkylation HF, sous réserve qu'elle soit disponible suffisamment tôt pour détecter les dérives du procédé comme les variations transitoires de la force de l'acide et des événements contaminants provoqués par des perturbations en amont, par exemple, lors de la catalyse FCC.

Dès 1996, ABB commença à travailler avec le laboratoire de R&D de Conoco Phillips à Bartlesville (Oklahoma) pour développer un système d'analyse d'acide en ligne. Deux années d'essais et de développement ont alors suivi dans des unités d'alkylation HF pilo-

tes, avec notamment la conception du système d'échantillonnage, les contraintes métallurgiques et le développement d'un modèle. L'analyseur fut ensuite installé dans la raffinerie de Phillips Petroleum de Sweeny (Texas) en mai 1998. Après deux années supplémentaires de tests *in situ* couronnés de succès, la technologie était fin prête pour sa mise en œuvre à l'échelle industrielle. L'analyseur d'acide en ligne fut alors lancé sur le marché de l'alkylation HF en 2000, lors du symposium des licenciés Phillips.

Depuis décembre 2006, le système d'analyse d'acide en ligne équipe près de 20 unités d'alkylation dans le monde et cumule plus de 40 ans d'exploitation. Il est installé dans des unités sous licence ConocoPhillips et UOP en Amérique du Nord et du Sud, en Europe et au Moyen-Orient, et sur des sites exploités par d'autres grands raffineurs.

#### Solution ABB-ConocoPhillips

L'analyseur FTIR, solution innovante, robuste et incontournable pour sur-

veiller et optimiser les unités d'alkylation HF, se distingue par un modèle chimiométrique de précision pré-étalonné des variables requises (force de l'acide HF, % d'eau et % d'ASO) **2**.

Les mesures obtenues avec les techniques de référence classiques en laboratoire sont imprécises et, contrairement aux méthodes traditionnelles d'étalonnage des analyseurs, ne permettent pas de développer un modèle d'étalonnage précis. Heureusement, la composition du flux de recyclage d'acide HF est relativement simple, ce qui a permis à ConocoPhillips de développer le modèle d'étalonnage universel requis à partir d'une méthode normalisée d'étalonnage gravimétrique et de le tester sur un réacteur d'alkylation pilote en laboratoire et en conditions réelles de fonctionnement, mais sans charges d'oléfines pour préserver la composition de l'acide au cours de l'essai.

Les données collectées étaient décisives et ont débouché sur le dépôt d'un brevet, ABB proposant, sous licence,

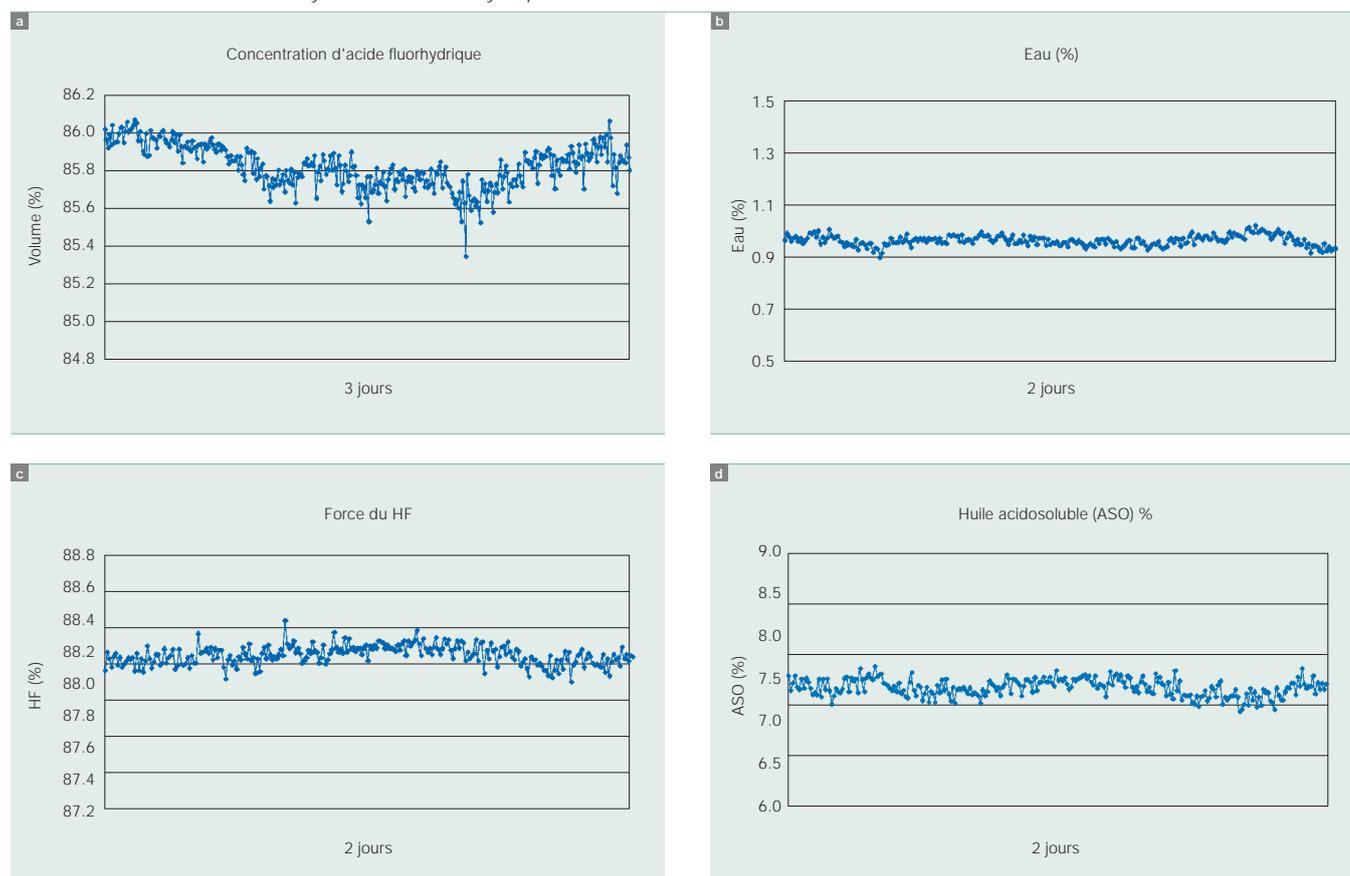
un analyseur FTIR pour le procédé d'alkylation HF.

La principale contribution d'ABB au projet fut le développement d'une console d'échantillonnage *in situ* sécurisée, nécessitant peu de maintenance et d'intervention dans la zone d'acide (laquelle, dans une unité d'alkylation HF, requiert le port d'une combinaison de protection intégrale).

#### Analyseur infrarouge à transformée de Fourier

L'analyseur FTIR multivoie à fibre optique d'ABB est parfaitement adapté à ce type d'application. Il est constitué de deux parties physiquement séparées : d'une part la cellule de mesure *in situ* des échantillons d'acide avec le système de conditionnement des échantillons et de sécurité, d'autre part l'analyseur optique, normalement placé dans une salle de commande ou en zone sûre. Cette séparation est impérative pour analyser en ligne un flux aussi dangereux que l'acide fluorhydrique.

**2** Données d'exécution de l'analyseur d'acide fluorhydrique FTIR d'ABB



## Procédés

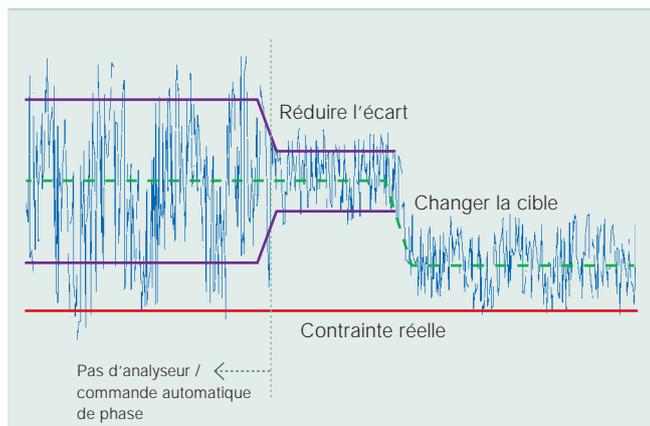
Autre atout de la technologie FTIR d'ABB : sa capacité à surveiller plusieurs flux avec un même analyseur. Dans l'unité d'alkylation HF, deux flux d'acide (ex., acide principal recyclé et distillat de tête de régénération de l'acide) peuvent ainsi être surveillés en temps réel, améliorant sensiblement le contrôle de la pureté de l'acide et l'efficacité de la régénération **2**.

Outre ces avantages, l'analyseur FTIR de procédé d'alkylation HF offre d'autres fonctionnalités. En plus de la surveillance du catalyseur HF, la composition d'autres flux importants d'hydrocarbures de l'unité HF peut être analysée rapidement, de manière fiable et avec un minimum de maintenance. Le flux de charge d'oléfines et le flux recyclé d'iC4 issu de la colonne de fractionnement en sont les principaux. Ensemble, ils influencent directement la pureté de la charge de l'unité HF, celle-ci ayant, à son tour, une incidence directe sur la consommation d'acide fluorhydrique. Les données temps réel sur ces deux flux, ainsi que la mesure de la pureté de l'acide fluorhydrique, améliorent sensiblement la stabilité opérationnelle de l'unité.

En résumé, la solution ABB-ConocoPhillips permet à ABB de proposer une technologie de contrôle multivariable, seule capable de caractériser rapidement et en ligne l'acide fluorhydrique, l'iC4 recyclé, les charges d'oléfines/iC4 et l'alkylat. Cette solution améliore notablement les performances opérationnelles des réacteurs d'alkylation HF grâce aux points suivants :

- Optimisation économique des débits de charges, du rendement et de l'indice d'octane de l'alkylat, dans certaines conditions opératoires ;
- Réduction du rapport isobutane/oléfine (I/O) et de la consommation énergétique sans altérer la qualité de l'alkylat et les objectifs de rendement avec une consommation d'acide minimale ;
- Optimisation du taux de production d'isobutane et respect des contraintes de stock d'iC4 ;
- Maintien de la qualité de l'acide HF dans une plage opérationnelle opti-

**3** Contrôle en temps réel du procédé avec l'outil APC



male, des ASO et de la teneur en humidité permettant :

- d'espacer les épisodes d'emballement ;
- de réduire le stock d'acide car les besoins de production d'acide sont moindres ;
- d'améliorer l'indice d'octane de l'alkylat car la teneur en eau du catalyseur peut être augmentée de façon contrôlée. Un des principaux licenceurs de procédé estime avoir tiré plus d'un million de dollars de bénéfice en augmentant de 1 à 2 % la teneur en eau d'une unité produisant 10 000 btpj avec un rapport I/O type de 10/1 ;
- de diminuer l'agressivité des procédés de régénération et les pertes d'acide ;
- d'améliorer les rendements et la qualité de l'alkylat.

#### Encadré ConocoPhillips

Basé à Houston (Texas), ConocoPhillips est, par sa capitalisation boursière, sa production et ses réserves pétrolières et gazières, le troisième groupe énergétique intégré des Etats-Unis et le deuxième raffineur du pays. Le Groupe opère dans plus de 40 pays, compte 38 700 employés et est mondialement reconnu pour son savoir-faire technologique dans la production et l'exploration en eaux profondes, la gestion et l'exploitation des réservoirs, la technologie sismique 3D, la valorisation de coke de pétrole haute qualité et la désulfuration. Pour en savoir plus, rendez-vous sur [www.conocophillips.com](http://www.conocophillips.com).

- Contrôle des rapports acide/hydrocarbures et de la température du réacteur pour améliorer la qualité du produit et supprimer la production d'ASO ;
- Optimisation des conditions opératoires du réacteur pour mieux gérer l'hétérogénéité de la composition des charges fraîches.

#### Une offre qui s'étoffe

Le développement et la mise sur le marché de l'analyseur d'acide fluorhydrique FTIR

d'ABB sont l'aboutissement d'une collaboration très fructueuse entre ABB et ConocoPhillips.

Comptant parmi les principaux bailleurs du procédé HF, ConocoPhillips a contribué au projet par ses connaissances approfondies des contraintes de surveillance du procédé et des variables critiques. Ses équipes R&D ont permis de développer le pré-alonnage de l'analyseur universel, indispensable au succès de son exploitation commerciale.

Le Groupe ABB a, pour sa part, apporté sa maîtrise de la technologie FTIR et son expertise dans la conception des systèmes d'échantillonnage *in situ*. Réunies, ces deux contributions ont créé une solution particulièrement profitable aux deux parties. ConocoPhillips est ainsi apte à proposer un analyseur ultra-performant à ses nombreux licenciés de procédé d'alkylation HF tout en tirant profit de la mise en œuvre directe de cette technologie dans ses raffineries. ABB a ajouté une pièce maîtresse unique à son offre de solutions analytiques FTIR pour le raffinage.

#### Michael B. Simpson

ABB Analytical  
Québec (Canada)  
[mike.b.simpson@gb.abb.com](mailto:mike.b.simpson@gb.abb.com)

#### Michael Kester

ABB Inc.  
Houston, Texas (Etats-Unis)  
[michael.kester@us.abb.com](mailto:michael.kester@us.abb.com)

# Soif de technologie

La ville de Bâle optimise son approvisionnement en eau potable

Daniel Moll, Thomas von Hoff, Marc Antoine

L'accès à l'eau potable n'est pas garanti à tous les habitants de la planète. Dans les régions où il l'est, les logements ont normalement l'eau courante et la consommation moyenne atteint 120 à 160 litres par personne et par jour, avec une tendance à la baisse.

Dans le monde occidental, l'eau du robinet doit être potable et disponible 24 h/24. Or la qualité des eaux de source ou des eaux souterraines est rarement conforme aux exigences strictes des autorités compétentes.

Pour être rentable, la production et la distribution d'eau de qualité doivent être parfaitement gérées et supervisées.

La conduite automatisée des ouvrages permet de réduire leurs coûts d'exploitation et de maintenance tout en simplifiant la gestion d'équipements sur de vastes étendues géographiques.



## Procédés

Si les sources naturelles et les nappes souterraines couvrent une part importante de nos besoins en eau potable, souvent elles ne suffisent pas à «étancher notre soif». La production d'eau potable à partir d'autres ressources exige plusieurs paliers de traitement pour améliorer sa qualité. L'eau brute est d'abord filtrée pour éliminer les plus grosses particules, puis drainée dans des zones forestières où elle va ruisseler et se mélanger aux eaux souterraines. Cette eau traitée biologiquement et physiquement est ensuite soigneusement récupérée par des pompes basse pression. Au besoin, elle subit d'autres traitements chimiques avant d'être injectée dans le réseau de distribution. La topologie de ce dernier et la zone d'approvisionnement à couvrir déterminent la stratégie de pompage.

De puissants outils de diagnostic aident à identifier les dérives de performance et à prendre, le plus tôt possible, les mesures correctives.

### Solutions d'optimisation

Pour garantir la rentabilité de leurs activités, les producteurs et distributeurs d'eau cherchent en permanence à optimiser l'exploitation de leurs ouvrages et à réduire les coûts de cycle de vie. De puissants outils de diagnostic les aident à identifier les dérives de performance et à prendre, le plus tôt possible, les mesures correctives.

L'offre OPTIMAX® d'ABB regroupe des produits et des solutions répondant aux besoins des secteurs de l'énergie et de l'eau [1]. La complexité de leurs activités les oblige à optimiser les performances économiques et opérationnelles de leur production d'électricité seule ou couplée à d'autres sources d'énergie (chaleur, eau, déchets, etc.).

Modernisation du système d'automatisation d'approvisionnement en eau Pour son approvisionnement, la ville de Bâle (IWB) **Encadré** compte les éléments suivants :

- 12 pompes haute pression ;
- 1 réseau interne de drainage et de collecte d'eaux souterraines avec 12 puits (pompes basse pression) ;
- 1 fournisseur externe ;
- 3 réservoirs divisés en 2 chambres ;
- environ 26 millions de m<sup>3</sup> d'eau distribués annuellement.

Outre la modernisation du système d'automatisation de la production d'eau potable, IWB désire également optimiser en permanence le mode d'exploitation et la maintenance de ses ouvrages avec un concept de téléconduite «tout automatique» des stations de pompage (ou réservoirs) pour confier au personnel d'autres tâches importantes.

Pour ce projet, IWB exigeait une solution optimisée capable, pour une charge donnée (niveau de consommation d'eau), de déterminer le meilleur programme de fonctionnement des pompes et des puits, en tenant compte d'une série de contraintes liées aux ouvrages. Ce type d'optimisation s'apparente à un problème d'ordonnement de charge. Pour le personnel d'exploitation et de maintenance, la nouvelle solution devait être au moins aussi performante que les pratiques précédentes.

Les systèmes de conduite des gros ouvrages hydrauliques ou des centrales d'énergie représentent souvent un investissement de plusieurs millions de dollars sur le plan des équipements et des études techniques.

En mode tout automatique, un régulateur intelligent doit fixer lui-même les points de consigne des pompes et des puits, tâche dévolue auparavant aux opérateurs. Pour ce projet, l'optimisation devait satisfaire les critères suivants :

- Garantie de l'approvisionnement en eau ;
- Respect du niveau de qualité de l'eau ;
- Réduction des coûts d'exploitation et de maintenance.

En termes mathématiques, la solution d'optimisation doit résoudre un problème hybride constitué à la fois de variables continues (ex., débits, niveaux, énergie, etc.) et de variables discrètes (ex., mise en marche et arrêt des ouvrages). En combinant une commande prédictive par modèle MPC (*Model Predictive Control*) et des techniques plus récentes comme la modélisation MLD (*Mixed Logical Dynamic*) [2], cette solution peut devenir partie intégrante de la suite applicative OPTIMAX® d'ABB.

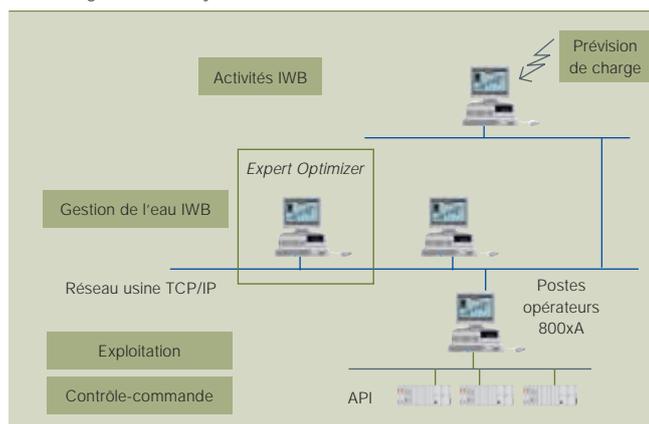
#### Encadré IWB

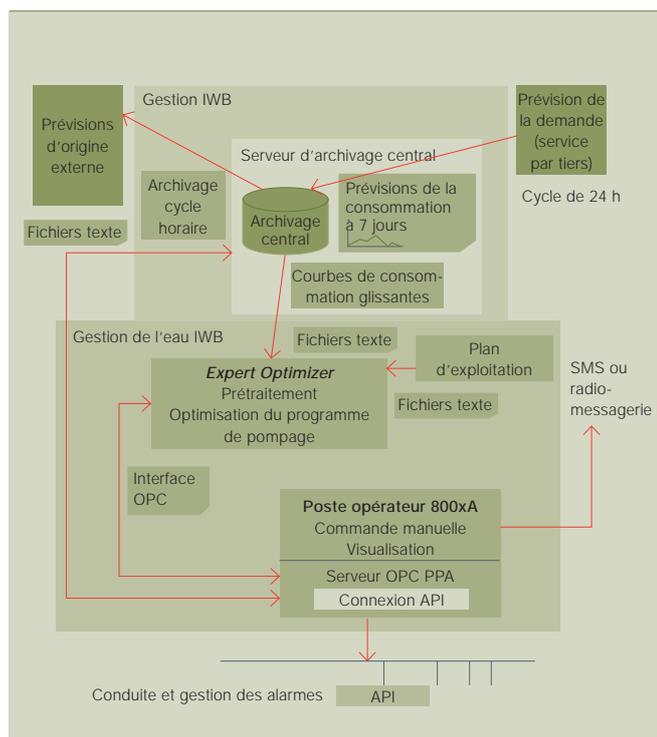
IWB (*Industrielle Werke Basel*) approvisionne en eau potable de qualité le canton de Bâle et la localité de Binningen. Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2007, l'eau potable distribuée par IWB porte un nouveau nom : bâlAqua.

L'eau de Bâle a la particularité de subir un traitement biologique après filtrage rapide. En effet, les forêts couvrant les nappes phréatiques sont de temps en temps inondées d'eau du Rhin pour une purification mécanique et biologique. Ce procédé biologique, unique au monde, est susceptible d'être appliqué à d'autres sites.

Pour en savoir plus, rendez-vous sur [www.iwb.ch](http://www.iwb.ch).

#### 1 Configuration du système





### Collaboration entre IWB et ABB

Lorsqu'un ouvrage fonctionne en tout automatique, il doit satisfaire les mêmes critères de performance qu'en mode manuel. Pour définir les concepts théoriques et veiller à ce que l'intelligence requise soit effectivement mise en œuvre dans le logiciel d'optimisation, ABB et IWB ont travaillé en étroite collaboration dès le lancement du projet, le premier apportant son savoir-faire en automatisation et optimisation, et le second ses connaissances spécifiques des ouvrages et son expérience.

### Une solution sur mesure

#### Plate-forme d'automatisation

La plate-forme d'automatisation 800xA d'ABB est une solution d'intégration de tous les postes opérateurs avec accès à l'ensemble des équipements existants d'un site type.

Les systèmes de conduite des gros ouvrages hydrauliques ou des centrales d'énergie représentent souvent un investissement de plusieurs millions de dollars sur le plan des équipements et des études techniques. En conservant un maximum d'existants, le système 800xA protège les investissements du client. Avec cette plate-forme d'auto-

matisation et d'intégration, IWB dispose d'un large éventail de nouvelles fonctions et d'une interface utilisateur uniforme avec les différents familles de régulateurs sous-jacents.

Les dérives sont détectées en continu et le programme d'exploitation adapté en conséquence.

#### Solution d'optimisation

La solution est basée sur la plate-forme 800xA et *Expert Optimizer* d'ABB . Chaque opérateur peut, depuis son poste, suivre l'évolution des courbes de tendances et les prévisions. S'il le désire, il peut basculer de la commande en boucle fermée à la commande manuelle (boucle ouverte).

Le fonctionnement en tout automatique tient compte du plan d'exploitation qui peut imposer le respect de certains points de consigne des pompes ou contraintes (ex., capacité limitée de pompage ou de stockage du fait de travaux de maintenance). Les prévisions horaires de consommation d'eau, reçues quotidiennement, sont déterminées par un logiciel spécifique qui tient compte des prévisions à sept jours de

MétéoSuisse transmises en ligne par IWB à ABB. A partir de ces données et contraintes, *Expert Optimizer* optimise en permanence le programme de fonctionnement des pompes et des puits.

Les données archivées et le programme d'exploitation sont transmis à *Expert Optimizer* sous forme de fichiers textes alors que les échanges entre *Expert Optimizer* et le poste de travail 800xA se font au format OPC<sup>1)</sup>. Les points de consigne des pompes et des puits sont envoyés à l'API<sup>2)</sup> très tôt pour des raisons de sécurité.

Les prévisions de consommation d'eau présentant un certain degré d'incertitude et les puits et pompes étant susceptibles de déclencher, le niveau des réservoirs et des puits est supervisé et comparé à des seuils d'alarme par l'API. Tout franchissement de seuil entraîne une nouvelle optimisation et le calcul de nouveaux points de consigne au vu de l'évolution des conditions. Parallèlement, le personnel est informé par SMS ou radiomessagerie si une intervention ou une validation est nécessaire.

#### Notes

<sup>1)</sup> OLE for Process Control

<sup>2)</sup> Automate Programmable Industriel

## Procédés

2 Ecran d'état des puits d'eau. Dans cet exemple, les débits des différents puits (bleu, vert et jaune) sont identiques.



3 Remplissage du réservoir virtuel: le niveau réel (vert) suit le point de consigne optimal (jaune) et reste dans les limites de tolérance (orange).



Après élaboration d'un cahier des charges détaillé, examiné conjointement par IWB et ABB lors de réunions régulières, les fonctions de base du logiciel furent testées chez ABB au cours des essais de réception et

ensuite installées sur site. Le système *Expert Optimizer* fut complètement testé par le client en boucle ouverte, ses recommandations vérifiées et des adaptations effectuées, si nécessaire. Après cette période d'essais couronnée de succès, *Expert Optimizer* basculera en boucle fermée.

Cette collaboration fructueuse entre le service des eaux de la ville de Bâle et ABB est un bon exemple de projet pilote où c'est le client lui-même qui définit un nouveau concept opérationnel.



2 et 3 sont des exemples d'écrans *Expert Optimizer*.

Operating personnel is informed by SMS or alarmed by pager in case their action is required.

### Bilan positif

IWB recherchait une solution avancée d'automatisation et d'optimisation de sa production d'eau, pour un fonctionnement sans opérateur. A partir de prévisions de consommation en ligne, la solution ABB optimise l'exploitation et les points de consigne des stations de pompage et des puits d'eaux souterraines. Les dérives sont détectées en continu et le programme d'exploitation adapté en conséquence. Le système fonctionne en boucle fermée et appelle automatiquement le personnel si une intervention s'impose. Les concepts de la solution furent développés avec le client qui a réduit ses dépenses d'exploitation et de maintenance tout en garantissant la qualité d'eau et l'approvisionnement.

Daniel Moll  
IWB  
Bâle (Suisse)  
daniel.moll@iwb.com

Marc Antoine  
ABB Schweiz AG, Power Systems  
Baden (Suisse)  
marc.antoine@ch.abb.com

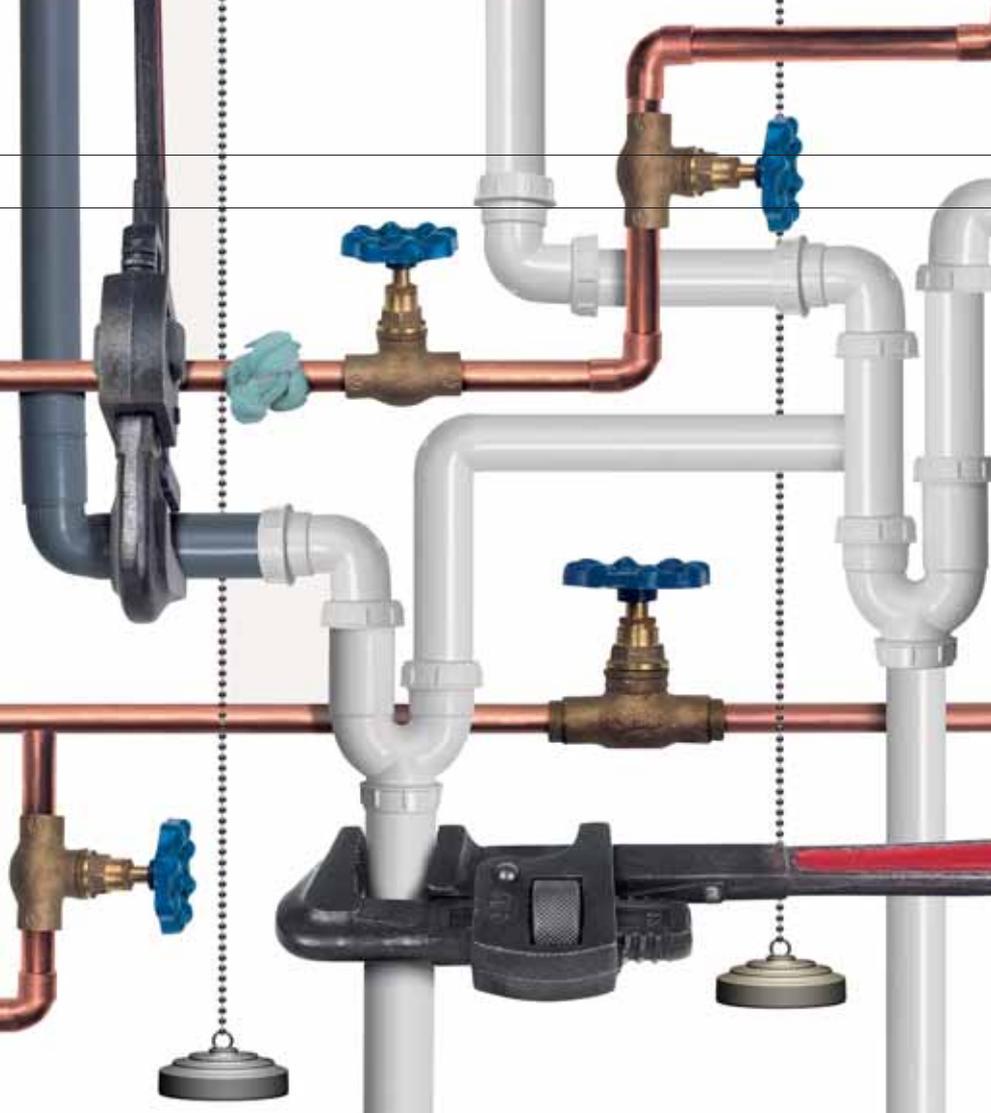
Thomas von Hoff  
ABB Corporate Research  
Automation and Control  
Baden-Dättwil (Suisse)  
thomas.von.hoff@ch.abb.com

### Bibliographie

- [1] *OPTIMAX® Plant Optimization solutions for power generation*, DEABB-1291-06-E
- [2] Gallestey, E., et al., *Using Model Predictive Control and Hybrid Systems for Optimal Scheduling of Industrial Processes*, *Automatisierungstechnik*, vol. 51, No. 6, 2003

### Lecture complémentaire

Antoine, M., *OPTIMAX®, Un max de performance opérationnelle et environnementale*, *Revue ABB* 2/2007, p. 44



# En douceur . . .

Les nouveaux démarreurs progressifs d'ABB sont équipés d'un algorithme de régulation de couple pour éviter les coups de bélier dans les canalisations d'eau

Jesper Kristensson, Soren Kling

L'arrêt brutal du moteur d'une pompe provoque de brusques variations des écoulements d'eau dans les canalisations, suivies de transitoires de pression rapides donnant lieu à des «coups de bélier». Ces chocs, fréquents dans les réseaux de pompage avec des canalisations de grande longueur et dans les réseaux de hauteur manométrique totale élevée, sont préjudiciables pour les appareils de robinetterie et les canalisations. L'utilisation de démarreurs progressifs atténue généralement les coups de bélier grâce à une décélération sur rampe des moteurs. En collaborant avec le Suédois ITT Flygt, ABB a développé une solution innovante qui supprime totalement les coups de bélier par régulation et optimisation du couple moteur.

La majorité des pompes utilise encore des méthodes classiques de démarrage électromécanique (démarrage direct sur le réseau, démarrage étoile-triangle, etc.) qui provoquent des coups de bélier dans les canalisations, même si des solutions mécaniques (vannes hydrauliques ou réservoirs de pression) sont mises en place pour prévenir les problèmes. Très répandues, ces solutions sont onéreuses, lourdes en termes de maintenance et, dans le cas des réservoirs de pression, encombrantes.

Les coups de bélier dans un réseau de distribution d'eau peuvent considérablement réduire la durée de vie des canalisations, appareils de robinetterie et joints d'étanchéité, provoquant des coupures intempestives et augmentant les dépenses de maintenance. L'utilisation de démarreurs progressifs

**Encadré 1** atténue généralement l'intensité des chocs sans pour autant les supprimer dans toutes les situations.

Contribuant à minimiser l'usure et la dégradation des organes mécaniques, les démarreurs progressifs sont couramment utilisés pour démarrer et arrêter les moteurs à courant alternatif (c. a.) dans une large palette d'application [1]. ABB, par exemple, a développé des démarreurs progressifs pour la commande de moteurs et de pompes jusqu'à 1000 kW (plus de 40% de ses démarreurs progressifs pilotent des moteurs c. a. de pompes). Outre les pompes, ces dispositifs équipent des machines aussi différentes que les propulseurs d'étrave des navires et les compresseurs des distributeurs de gaz naturel, de même que des machines industrielles plus courantes comme les ventilateurs, les compresseurs et les convoyeurs. Or les conceptions existantes, avec leurs rampes linéaires de tension pour démarrer les moteurs, ne permettaient pas de supprimer totalement les coups de bélier. Une solution optimale s'imposait donc.

## A la recherche d'une solution intelligente

Dans les démarreurs progressifs classiques, la tension fournie au moteur est graduellement augmentée pendant la phase de démarrage (courant de démarrage faible) ou réduite pendant la phase d'arrêt. Dans la plupart des

## Procédés

applications, ce principe autorise une bonne accélération et une bonne décélération du moteur.

Si les coups de bélier ne sont pas un problème en phase de démarrage, la situation est quelque peu différente pendant la phase d'arrêt. Dans un réseau de distribution d'eau comptant de nombreux appareils de robinetterie et moteurs, l'incidence de la fermeture d'un de ces appareils dépend de la configuration du réseau dont la dyna-

mique peut évoluer entre deux séquences de démarrage-arrêt car l'écoulement d'eau ou le nombre de pompes en fonctionnement peut varier. Par conséquent, des réglages modifiés pour prévenir les coups de bélier pour une configuration ne signifient nullement qu'ils seront adaptés à une autre.

Les coups de bélier dans un réseau de distribution d'eau peuvent considérablement réduire la durée de vie des canalisations, appareils de robinetterie et joints d'étanchéité, provoquant des coupures intempestives et augmentant les dépenses de maintenance.

Une solution optimale consiste à tenir compte de la dynamique du réseau lorsque les thyristors du démarreur progressif régulent la tension fournie au moteur **1**. Avec un plus grand nombre de mesures disponibles dans le démarreur, on peut mieux réguler l'écoulement d'eau et déterminer dans quelles proportions la tension fournie au moteur agit sur cet écoulement. En régulant la tension, on régule le couple, donc la vitesse du moteur, et on agit sur l'écoulement d'eau. CQFD! **2**.

Différentes valeurs de mesure permettront d'élaborer un algorithme de boucle de régulation de couple pour ralentir l'écoulement d'eau dans les

canalisations et prévenir les coups de bélier, à l'arrêt des pompes.

Il s'agit d'un exemple type de technique de boucle de régulation avec, toutefois, une contrainte supplémentaire : la même solution doit fonctionner dans toutes les configurations de pompes et de canalisations, et avec tous les moteurs entre 15 kW et 1000 kW. Le scénario idéal serait une solution ne nécessitant aucune adaptation des réglages. Pour mieux comprendre les différentes contraintes, ABB contacta ITT Flygt **Encadré 2** en Suède.

### Coopération avec ITT Flygt

ITT Flygt et ABB avaient déjà travaillé ensemble sur les variateurs de vitesse et autres technologies de démarrage. L'expérience d'ITT Flygt dans les réseaux de distribution d'eau de même que ses outils de simulation très pointus ont convaincu ABB qu'il s'agissait

#### Encadré 1 Démarreurs progressifs

Un démarreur progressif utilise des thyristors (redresseurs au silicium) pour réguler la tension fournie au moteur en phases de démarrage et d'arrêt, ce qui réduit les niveaux de courant et les contraintes mécaniques imposées au moteur par rapport à un démarrage sous tension maximale ou électromécanique.

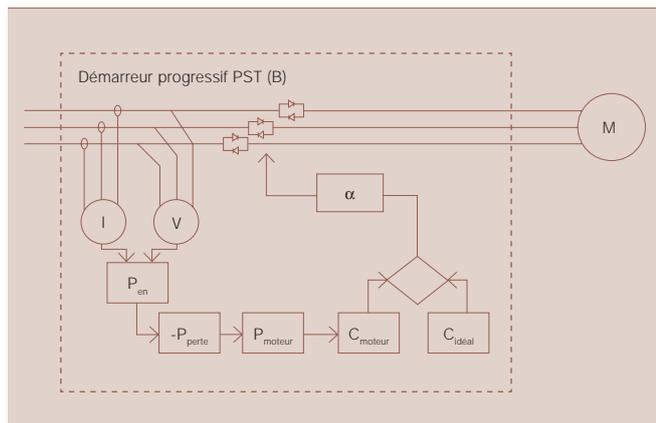
En l'absence de démarreurs progressifs, des problèmes électriques, mécaniques et fonctionnels peuvent apparaître :

- Perturbation du réseau électrique par les transitoires de tension et de courant, source de papillotement des lampes et d'interférences avec d'autres équipements électriques ;
- Rupture de courroies, dégradation des accouplements, engrenages et moteurs ;
- Coups de bélier dans les canalisations, détérioration des produits sur les convoyeurs, et arrêt ou départ brutal d'un ascenseur.

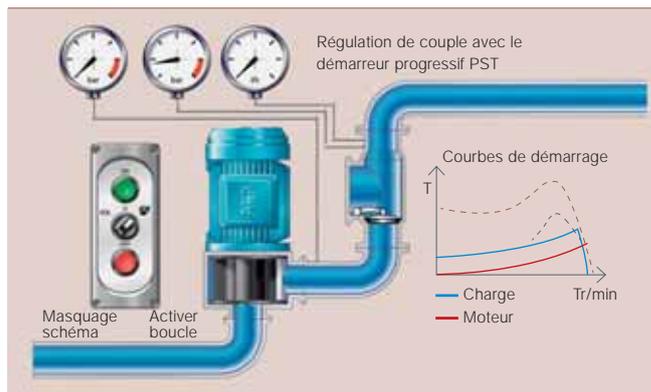
#### Encadré 2 ITT Flygt

Créée en 1901, l'entreprise suédoise ITT Flygt, dont le siège se trouve dans la banlieue de Stockholm, est leader mondial des pompes et agitateurs submersibles. ITT Flygt est présent sur de nombreux marchés, travaillant pour les secteurs publics et privés dans les domaines suivants : réseaux d'assainissement, protection contre les inondations, économies d'énergie, remise en état des sols et construction de tunnels. Ses produits sont également utilisés par l'industrie minière, l'industrie des procédés, l'agriculture et l'aquaculture.

**1** Commande de moteur avec retour capteur d'un système d'écoulement d'eau



**2** Commande en régulation de couple des pompes par les démarreurs PST d'ABB : démo montrant l'impact positif sur le courant, le couple et l'écoulement d'eau.



du partenaire idéal pour résoudre le problème des coups de bélier.

La connaissance de ces outils de simulation a permis à ABB de tirer des enseignements précieux sur le moyen optimal de réduire le couple moteur et, donc, l'écoulement d'eau dans la pompe pendant son arrêt pour prévenir les coups de bélier.

Ces coups de bélier apparaissent en fonction d'un certain nombre de paramètres: caractéristiques de la canalisation principale et de ses composants, types de tuyaux utilisés, hauteur manométrique totale, longueur et écoulement d'eau. D'autres paramètres doivent également être pris en compte, notamment la tuyauterie de la station de pompage interne. Le claquement des clapets de non-retour est très fréquent car le

3 Nouveau démarreur progressif ABB pour les applications de pompage



Les démarreurs progressifs doivent couvrir un large éventail d'application, depuis les équipements électroménagers jusqu'aux pipelines.



comportement dynamique des appareils de robinetterie est trop lent.

En phase d'arrêt, le problème se corse et le paramètre le plus critique est le changement de vitesse d'écoulement. Avec le nombre variable de pompes en fonctionnement, ce paramètre aura une incidence sur la décélération sur rampe de chaque pompe. Pour comprendre ces changements, ITT Flygt disposait déjà d'une méthode et d'un outil d'analyse détaillée. Pour les cas difficiles, cet outil – capable d'analyser les transitoires du réseau – sert à concevoir des configurations spécifiques de canalisations. Au cours du projet de collaboration, ABB en a tiré des informations précieuses sur les paramètres critiques d'écoulement de l'eau pendant la phase d'arrêt des pompes.

La solution développée par ABB est axée sur une régulation optimale et opportune du couple moteur.

Partant d'indications précises d'ITT Flygt sur la manière dont devait fonctionner une solution de régulation de couple pour prévenir les coups de bélier tout en augmentant la durée de vie et la disponibilité de leurs pompes, l'équipe de chercheurs d'ABB s'est mise au travail. ITT Flygt s'est avéré un excellent partenaire en adoptant une vision élargie du périmètre d'action des démarreurs progressifs: peuvent-ils contribuer à la fiabilité des stations de pompage ou être dotés de fonctions intelligentes pour être plus simples à utiliser dans les applications de pompage?

La solution développée par ABB est axée sur une régulation optimale et opportune du couple moteur. Pour déterminer le couple requis, des mesures et des calculs poussés sont nécessaires. Le couple calculé est ensuite comparé à une courbe de couple idéale, à la fois pendant le démarrage et l'arrêt. Si le couple est trop faible, la tension fournie au moteur est augmentée en utilisant les thyristors. De la même manière, la tension est réduite lorsque le couple mesuré est trop élevé. Pendant la séquence de démarrage et d'arrêt, les mesures et la régulation se font en temps réel avec une rapidité et une précision suffisantes pour réguler le

couple de tous les moteurs et pompes de toutes les configurations de réseau.

Les prototypes furent d'abord testés en interne par ABB avant de l'être dans les installations de recherche d'ITT Flygt à Stockholm. Des essais en vraie grandeur furent ensuite menés dans plusieurs stations de pompage où ITT Flygt testait déjà de nouveaux modèles et prototypes de pompes; ils permirent de valider à la fois les résultats des simulations et l'algorithme de régulation de couple. Les stations servirent également de «démonstration» pour montrer à des clients finaux les effets positifs de la régulation de couple lors de l'arrêt des pompes.

La collaboration étroite entre ABB et ITT Flygt dès la phase initiale du projet a permis d'affiner l'algorithme de régulation très tôt et de réduire considérablement les délais de développement des produits. Dans la droite ligne de cette réussite, les deux entreprises présenteront ensemble, dans différents salons professionnels, une installation avec une pompe submersible ITT Flygt et un démarreur progressif PST d'ABB équipé du nouvel algorithme de régulation de couple 3.

#### Elargir les domaines d'application

Collaborer avec un client de référence pour développer une solution répondant aux besoins du marché est avantageux pour les deux parties. L'échange dans un esprit d'ouverture de données de calcul cruciales et d'idées permet non seulement d'élaborer une solution innovante au problème des coups de bélier, mais également d'acquiescer une expertise d'une valeur inestimable pour minimiser les courants de démarrage et les contraintes mécaniques dans d'autres applications (ex., compresseurs, ventilateurs, propulseurs d'étrave ou convoyeurs).

Jesper Kristensson  
Soren Kling  
ABB AB, Cewe-Control  
Västerås (Suède)  
jesper.kristensson@se.abb.com  
soren.kling@se.abb.com

#### Bibliographie

[1] Johansson, H. M., Kling, S., *Le démarreur progressif PST adoucit les mo(t)eurs*, Revue ABB 3/2004, p. 22–26

# L'union fait la stabilité

Statnett, SINTEF, ABB : solidaires pour contrer les instabilités du vaste réseau électrique norvégien

Petr Korba, Ernst Scholtz, Albert Leirbukt, Kjetil Uhlen

Les réseaux électriques, comme celui de la Norvège, peuvent parcourir des milliers de kilomètres jalonnés d'une multitude de postes électriques, câbles et lignes aériennes reliant les sites de production aux lieux de consommation. Un réseau bien géré amortit progressivement les perturbations risquant de le déstabiliser et d'entraîner son effondrement. Or l'augmentation de la demande d'électricité mondiale oblige les gestionnaires du transport (GRT) à exploiter un réseau oscillant aux limites de sa stabilité.

Il est alors impératif de veiller à son équilibre et de mettre en œuvre des systèmes de conduite et de surveillance à grande échelle : un enjeu des taille, bien plus complexe qu'il n'y paraît ! Le gestionnaire du réseau électrique norvégien, Statnett, l'institut de recherche scientifique et technique norvégien, SINTEF, et le groupe ABB ont uni leurs forces pour mieux juguler toute instabilité du système.

La Norvège est l'exemple même de réseau électrique très étendu, avec d'importants transferts de puissance entre les gros groupes hydroélectriques, à l'ouest du pays, et les centres de consommation, à l'est [1]. Ce long cheminement de l'électricité est l'une des principales contraintes du réseau [1]. Il est donc capital pour le gestionnaire Statnett d'identifier les régimes de fonctionnement critiques et de pouvoir agir avant que des aléas ou instabilités locales dégénèrent en pannes généralisées. Outre un maillage de dispositifs de mesure, il faut pouvoir doter les GRT d'algorithmes de calcul des situations instables, de stratégies de réduction des perturbations et d'outils d'aide à la décision.

La coopération entre ABB, Statnett et le SINTEF remonte à plusieurs décennies : en témoignent les nombreuses innovations technologiques introduites avec succès dans le système électrique norvégien.

#### Le cadre théorique

Un réseau constitué de milliers de postes électriques, d'unités de production et de consommateurs disséminés se caractérise par une très grande complexité exigeant une vue globale des multiples oscillations. La littérature technique regorge d'exemples de solutions au problème d'instabilité des réseaux électriques ; de même, les études sur leur conduite, surveillance et protection sont légion.

Jusqu'à présent, la théorie de la commande automatique était principalement de nature académique ; la recherche institutionnelle d'ABB et le SINTEF n'ont pourtant pas manqué de parfaire leur connaissance du domaine.

Le client impose, la technologie propose. La coopération entre ABB, Statnett [Encadré 1] et le SINTEF [Encadré 2] remonte à plusieurs décennies. Témoins, les nombreuses innovations technologiques introduites avec succès dans le système électrique norvégien : les

#### Encadré 1 Statnett

Gestionnaire du réseau de transport norvégien, Statnett est responsable de l'équilibre production-consommation du système électrique. Il est aussi chargé de créer les conditions d'un marché électrique national efficace en garantissant notamment la fiabilité du transport par un développement rentable et économique des infrastructures. Statnett possède environ 85 % des ouvrages du réseau norvégien. Fort de 630 collaborateurs en 2005, son chiffre d'affaires a atteint 5244 millions de couronnes norvégiennes (soit près de 646 millions d'euros).

[www.statnett.no](http://www.statnett.no) (mai 2007)

#### Encadré 2 Le groupe SINTEF

Il s'agit du plus grand institut scandinave de recherche scientifique et industrielle indépendant, avec 1800 chercheurs travaillant principalement à Trondheim et Oslo. Partenaire de ce projet tripartite, la division *SINTEF Energy Research* (Trondheim) fait autorité dans le domaine du conseil aux entreprises électriques scandinaves confrontées aux défis et limites du grand transport.

[www.sintef.no](http://www.sintef.no) (mai 2007)

1 Le réseau de transport scandinave et ses appareils de mesures de phaseurs (cercles rouges)



## Energie

installations de transport en courant continu à haute tension (CCHT) qui l'équipent depuis les années 70 en sont peut-être l'un des exemples les plus connus. Depuis 1999, ABB coopère avec le SINTEF et Statnett sur plusieurs projets de recherche-développement axés sur les systèmes de conduite et de surveillance à grande échelle «WAMS» (*Wide-Area Monitoring Systems*) pour repousser les limites du transit de puissance du réseau norvégien à 420 kV. Cette collaboration tripartite s'est échelonnée en deux temps :

## 1999 à 2004

Le projet *Intellectric* norvégien (NiP) a renforcé l'exploitation et la sécurité opérationnelle du réseau par une surveillance «intelligente» et une conduite tirant parti de nouvelles techniques de mesure et de communication.

## 2005 à nos jours

Un projet de sécurisation du transport déploie un WAMS dans le réseau 420 kV et met à l'épreuve de nouveaux concepts de sûreté de fonctionnement du réseau électrique.

L'algorithme ABB de prédiction des instabilités de tension «VIP» (*Voltage Instability Predictor*), qui fournit au GRT une mesure locale de sa marge de puissance avant effondrement de la tension au niveau d'un poste électrique donné, fut l'une des premières

solutions de ce type à être testée [2]. Vinrent ensuite les mesures de phaseurs synchronisées qui délivrent des informations complémentaires aux données classiques (grandeurs locales et angles des signaux sinusoïdaux), avec une très grande précision temporelle [3]; leur traitement par algorithme *ad hoc* permet au système de gestion de l'énergie du GRT d'améliorer l'observabilité du réseau. Un raccordement direct à des dispositifs électroniques de puissance «FACTS» (*Flexible AC Transmission Systems*) remédie rapidement à une menace d'instabilité.

L'intérêt premier de la technologie WAMS réside dans la possibilité de détecter, en temps réel, des phénomènes dynamiques étendus et de les contrer directement.

## La coopération, levier de progrès

Tout grand réseau interconnecté présente des oscillations inter-zones caractéristiques ; les fréquences d'oscillation du système scandinave sont comprises entre 0,3 Hz et 0,5 Hz. Ces oscillations sont manifestes dans les études hors ligne des services de planification des GRT. Plusieurs paramètres permettent de les quantifier dans le domaine fréquentiel et temporel :

fréquence modale et amortissement, amplitude et angle de phase. Un WAMS se singularise par la possibilité de détecter, en temps réel, des phénomènes dynamiques étendus (oscillations électromécaniques, par ex.) et de les contrer directement.

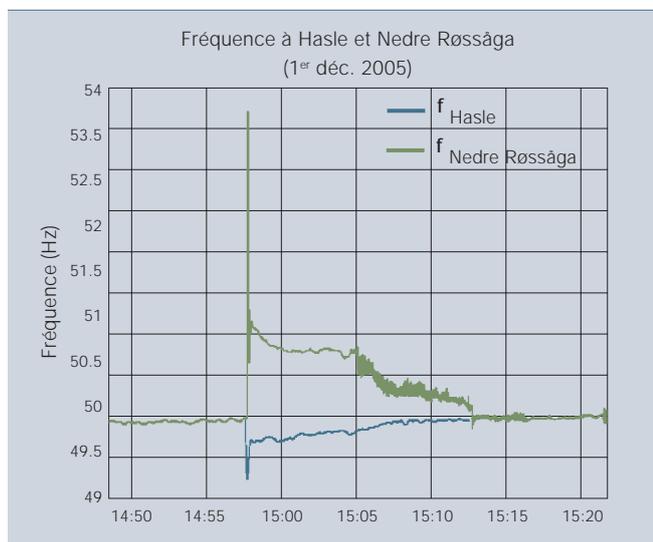
Pour embrasser toutes les oscillations du système avec un minimum de points de mesure, il faut tout d'abord bien choisir les sites d'implantation des quelques appareils de mesures de phaseurs. Plusieurs facteurs entrent en compte :

- Possibilité de détecter les modes d'oscillation caractéristiques ;
- Accès aux mesures de courant et tension de ligne, à partir des capteurs d'énergie ;
- Accès aux communications Ethernet pour transmettre rapidement à l'unité de traitement la masse d'informations extraites des mesures de phaseurs synchronisées.

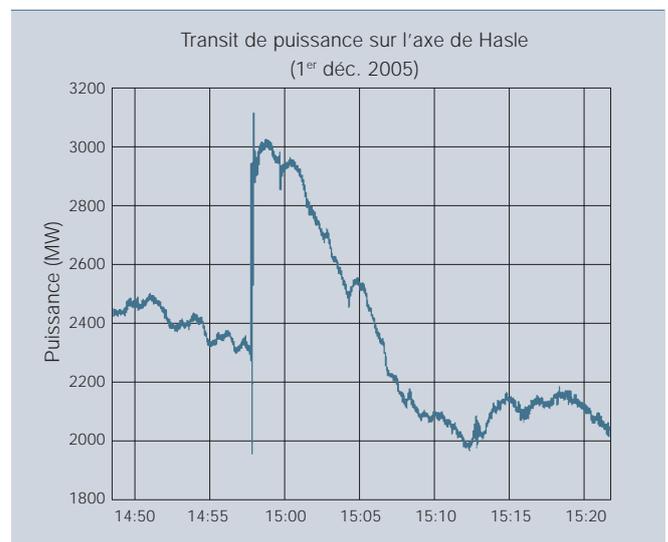
Une analyse minutieuse, bénéficiant de l'expérience du client et de sa connaissance fine du système, permet de retenir quatre postes : Hasle, Fardal, Kristiansand et Nedre Røssåga [1].

D'innombrables mesures y furent collectées et analysées pour caractériser les informations du système électrique en régime de fonctionnement normal et son comportement dynamique en situation critique. Le 1<sup>er</sup> décembre 2005,

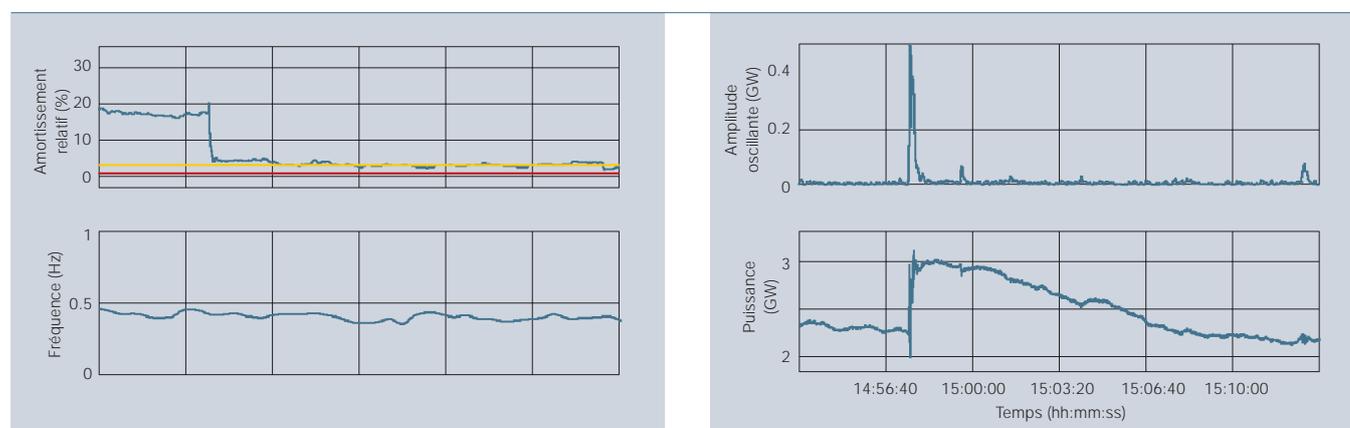
2 Enregistrement des fréquences du système en Norvège du Sud (Hasle) et Norvège moyenne (Nedre Røssåga)



3 Transit d'énergie sur les lignes à 420 kV de l'interconnexion Hasle-Suède



- 4 Résultats de la surveillance: l'amortissement relatif, la fréquence et l'amplitude oscillante sont les estimations temps réel du mode d'oscillation dominant contenu dans la mesure P.



par exemple, le réseau scandinave était victime d'une grave panne due à une perturbation touchant le nord de la Suède. L'échec des plans de déclenchement de lignes, censés délester la production norvégienne, entraîna une surcapacité, puis la surcharge des lignes de transport restantes, au nord du pays. D'où l'effondrement incontrôlé du réseau et la formation de plusieurs îlots dans cette région.

La lecture des mesures de phaseurs synchronisées, visualisées en temps réel (2 et 3<sup>1)</sup>), met clairement en évidence la portée de ce dysfonctionnement local. 2 reproduit la fréquence système enregistrée par les phaseurs de tension de Hasle (sud de la Norvège) et de Nedre Røssåga (nord). L'heure de séparation et de resynchronisation du réseau est facilement repérée. Le déséquilibre du système, dû à la coupure d'une importante zone de production excédentaire, au nord de la Scandinavie, eut pour effet d'activer les réserves primaires du reste du système. La montée en flèche de l'écoulement de puissance sur l'axe Hasle-Suède 3 montre qu'une grande partie du déficit énergétique est époncée par la production du sud norvégien.

Pour évaluer en temps réel la stabilité du réseau, sur toute son étendue, des signaux de mesures de phaseurs soigneusement sélectionnés sont soumis à une analyse s'appuyant sur un modèle<sup>2)</sup> autorégressif avec des coeffi-

cients variables dans le temps et un filtrage de Kalman pour l'identification optimale des paramètres de modélisation les mieux appropriés [4]. Lors de la panne du 1er décembre 2005, cette méthode de détection en ligne des

- 5 Réglage du régulateur SVC de Sylling à la fréquence de 0,33 Hz, à partir des mesures d'angle de Kristiansand et de Nedre Røssåga



#### Notes

<sup>1)</sup> Dans le passé, cette vue globale dynamique du système était difficile et fastidieuse à obtenir, et seulement envisageable après incident.

<sup>2)</sup> Appelé à déboucher dans le futur sur une régulation par modélisation.

## Energie

oscillations fut appliquée à la mesure du transfert de puissance au niveau de l'interconnexion de Hasle [5].

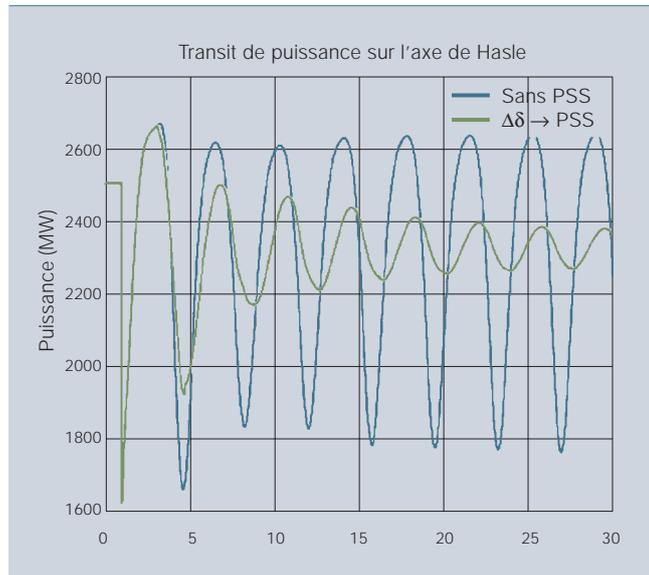
Le mode d'oscillation dominant en [4] révèle une baisse par palier de l'amortissement relatif, d'environ 15% (pré-défaut) à 4-7% (post-défaut). La fréquence modale, fonction de la topologie du réseau et des éléments raccordés, ne bouge pratiquement pas; elle varie autour de sa valeur moyenne, passant insensiblement de 0,39 Hz à 0,42 Hz en post-défaut. De même, l'amplitude oscillante estimée croît ponctuellement dans les 15 secondes suivant l'incident; associé à des seuils d'alarme judicieusement choisis, ce type d'information peut servir à alerter automatiquement l'opérateur.

La coopération étroite entre des industriels comme ABB et des électriciens comme Statnett est le seul moyen viable de développer des solutions à la hauteur des enjeux d'un système aussi complexe qu'un réseau électrique.

Sur réception de ces alarmes, l'opérateur doit procéder aux manœuvres nécessaires pour ramener le système à l'état stable. Dans le réseau norvégien actuel, plusieurs FACTS de type compensateurs statiques de puissance réactive (SVC) intègrent une fonction d'amortissement des oscillations de puissance, utilisant des mesures locales (tension ou puissance du bus, par ex.) qui contribuent à l'amortissement des oscillations électromécaniques entre zones. Si ce dispositif fonctionne bien, il arrive que les mesures locales n'assurent pas toujours une réduction adéquate des modes critiques inter-zones.

C'est pourquoi le projet réunissant Statnett, SINTEF et ABB s'est donné pour mission d'étudier comment améliorer

6 Transit de puissance sur l'axe de Hasle, avec (tracé vert) et sans (tracé bleu) régulation d'amortissement



la fourniture des signaux d'entrée par les mesures distantes des phaseurs pour amortir les régimes critiques du vaste réseau norvégien, moyennant les régulations SVC existantes.

Première étape de l'étude : une simulation numérique des mesures de phaseurs de Hasle, Kristiansand, Nedre Røssåga et Fardal. Plusieurs méthodes de régulation automatique (correction par avance/retard de phase,  $H_{\infty}$  robuste et commande adaptative) furent testées pour optimiser les paramètres des régulateurs d'amortissement. Les figures [5] et [6] illustrent le réglage du SVC de Sylling (près d'Oslo) en vue d'amortir les oscillations évoluant autour de 0,33 Hz, à l'aide des mesures d'angle de tension des phaseurs de Kristiansand et Nedre Røssåga.

L'amortissement du mode basse fréquence montre clairement les apports de la technologie WAMS : la possibilité d'engager, à temps et en toute connaissance de cause, des actions de

conduite et de protection fondées sur des mesures de phaseurs à haute résolution temporelle.

#### Les enseignements

La coopération étroite entre des industriels comme ABB et des électriciens comme Statnett est le seul moyen viable de développer des solutions à la hauteur des enjeux d'un système aussi complexe qu'un réseau électrique. Les problèmes techniques exposés dans cet article et leur mode de résolution valent pour bien d'autres systèmes d'énergie et GRT. Ce partenariat enrichit l'expérience unique d'ABB dans ce domaine et ouvre des pistes de dévelop-

vement de nouveaux produits pour fiabiliser l'exploitation des réseaux existants.

#### Petr Korba

Centre de recherche institutionnelle ABB  
Baden-Dättwil (Suisse)  
petr.korba@ch.abb.com

#### Ernst Scholtz

ABB Inc USA, Centre de recherche institutionnelle  
Raleigh, NC (Etats-Unis)  
ernst.scholtz@us.abb.com

#### Albert Leirbukt

ABB Norway, Power Systems  
Oslo (Norvège)  
albert.leirbukt@no.abb.com

#### Kjetil Uhlen

SINTEF (Norvège)

#### Bibliographie

- [1] Korba, P., Larsson, M., Oudalov, A., Preiss, O., *Vision d'avenir – Réseaux de transport d'électricité : ABB relève les défis en gestion*, Revue ABB 2/2005, p. 35-38
- [2] Leirbukt, A., Uhlen, K., Palsson, M. T., Gjerde, J. O., Vu, K., Kirkeluten, Ø., *Voltage Monitoring and Control for Enhanced Utilization of Power Grids*, IEEE Power Systems Conference & Exposition (PSCE), New York, 2004
- [3] Leirbukt, A., Gjerde, J. O., Korba, P., Uhlen, K., Vormedal, L. K., Warland, L., *Wide Area Monitoring Experiences in Norway*, PSCE, Atlanta, Oct-Nov 1, 2006
- [4] Korba, P., *Real-Time Monitoring of Electromechanical Oscillations in Power Systems*, IEE Proceedings of Generation, Transmission and Distribution, vol. 1, pp. 80-88, January 2007

# Commande et protection de la distribution électrique

Un relais *foudroyant* au secours des lignes moyenne tension

Mohamed Y. Haj-Maharsi, Deia Bayoumi, Thomas G. Sosinski, Doug Voda

Pour prétendre à une sécurité et à une productivité hors du commun, une entreprise doit souvent imposer à ses installations un cahier des charges sortant de l'ordinaire. Hydro-Québec ne déroge pas à cette règle avec son nouveau relais de protection de ligne moyenne tension (MT), fruit d'un partenariat étroit avec ABB.

Chef de file de la protection des appareillages et systèmes électriques, l'électricien québécois ne cesse de développer des applications résolument centrées sur la sécurité de son personnel. Pour sécuriser et fiabiliser ses lignes MT, il a modernisé les protections de ses artères de distribution en empruntant à la toute dernière génération des relais à microprocesseur. Comparée aux produits du commerce, la solution d'Hydro-Québec multiplie les avantages en termes de sûreté, de maintenabilité et de performance. Le secret ? Un boîtier unique cumulant alimentations redondantes, protection primaire et protection de secours.

Les performances du produit, la fiabilité de l'électronique et la longévité du relais s'en trouvent nettement améliorées tandis que les frais de mise à niveau, de formation et de maintenance sont revus à la baisse. En axant son effort sur la conception du produit et sur l'application, Hydro-Québec facilite grandement le remplacement de l'équipement en place par une nouvelle génération de protections.

L'offre fournie de solutions intégrées ABB multifonctions, communicantes

## Energie

et novatrices pour la protection, le contrôle et l'automatisation des lignes MT, sous l'égide *Engineered for Safety™*, fut un argument convaincant dans le choix d'Hydro-Québec.

Le cahier des charges de l'énergéticien alliait des impératifs d'analyse et d'application pointue à des exigences de haute fiabilité et d'interface utilisateur ergonomique. Le respect de ces spécifications exigeait une interaction et un dialogue soutenus entre les personnels des deux entreprises, à tous les stades de leur partenariat : planification, développement, choix des matériaux, validation du produit et certification de la production. De quoi tracer de nouvelles pistes de progrès dans les techniques de développement, le génie des matériaux et les essais du produit final pour déboucher sur une solution aux performances et fonctionnalités de rang mondial.

#### Une protection *extra-ordinaire*

Hydro-Québec, numéro un mondial de la production hydroélectrique, dessert le Québec, le Canada et le nord-est des Etats-Unis. Son activité Distribution a pour mission de garantir la fiabilité des appareillages du réseau et la continuité de la fourniture.

Décidé à renforcer et à moderniser son parc de protections de lignes, Hydro-Québec lança en avril 2005 un appel d'offres pour un relais associant, dans un seul boîtier, la fonction de protection primaire et de protection redondante. La conception s'est

focalisée sur des techniques de commande et de protection avancées, la fiabilité du système et l'allègement de la maintenance. Ce nouveau relais assure le passage automatique de la protection active à la protection redondante ainsi que la sécurité intrinsèque de l'appareillage en cas de défauts critiques.

En juillet 2005, ABB remportait le marché. Au fil des réunions entre ABB et Hydro-Québec s'est échafaudé le canevas d'un ambitieux travail collaboratif qui mena à la réalisation d'un relais de «Contrôle Et Protection des Artères» (CEPA), à la hauteur des exigences de l'énergéticien.

### Hydro-Québec, numéro un mondial de la production hydroélectrique, dessert le Québec, le Canada et le nord-est des Etats-Unis.

#### Caractéristiques du relais CEPA

CEPA est un système à microprocesseur haut de gamme intégrant les toutes dernières innovations de la protection, du contrôle-commande et de l'automatisation des lignes de distribution, doublées d'une fonction de redondance idéale pour fiabiliser les lignes de répartition et de distribution.

Nombreuses sont les fonctionnalités CEPA adaptées à la plupart de ces applications Encadré 1.

Toutes assurent une détection parallèle des défauts et sont autonomes en matière d'alimentation, de mesure et de traitement des signaux analogiques, de conversion A/N, d'E/S logiques, en conformité avec les normes techniques d'Hydro-Québec.

L'interface homme-machine (IHM) du relais est équipée de témoins lumineux, de poussoirs, d'un panneau de commande avec double afficheur à cristaux liquides (LCD) et clavier ; côté communication, elle intègre deux ports EIA232 en face avant pour la communication avec un PC local, un autre port EIA232 à l'arrière et un port Ethernet pour les connexions réseau

Encadré 2.

#### IHM

Les réglages du relais, mesures, événements et commandes sont accessibles par le panneau frontal et un programme Windows® de communication externe sur PC, WinECP.

#### Panneau de commande

Sa conception durcie garantit une grande lisibilité, sur toute la plage de température de service (-40 °C à +85 °C), des grandeurs et comptages suivants : courant et tension (affichage continu), nombre de déclenchements rapides autorisés, réenclenchements, nombre total de réenclenchements autorisés.

#### WinECP

Ce logiciel facilite les communications avec le relais.

Guidé par menus intuitifs, il permet de :

- consulter ou modifier les réglages ;
- sauvegarder ces réglages dans un fichier ;
- afficher plusieurs enregistrements stockés dans CEPA (bilan de défauts et fichier d'événements au fil de l'eau) ;
- suivre les mesures, E/S physiques et informations d'état ;
- sauvegarder les enregistrements de défauts numériques et les données temporelles ;
- commander les disjoncteurs et signaux d'E/S.

WinECP peut être utilisé hors ligne pour explorer les capacités et fonc-

Le relais de contrôle et protection d'artères CEPA



**Encadré 1** Description fonctionnelle

- Protection de surintensité phase/terre instantanée et temporisée
- Réenclenchement multi-coup
- Contrôle de défaillance de disjoncteur

**Encadré 2** Description technique

- Microprocesseur 32 bits et processeur numérique de signal (DSP)
- Panneau de commande évolué à deux afficheurs LCD (un pour la protection active, l'autre pour la protection de secours)
- Ports isolés de communication distante
- Ports de communication locale/distante simultanée, à l'avant et à l'arrière du relais
- Multiprotocole :
  - DNP 3.0 Niveau 2+ (Standard)
  - Modbus, Modbus TCP/IP
  - Synchronisation horaire IRIG-B ; l'horloge sécurisée par pile conserve l'heure même en l'absence d'alimentation électrique.
- Surveillance :
  - Enregistreur de défauts numérique
- Multiprotection :
  - Surintensité phase/terre
  - Ecart de tension
  - Défaillance de disjoncteur
- Mesure et contrôle-commande
- Dialogue opérateur sous WinECP

tionnalités du relais, auquel cas les valeurs affichées sont les réglages et configurations usine. Ces données peuvent être modifiées, enregistrées dans un fichier et récupérées pour être téléchargées ultérieurement dans CEPA.

Ce nouveau relais assure le passage automatique de la protection active à la protection redondante ainsi que la sécurité intrinsèque de l'appareillage en cas de défauts critiques.

**Enregistreur de défauts numérique**  
CEPA embarque un enregistreur de défauts et de perturbations dans lequel sont stockés les paramètres des sources de déclenchement et la périodicité d'enregistrement des données préalables au déclenchement. L'ensemble, conservé en mémoire non volatile, est téléchargeable dans un PC. Un programme indépendant permet de visualiser les enregistrements pour effectuer une analyse a posteriori des défauts et planifier le système.

**Faire équipe avec le client**

En développant le relais CEPA, ABB se devait de satisfaire à toutes les requêtes de son client. Le cahier des charges d'Hydro-Québec comportait aussi bien des fonctions de protection classiques que des développements

spécifiques répondant à son souci de l'environnement et ses objectifs de performance. Les échanges entre ABB et Hydro-Québec furent permanents tout au long de l'élaboration des spécifications, de la création du produit, du choix des composants, de la validation du système et de sa production.

Si les normes de sécurité électrique stipulaient un minimum d'exigences pour les performances applicatives du relais, les attentes fonctionnelles d'Hydro-Québec dépassaient largement les prescriptions normatives ; ABB a répondu à cette demande en définissant et en testant son produit dans des conditions bien plus contraignantes que celles d'une application électrique type. ABB tirera profit de ce fructueux partenariat pour améliorer son offre standard tout en continuant à apporter à Hydro-Québec son savoir-faire et son expertise métier dans la protection des lignes et appareillages des réseaux d'aujourd'hui et de demain.

**Mohamed Y. Haj-Maharsi**  
ABB Inc, Centre de recherche  
Raleigh, NC (USA)  
mohamed.maharsi@us.abb.com

**Deia Bayoumi**  
ABB Inc, Produits Moyenne tension  
Allentown, PA (USA)  
deia.bayoumi@us.abb.com

**Thomas G. Sosinski**  
ABB Inc, Produits Moyenne tension  
Allentown, PA (USA)  
thomas.g.sosinski@us.abb.com

**Doug Voda**  
ABB Inc, Produits Moyenne tension  
Lake Mary, FL (USA)  
doug.voda@us.abb.com

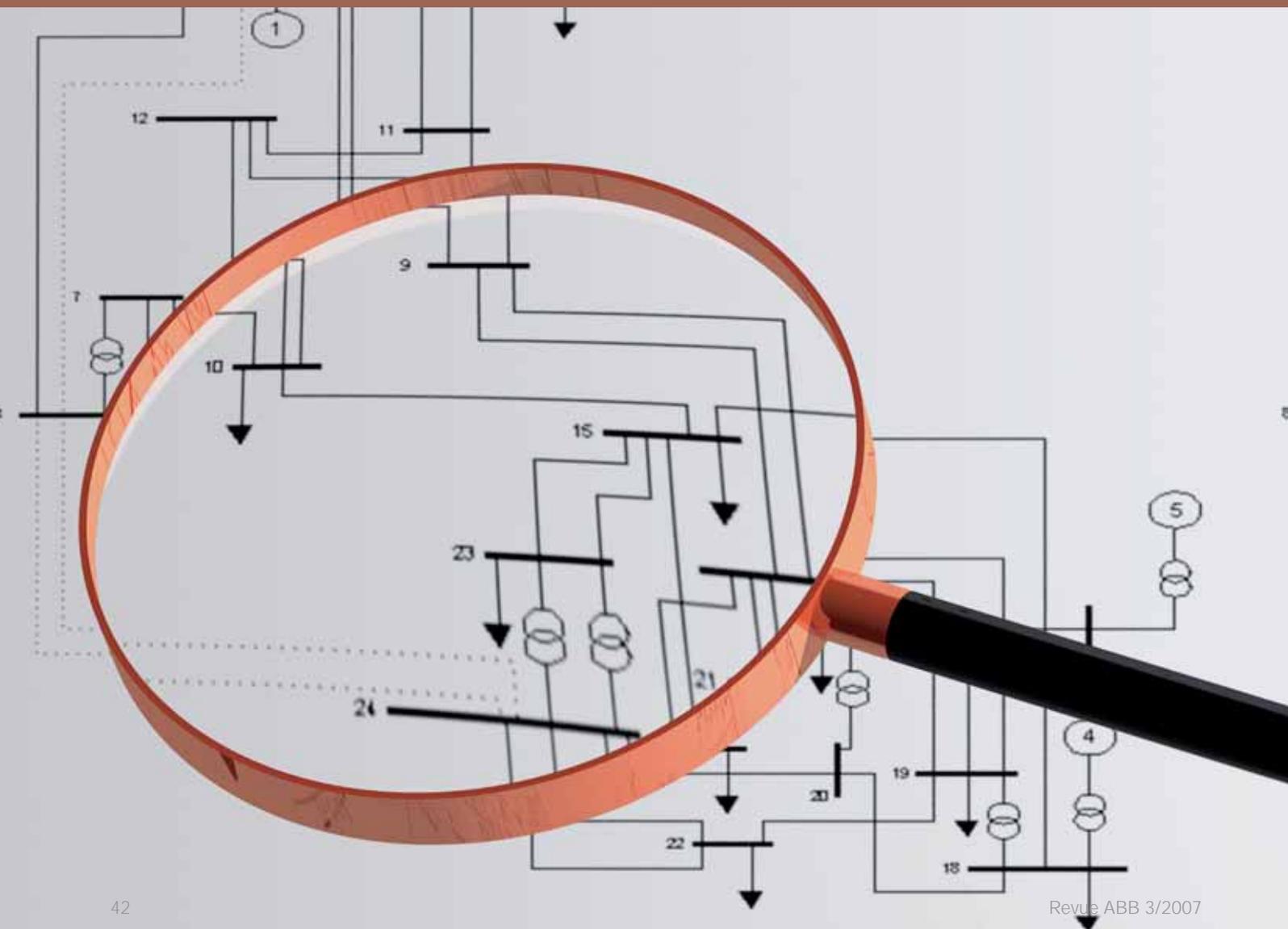


# Déjouer les liaisons dangereuses

Le détecteur de défauts à forte impédance d'ABB

Ratan Das, Deia Bayoumi, Mohamed Y. Haj-Maharsi

Ils échappent aux méthodes classiques de détection des défauts électriques, menacent la sécurité du public inconscient du danger et posent un défi sans précédent à nombre d'ingénieurs chargés de la protection des réseaux ; ce sont les défauts « à forte impédance », dont les jours sont désormais comptés ou révolus grâce à une innovation ABB baptisée *HIF Detect™*. La solution s'appuie sur plusieurs algorithmes permettant d'identifier les conducteurs tombés sur des sols de diverses natures comme le gravier, le béton, le sable... Bref, *HIF Detect™* sécurise et fiabilise l'ensemble du réseau électrique tout en améliorant la gestion des pannes.



La plupart des défauts électriques provoque une forte augmentation du courant s'écoulant vers l'endroit du défaut : il s'agit de défauts « à faible impédance » que les protections de surintensité classiques se chargent de détecter et de pallier. Les défauts à forte impédance (FI), quant à eux, surviennent lorsqu'un conducteur primaire est accidentellement en contact avec un autre objet ou matériau non conducteur : feuillage non élagué, chaussée, trottoir... Or, dans pareil cas, le courant de défaut est trop faible pour être décelé et déclencher les protections par relais ou fusibles [1]. En règle générale, ces défauts ne menacent pas le système électrique ; pour autant, un conducteur sous tension au sol est particulièrement dangereux pour la population. Les objets non conducteurs présentent de fortes impédances qui limitent d'autant le courant le traversant. Jusqu'ici, pas de problème pour les méthodes de protection classique!

Les courants de défauts à forte impédance sont trop faibles pour être décelés et déclencher les protections classiques par relais ou fusibles.

Les défauts FI se caractérisent par de faibles courants de défaut et la formation d'arcs. Dans un réseau de



distribution publique, les courants de défaut s'échelonnent habituellement de 0 A, pour un contact avec l'asphalte et le sable sec, à 50 A avec l'herbe humide ou encore 75 A avec le béton armé [1]. L'arc électrique, amorcé par l'espace interstitiel dû au mauvais contact avec le sol ou l'objet à terre, peut être à l'origine d'incendie. Cet espace, que l'on peut aussi retrouver dans le sol ou l'objet à terre (béton, arbre...), crée un fort potentiel, sur une courte distance, et génère l'amorçage de l'arc. Le niveau de courant dans l'arc n'est toutefois pas suffisant pour être correctement détecté par les protections classiques [2].

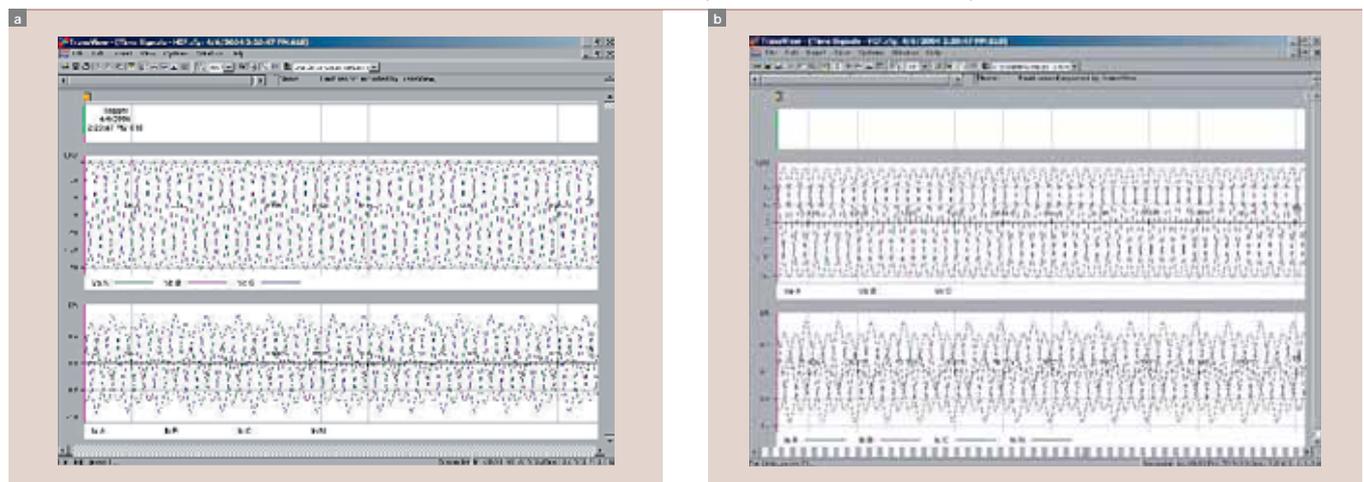
Mis au point dans le cadre du programme *Engineered for Safety™* d'ABB, au terme d'années de recherche-développement, HIF Detect™ s'intègre aujourd'hui pleinement dans l'offre de

protections électriques du Groupe, dont la REF550, illustrée à titre d'exemple en [2]. Cette solution économique et fiable a suscité l'engouement de nombreux distributeurs d'électricité du monde entier, qui ont déjà noué des partenariats avec ABB pour la tester dans un réseau électrique alimenté.

Les essais sur site furent l'occasion pour les distributeurs électriques de mettre à l'épreuve cette innovation technologique.

Les grandes lignes de HIF Detect™ [3] schématise un réseau électrique équipé de HIF Detect™.

1 Formes d'ondes de courant et de tension en l'absence de défaut a et en présence de défaut à forte impédance b



## Energie

HIF Detect™ se fonde sur des techniques brevetées de traitement avancé du signal et met en œuvre plusieurs algorithmes, chacun utilisant les diverses caractéristiques des courants à la terre pour détecter un défaut FI. Autrement dit, les signatures de ces courants peuvent être non stationnaires et temporairement

volatiles, avec plusieurs durées de rafale.

4 illustre l'acquisition, le filtrage puis le traitement des signaux du réseau électrique par chaque algorithme de détection des défauts FI, dont les sorties sont ensuite soumises à une logique de décision<sup>1)</sup> de détection du

défaut, en fonction ou non de son apparition.

Toutes les composantes harmoniques et non harmoniques, dans la fenêtre des signaux filtrés, peuvent être déterminantes dans la détection des défauts FI. La principale difficulté réside dans le développement d'un modèle de données reconnaissant l'apparition des défauts FI à tout moment dans la fenêtre d'observation du signal et pouvant être différé aléatoirement et considérablement atténué. Ce modèle est motivé par d'intenses recherches, des expériences en laboratoire, des essais sur le terrain et ce qui représente traditionnellement la description précise d'un signal non stationnaire à spectre temporel.

Les défauts FI sont dangereux pour les populations et provoquent des interruptions de fourniture qui réduisent la fiabilité, la sécurité et la continuité de la desserte.

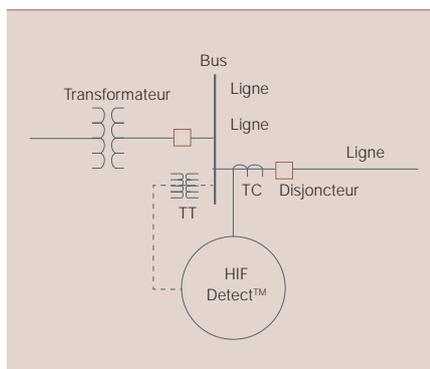
### Une affaire bouclée

De 1998 à 2000, le système HIF Detect™ d'ABB réussit de nombreux tests en laboratoire, avec des taux de bonne détection des défauts FI avoisinant 80% et de fausse détection proches de 0. Le détecteur fut ensuite installé sur une plate-forme embarquée de façon à s'intégrer à des dispositifs électroniques intelligents (IED) de protection et contrôle-commande des lignes d'alimentation. La démarche fut complétée en 2002 par les travaux d'un laboratoire de recherche indépendant ayant mené sa propre batterie de tests dans un réseau de distribution; ABB apporta alors quelques modifications au HIF Detect™ pour répondre aux besoins du laboratoire et de son acquisition de données.

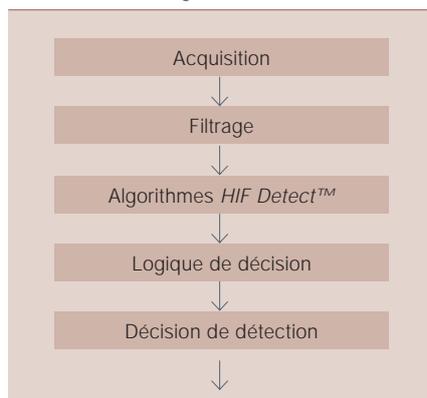
2 La protection de ligne d'alimentation REF550 d'ABB



3 Réseau électrique avec HIF Detect™



4 Traitement du signal dans HIF Detect™



5 IED équipés de HIF Detect™ et système d'acquisition de données



### Note

<sup>1)</sup> Adaptable aux besoins de l'application.

6 Validation de HIF Detect™ sur gravier a, sable b, béton c et herbe d



Outre ces IED équipés de la solution ABB, un système d'acquisition de données distinct pour les essais FI sur site fut développé <sup>5</sup>; cet outil, indépendant des détecteurs de défaut FI<sup>2</sup>, tourne sur logiciel LabVIEW de National Instruments. La plate-forme matérielle tout comme le développement du logiciel système sont des réalisations ABB.

HIF Detect™ s'intègre aujourd'hui pleinement dans l'offre ABB de protections électriques.

Les essais sur site des IED furent effectués tout en collectant les données des tests FI successifs, en partenariat avec des entreprises d'électricité d'Amérique du Nord, d'Amérique Latine et du Moyen-Orient. Ces essais sur lignes alimentées n'occasionnèrent aucune rupture d'approvisionnement du distributeur concerné ou de ses clients. La solution HIF Detect™ fut ainsi validée sur plusieurs types de sol (gravier, sable, béton et herbe <sup>6</sup>) et confirma sa sécurité dans diverses conditions de charge présentant des défauts FI. Ce fut aussi l'occasion pour les distributeurs électriques de mettre à l'épreuve une innovation technologique appelée à devenir la méthode de détection de défaut FI la plus fiable du marché.

ABB équipa d'office sa protection de ligne d'alimentation REF550<sup>3</sup>) (très appréciée pour son ergonomie) de la solution HIF Detect™. Deux paramètres suffisent : le premier fixe le niveau de sécurité du détecteur de défauts FI, de 1 (minimum) à 10 (maximum), avec un réglage usine à 5 ; le second permet de choisir entre un système à la terre ou non, avec la possibilité de désactiver la fonction.

Les essais sur site de cette plate-forme sont en cours.

La sécurité est de règle  
Pour les entreprises d'électricité, la sécurité des personnes passe avant tout. Or les défauts FI sont dangereux pour les populations et provoquent des interruptions de fourniture qui réduisent la fiabilité, la sécurité et la continuité de la desserte. De même, les défauts d'arc entraînent des pertes d'énergie et endommagent les installations. Si, dans le passé, les distributeurs esquaivaient la difficulté, il leur

faut aujourd'hui parfaitement détecter ces défauts tout en se prémunissant des erreurs : une détection fiable est une bonne parade contre les incendies et les dégâts matériels.

L'innovation HIF Detect™ d'ABB est aujourd'hui largement éprouvée par de nombreux essais sur site et validée par des résultats implacables.

La détection des défauts FI, nous l'avons vu, exige une méthodologie différente de celle applicable aux défauts à faible impédance classiques. L'innovation HIF Detect™ d'ABB est aujourd'hui largement éprouvée par de nombreux essais sur site et validée par des résultats implacables.

**Ratan Das**  
**Deia Bayoumi**  
ABB Inc USA  
Allentown, PA (Etats-Unis)  
ratan.das@us.abb.com  
deia.bayoumi@us.abb.com

**Mohamed Y. Haj-Maharsi**  
ABB Inc USA, Centre de recherche  
Raleigh, NC (Etats-Unis)  
mohamed.maharsi@us.abb.com

#### Notes

<sup>2</sup>) Ces dispositifs bénéficient en permanence de nouveaux développements et d'améliorations.

<sup>3</sup>) Produit commercialisé en janvier 2005 ; pour en savoir plus, rendez-vous sur [www.abb.com](http://www.abb.com) (mai 2007).

#### Bibliographie

- [1] Stoupis, J., Haj-Maharsi, M. Y., Nuqui, R., Kunsman, St. A., Das, R., *Quand la vie ne tient qu'à un fil - Détecter les défauts à forte impédance provoqués par les fils électriques tombés à terre*, Revue ABB 1/2004, p. 28-31
- [2] Russell, B.D., Benner, C.L., *Arcing Fault Detection for Distribution Feeders: Security Assessment in Long Term Field Trials*, IEEE Transactions on Power Delivery, April 1995, Vol. 10, No. 2, pp 676-683



# Un bolide en toute sécurité

La solution ABB de protection rapide des condensateurs série  
Rolf Grünbaum, Joacim Redlund, Louis P. Rollin

De nombreuses protections de surtension pour condensateurs série sont pénalisées par leur taille et leurs performances, et vulnérables aux aléas climatiques. Premier réflexe : chercher des équipements plus compacts et plus robustes ! Mais cela ne suffit pas ; il faut envisager un nouveau type de protection écopéformante, moins chère, plus souple et apte à tirer le meilleur parti de la technologie des condensateurs série.

ABB relève ce défi avec sa protection rapide FPD (*Fast Protective Device*), associée à une varistance à oxyde métallique primaire dans des applications de compensation série à haute tension et ultra haute tension. Testée dans des laboratoires mettant en œuvre de hautes tensions et de fortes puissances, une installation pilote est aujourd'hui à l'ouvrage sur le réseau électrique 315 kV du Canadien Hydro-Québec.

Rappelons que la compensation de puissance réactive par condensateurs série améliore sensiblement la capacité de transit des réseaux haute tension [1]. L'efficacité de la méthode tient à des batteries de condensateurs connectées en série aux lignes de transport dont elles réduisent l'impédance inductive tout en augmentant le transfert d'énergie et la stabilité dynamique. A une réserve près: la nature même de la connexion impose des condensateurs série garantissant une isolation totale du système par rapport à la terre. D'où l'installation du matériel du circuit principal sur des plates-formes monophasées qui sont ensuite isolées au niveau de la tension de ligne. Pour autant, cet équipement reste exposé aux affres du climat (neige, gel...) et de la pollution atmosphérique.

Autre problème: la batterie de condensateurs doit aussi encaisser tous les courants de ligne, ce qui n'est pas toujours possible pour des raisons tant pratiques qu'économiques. Le remède? Contourner les courants préjudiciables, ce qui revient à limiter la tension traversant la batterie de condensateurs. L'équipement correspondant doit supporter de très fortes puissances et garantir la stabilité de la protection par condensateurs en termes de performance et de vitesse de manœuvre. Ses caractéristiques dynamiques doivent aussi être à la hauteur pour rétablir rapidement les condensateurs après suppression d'un défaut de ligne. Les équipements de com-

mande et de protection sont normalement au potentiel de terre: il faut donc transmettre des signaux pour passer du niveau de la terre à celui de la tension de ligne.

Ce foisonnement de contraintes a tout naturellement amené les industriels à réclamer un nouveau dispositif de protection par condensateurs série. Un vœu exaucé par ABB avec sa solution FPD.

#### Explications

Depuis la décennie 80, nombreux sont les distributeurs électriques à utiliser la protection par varistance à oxyde métallique ou «MOV» (*Metal Oxide Varistor*). Ce composant offre certes d'excellentes performances mais la plupart des applications oblige à en multiplier le nombre, ce qui grève le coût de la solution. De plus, en cas de forts courants de défaut, la varistance doit absorber énormément d'énergie sur toute la durée du défaut. Pour réduire le nombre de MOV nécessaires, on peut leur ajouter un éclateur déclenché. Malheureusement, les conditions climatiques limitent les performances et la fiabilité de l'éclateur et, partant, de la protection complète. Dernier inconvénient: une protection de type MOV + éclateur occupe beaucoup d'espace.

La solution FPD d'ABB inaugure une nouvelle méthode de protection des équipements haute tension. Spécialement conçue pour les applications de protection par condensateurs série,

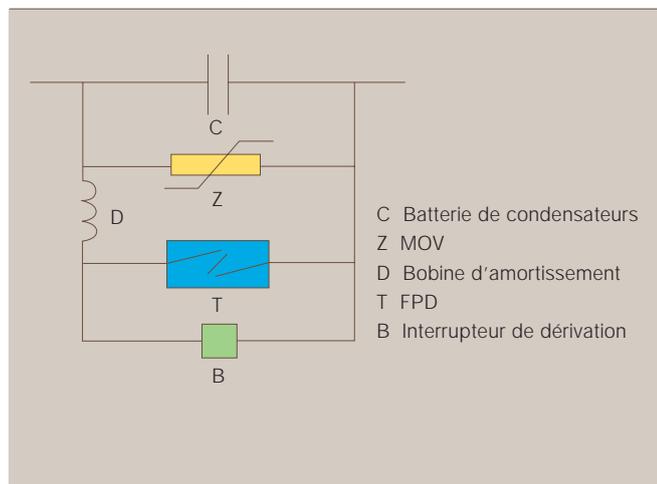
dont elle améliore la technique et enrichit le spectre fonctionnel, elle convient tout aussi bien à d'autres types d'appareillages haute tension. Elle intègre deux développements majeurs 1: un interrupteur de forte puissance ultrarapide et totalement étanche, dénommé *CapThor*, en lieu et place des traditionnels éclateurs; une unité de commande, de supervision et d'alimentation (depuis la terre jusqu'à n'importe quelle tension de ligne) appelée *OSU* 2 (*Operation and Supervision Unit*). Voyons-en le détail.

La solution FPD d'ABB inaugure une nouvelle méthode de protection des équipements haute tension par condensateurs série.

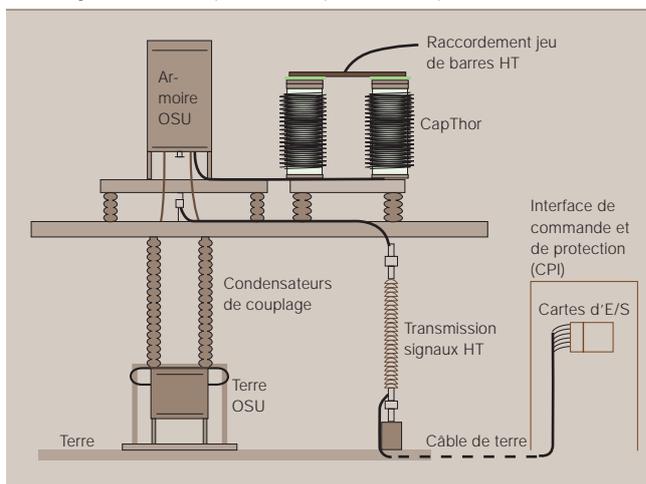
Associée à une MOV, la protection FPD permet de contourner les courants dommageables, d'une façon très contrôlée, afin de réduire la dissipation d'énergie dans la varistance. *CapThor* peut être manœuvré à plusieurs reprises au cours d'un défaut de façon à éviter et rétablir sans difficulté le condensateur série.

L'OSU se compose d'une alimentation au potentiel de la terre, d'une liaison de transfert de cette alimentation au potentiel de la plate-forme, d'une armoire abritant les condensateurs et

1 Schéma unifilaire de la protection FPD



2 Vue générale d'une phase de la protection rapide FPD



## Energie

d'une commande de manœuvre et de supervision de l'interrupteur.

La solution FPD intègre une bobine d'amortissement limitant le courant de décharge des condensateurs et un interrupteur de dérivation rapide utilisé pour la commutation générale et le contournement des condensateurs série. L'usage veut que les signaux de commande de la protection FPD passent par une liaison optique haute tension. FPD et ses composants standards autorisent la remise à niveau de la majorité des installations à condensateurs série existantes puisque le matériel est généralement indépendant du courant de ligne et des spécificités des batteries de condensateurs. Sans compter que la compacité de l'équipement en simplifie le transport et l'implantation. Prétesté en usine, il ne nécessite aucun réglage ni maintenance sur site, hormis les opérations de pressurisation à l'installation. Mais les avantages de la solution FPD d'ABB sur la protection par éclateurs ne s'arrêtent pas là :

- Possibilité de shuntage des condensateurs à de faibles tensions ;
- Insensibilité aux conditions climatiques ;
- Souplesse et évolutivité ;
- Autosurveillance.

#### CapThor

Il est constitué <sup>3</sup> d'un interrupteur à plasma de forte puissance ultrarapide, connecté en parallèle à un interrupteur mécanique <sup>3b</sup>. Tous deux sont placés côte à côte sur la plate-forme <sup>4</sup>, dans des boîtiers tubulaires en

composite, remplis de gaz haute pression, semblables aux chambres d'isolement des têtes de disjoncteurs à cuve sous tension modernes.

#### Interrupteur à plasma

Il consiste en une électrode de forte puissance dans laquelle on injecte un arc électrique ou un plasma conducteur comblant la distance d'isolement entre les électrodes principales. Contrairement aux éclateurs déclenchés, la fonction de l'interrupteur à plasma est foncièrement indépendante de la tension entre électrodes. Le temps nécessaire pour que l'interrupteur soit totalement conducteur après réception d'un signal de fermeture externe est compris entre 0,3 et 1 ms. L'arc électrique injecté est alimenté par une source d'énergie externe, à savoir un condensateur calibré à 820  $\mu\text{F}$  et chargé à 2,4 kV. L'arc est amorcé par une unité de déclenchement à très faible tension d'allumage. Le courant de l'arc électrique injecté augmente à la vitesse d'environ 100 A/ $\mu\text{s}$ , avec une amplitude de 10 kA sur une durée avoisinant 1 ms. Il est dirigé dans l'espace entre électrodes principales par les forces magnétiques qu'engendre la boucle de courant de l'unité de déclenchement.

La méthode de déclenchement de l'injection d'arc à forte puissance est utilisée depuis une décennie dans les applications à condensateurs série moyenne tension. L'interrupteur à plasma a un très grand pouvoir de fermeture ; statique, il est dépourvu de pièces en mouvement.

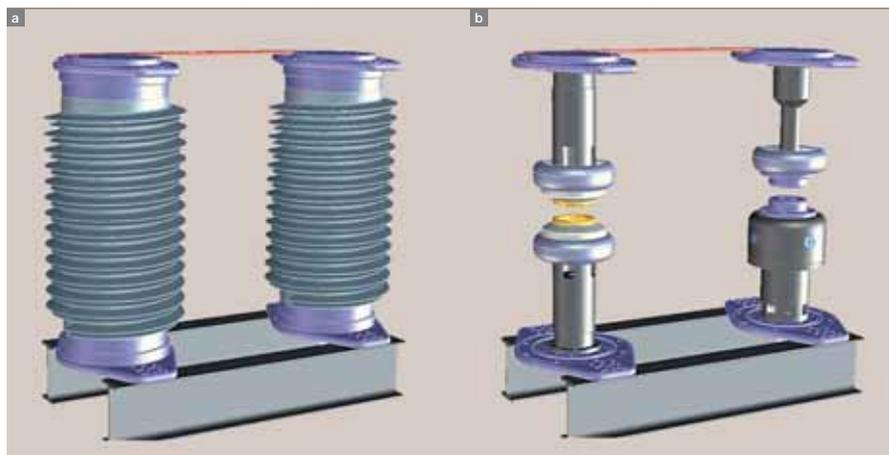
#### Interrupteur mécanique

Capable de passer très rapidement de l'état ouvert à l'état fermé, ce contact est actionné par l'effet miroir magnétique Thompson des forces répulsives. Comme pour l'interrupteur à plasma, l'arc électrique injecté est alimenté par une source d'énergie externe, avec des condensateurs cette fois calibrés à 4,785  $\mu\text{F}$  et chargés à 1,2 kV. Il fonctionne sur le même principe que les interrupteurs utilisés dans les appareillages moyenne tension d'intérieur<sup>1)</sup> pour la mise en parallèle des courants de défaut de terre afin d'éviter les dommages matériels et de protéger le personnel. Cet interrupteur rapide se caractérise par un haut pouvoir de fermeture aux faibles tensions correspondant à la chute de tension dans l'arc de l'interrupteur à plasma et les impédances du circuit local. Ses temps de fermeture/ouverture sont inférieurs à 5 ms. Par contre, son pouvoir de coupure est réduit ; dans les applications FPD à condensateurs série, il ne peut s'ouvrir que lorsque l'interrupteur de dérivation à haute tension est fermé.

#### Commande et supervision

L'OSU se résume à trois principaux éléments : un module de commande au potentiel de terre, une liaison de transfert haute tension et, sur la plateforme, un module de commande à la tension de ligne. Dans le premier, une tension continue, fournie par une alimentation sans interruption, est convertie par un oscillateur en tension alternative à haute fréquence. L'oscillateur est raccordé à deux conden-

<sup>3</sup> Vue externe <sup>a</sup> et interne (b) de CapThor  
A gauche de <sup>b</sup>, interrupteur à plasma ; à droite, interrupteur mécanique



Encadré Kamouraska

L'installation comporte 4 condensateurs série, d'une puissance réactive unitaire de 192 Mvar, pour assurer le transfert d'énergie sur 4 lignes parallèles à 315 kV. Ces derniers compensent non seulement les réactances de ligne de 60 % mais renforcent aussi la stabilité transitoire du réseau électrique. Ce couloir de transport est une importante liaison pour l'exportation d'énergie vers le Nouveau-Brunswick (Canada). Installés en 1987, les condensateurs sont protégés par des MOV associées à des éclateurs déclenchés.

sateurs de couplage <sup>2</sup> haute tension servant à combler la différence de potentiel entre terre et tension de ligne; ces derniers sont du même type que ceux utilisés dans les transformateurs de tension capacitifs et les liaisons à courants porteurs. La capacité de la liaison de transfert est ajustée par deux bobines de compensation raccordées pour donner une impédance de circuit nulle à la fréquence réelle.

Dans le module de commande de la plate-forme, la tension alternative est convertie en tensions locales continues de 1,2 kV et 2,4 kV, qui chargent en permanence la batterie de condensateurs d'énergie nécessaires aux interrupteurs (plasma et mécanique) de CapThor; la quantité de condensateurs utilisés est fonction du nombre requis de manœuvres consécutives de CapThor.

#### CapThor, OSU et le client

Soucieux de valider sa solution *in situ*, ABB équipa, en octobre 2003, les condensateurs série de Kamouraska **Encadré** d'une installation pilote FPD <sup>4</sup>. Durant les huit premiers mois de son exploitation, celle-ci n'eut pas vocation à protéger le réseau mais à subir une batterie d'essais fonctionnels effectués sous tension et dans des

<sup>4</sup> Installation pilote FPD: au premier plan, la liaison de transfert de l'alimentation; à droite, la transmission optique; sur la plate-forme, CapThor (à droite) et l'armoire OSU (à gauche)



conditions climatiques réelles, sous contrôle d'ABB et d'Hydro-Québec. Ce n'est qu'à un stade ultérieur qu'elle remplaça la solution par éclateurs pour assurer la protection des condensateurs en étant couplée à la MOV originale.

La communication avec l'OSU emprunte une liaison à fibre optique reliant la plate-forme et la salle de conduite<sup>2</sup>; là, une interface de commande et de protection CPI (*Control and Protection Interface*) est raccordée au système de protection existant et aux enregistrements d'événements au fil de l'eau de l'OSU. Lors d'une commande de protection, le système envoie un ordre de fermeture à l'interface CPI qui le transmet à l'OSU, laquelle manœuvre à son tour CapThor.

Les essais FPD doivent s'achever courant 2007.

#### Un potentiel d'innovation

Le développement d'un nouveau système de protection, ultrarapide et contrôlable, fut l'occasion pour les ingénieurs de jeter un regard neuf sur ce domaine. La solution FPD a notamment la faculté de contourner un condensateur série dès qu'est détecté un défaut de ligne interne et avant d'atteindre le niveau de protection du condensateur, avec le triple avantage de réduire l'amplitude du courant de décharge, la dissipation d'énergie de la MOV et les contraintes habituelles sur les condensateurs et autres équipements: une prouesse technologique qui desserre l'étau des critères de conception des condensateurs série et allège les coûts.

La rapidité de fermeture et d'ouverture du FPD mérite aussi une mention spéciale: la solution d'ABB est capable de contourner et de rétablir le condensateur série dans tous les cas de défaut de ligne sans nuire à l'état du système. Autant dire que le FPD devient la protection primaire, reléguant la MOV au rang de dispositif de secours. Ce montage permet là encore d'assouplir les règles de conception de la MOV.

Autres attraits du FPD: sa rapidité de fermeture et sa capacité de déclenchement à de faibles tensions. Le conden-

sateur série d'une ligne de transport peut davantage agir sur l'amplitude de la tension transitoire apparaissant à l'ouverture d'un disjoncteur de ligne pour supprimer un défaut. La tension affectant le pouvoir de coupure du disjoncteur est la «tension transitoire de rétablissement (TTR)». Ces deux atouts permettent de contourner le condensateur série bien avant l'ouverture du disjoncteur de ligne. La vitesse de manœuvre aidant, l'état de la ligne et la TTR aux bornes du disjoncteur sont semblables à une commutation de ligne, en l'absence de tout condensateur série.

#### Tout à gagner

Pour Hydro-Québec, ce partenariat avec ABB fut l'occasion de développer et d'évaluer conjointement une innovation majeure, tout en dépassant le cadre de la simple relation client-fournisseur. Chacun a su pleinement tirer profit de l'expérience: le concepteur a pris conscience des besoins précis de son client et ce dernier s'est très tôt familiarisé avec le nouvel équipement.

Dans un monde de plus en plus énergivore, la solution FPD d'ABB vient à point nommé pour doper efficacement la capacité de transport des réseaux électriques. Gageons que cette innovation s'imposera dans la protection par condensateurs série!

Rolf Grünbaum  
Joacim Redlund  
ABB AB, FACTS  
Västerås (Suède)  
rolf.grunbaum@se.abb.com  
joacim.redlund@se.abb.com

Louis P. Rollin  
Hydro-Québec

#### Bibliographie

[1] Grünbaum, R., Pinero, J. L., *Series compensation goes the distance, Modern Power Systems*, June 2001

#### Notes

<sup>1)</sup> Interrupteurs à fermeture seule et ouverture manuelle

<sup>2)</sup> Située à environ 240 m de la plate-forme.



# Alliance technologique au sommet

Le géant français de l'électricité EDF et le groupe ABB coopèrent pour « transformer » le réseau de distribution publique

Pawel Klys, Marcin Blaszczyk, Alain Zagouri,  
Peter Rehnstrom, Egil Stryken

Tout produit abouti est un savant amalgame de savoir-faire, d'innovation et de synergie. Le transformateur de distribution triphasé à protection-coupure intégrée d'ABB en est la parfaite illustration. Conçu pour satisfaire aux exigences croissantes de fiabilité, maintenabilité, disponibilité et sécurité (FMDS) d'EDF, cet appareil hermétique se plie à la réglementation environnementale la plus stricte. C'est aussi un exemple de coopération efficace dont la réussite a dépassé les attentes des deux partenaires.

EDF Encadré possède et exploite l'un des plus importants réseaux de distribution électrique d'Europe. La France à elle seule compte 700 000 transformateurs de distribution immergés dans l'huile, d'une puissance assignée de 50 à 1000 kVA, qui font partie des éléments les plus fiables du réseau; pour autant, cette caractéristique enviée peut être compromise en l'absence de protection adéquate. C'est le cas des «petits» transformateurs haut de poteau de 50 à 160 kVA, souvent dépourvus de fusibles et d'interrupteur de charge: une lacune lourde de conséquences sur le reste du réseau de distribution, notamment lors de fortes tempêtes, comme celles qu'a connues le pays fin décembre 1999<sup>1)</sup>. Cet épisode climatique extrême a révélé la vulnérabilité de certains tronçons du réseau et amené EDF à enfouir une partie de son réseau de distribution moyenne tension (MT). Quelques lignes souterraines mettent en œuvre des postes secondaires compacts monoblocs (concept CSS), équipés de petits transformateurs 100 à 250 kVA. La protection de l'équipement est assurée par un appareillage qui grève lourdement le coût total des investissements.

EDF n'a toutefois pas attendu ces événements exceptionnels pour se convaincre de sécuriser son réseau de distribution : un programme allant dans ce sens avait déjà été lancé dans les années 90. En 1996, EDF édictait ses propres spécifications techniques sur une gamme de transformateurs «auto-protégés», couvrant des puissances de 50 à 250 kVA : ce transformateur à protection-coupeure intégrée ou «TPC», immergé dans l'huile, devait être doté d'un interrupteur de charge, de fusibles, d'une protection thermique et d'un contrôle du niveau d'huile dans la cuve. Les premières sociétés à remplir ce cahier des charges furent Areva (anciennement Alstom), Schneider, Transfix et Pauwels. A ce palmarès vint se greffer ABB qui, dès 1993, fut l'un des premiers industriels à s'impliquer dans le développement de cette nouvelle génération de transformateurs.

Des 17 000 transformateurs achetés chaque année par EDF, 75 % sont de type TPC. Et l'électricien français de confirmer : «pour fiabiliser notre réseau de distribution, tous les nouveaux transformateurs immergés dans l'huile seront bientôt des TPC». Hélas, une bonne partie du parc de transformateurs EDF contient des PCB ! Le groupe s'est donc plié aux réglementations européennes et françaises en menant une campagne de remplacement de ses appareils afin de «dépolluer» son réseau d'ici à 2010. Résultat, ces derniers mais aussi tous les postes de distribution compacts équipés de transformateurs de 400 et 630 kVA recevront un TPC, au sein d'un nouveau Poste Urbain Intégré à son Environnement (PUIE), spécifique à EDF.

Grand constructeur mondial de transformateurs, ABB entendait bien développer son propre TPC, certifié EDF.

Une ambition amplement satisfaite et de surcroît concrétisée aujourd'hui par un contrat cadre avec l'énergéticien français. Les transformateurs TPC d'ABB ont ainsi accès à l'un des plus gros marchés européens de l'énergie tout en consolidant leur avantage commercial sur les marchés du giron EDF. Mais voyons plus précisément ce que recèle cet appareil.

## Grand constructeur mondial de transformateurs, ABB entendait bien développer son propre TPC, certifié EDF.

### Un nouveau palier technique

Le TPC d'ABB **1** et **2** reprend les grands principes et normes du transformateur de courant (TC) classique, tout en enrichissant le spectre fonctionnel des transformateurs de distribution. Ce transformateur triphasé est à cuve hermétique<sup>2)</sup> et remplissage intégral d'huile minérale ; il inclut en outre une protection qui, en cas d'avarie accidentelle de l'appareil, empêche toute manifestation extérieure (fuite...) domageable à l'environnement et à l'homme. Le TPC d'ABB remplit les prescriptions techniques EDF<sup>3)</sup> ; il est aussi conforme à la CEI 60076-13<sup>4)</sup>.

Cette protection intégrée, généralement déclenchée par des défauts électriques haute tension, provoque immédiatement une «déconnexion systématique des trois phases du réseau».

Plusieurs objectifs sont visés :

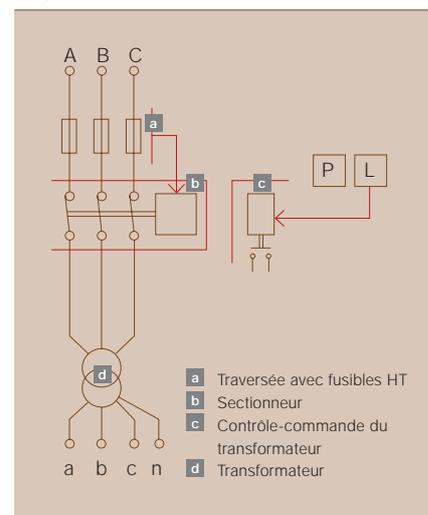
- Eliminer tous les défauts internes, sans manifestation externe ;
- Protéger le réseau HTA amont ;
- Eliminer les défauts aval, sans manifestation externe ;

- Eliminer les défauts des traversées et jeux de barres basse tension qui, à leur tour, peuvent engendrer le

Encadré Electricité de France

Groupe « multi-énergies » présent dans tous les secteurs de la filière électrique et acteur majeur du marché français, solidement implanté au Royaume-Uni, en Allemagne et en Italie, EDF est à la tête du premier parc de production européen. En 2006, il comptait environ 37 millions de clients dans le monde et employait quelque 156 000 personnes. Pour en savoir plus, rendez-vous sur [www.edf.com](http://www.edf.com).

- 1** Poste électrique à transformateur TPC équipé de traversées embrochables en résine



- 2** Transformateur TPC équipé de traversées embrochables en résine



### Notes

- <sup>1)</sup> Les 26, 27 et 28 décembre 1999, de graves tempêtes paralysaient les réseaux français et allemand, faisant d'importants dégâts matériels et environnementaux. Rappel des faits sur [http://www.absconsulting.com/resources/Catastrophe\\_Reports/Lothar-Martin%20Report.pdf](http://www.absconsulting.com/resources/Catastrophe_Reports/Lothar-Martin%20Report.pdf) (avril 2007)
- <sup>2)</sup> Les parois de la cuve à ailettes ondulées suffisent au refroidissement naturel du transformateur et compensent les variations du volume d'huile pendant le fonctionnement de l'appareil.
- <sup>3)</sup> Le Centre de Normalisation d'EDF (CDN), relevant de la Direction de la Stratégie et du Développement – EDF R&D, édite un catalogue de spécifications référencées «HN», recensant les exigences techniques que doit satisfaire un produit, un procédé ou un service.
- <sup>4)</sup> Norme sur les transformateurs HTA/BT auto-protégés, immergés dans un liquide diélectrique et à ventilation naturelle, de puissance assignée comprise entre 50 kVA et 1000 kVA, pour installations intérieures et extérieures [www.iec.ch](http://www.iec.ch) (avril 2007)

## Energie

déclenchement de la protection par fusible et surpression ;

- Protéger les équipes de maintenance des éventuels défauts du transformateur.

Précisons que la protection du TPC est inopérante lorsque le défaut se situe sur le réseau de distribution ; de même, une fois déclenchée, elle n'engendre pas de coupure sur cette partie du réseau.

Les avantages des transformateurs TPC sont légion, le plus manifeste étant la capacité à minimiser les effets sur l'environnement d'un dysfonctionnement de l'appareil. La fourniture électrique gagne aussi en qualité, la durée des coupures étant réduite. La maintenance est simplifiée puisqu'elle s'apparente à celle d'un transformateur scellé classique. L'emploi d'appareils sur poteau <sup>3</sup> évite d'avoir recours à un interrupteur-fusible ; de même, dans les postes électriques, les TPC sont appréciés pour leur compacité.

Certes, ce transformateur fut conçu suivant les règles édictées par EDF ; toutefois, le concept peut s'appliquer à des transformateurs triphasés immergés dans l'huile, de puissance 50 à 250 kVA pouvant atteindre dans l'avenir 630 kVA. Les équipements actuels limitent la tension de l'appareil à 24 kV.

#### Fabrication

Si la Finlande fut le berceau de la technologie TPC d'ABB, c'est l'usine hyperspécialisée [1] de Lodz (Pologne) qui, en 2004, en entreprit la construc-

<sup>3</sup> Transformateur TPC de poteau, équipé de traversées extérieures en résine



tion et les essais. Le principe TPC d'origine a depuis évolué : le dispositif de protection-coupure a été remanié et simplifié pour mieux satisfaire aux exigences de fiabilité et faciliter la production du transformateur. Ces améliorations se sont surtout fondées sur le retour d'expérience d'EDF (en particulier, de son pôle EDF R&D) et sur une intime connaissance des besoins spécifiques du client. Les transformateurs TPC ont été amplement testés partout en Europe mais la validation de leur fonction protection reste l'apanage du laboratoire EDF des Renardières, qui possède les compétences et les équipements de rigueur.

Cette nouvelle solution fait aujourd'hui l'objet de dépôts de brevets : un acquis inenvisageable sans la féconde coopération entre ABB et EDF.

Un transformateur se singularise aujourd'hui par les fonctions de sécurité qu'il assure et intègre : c'est là que réside la valeur ajoutée du produit et son adéquation aux exigences du client.

#### Une force de frappe marketing ?

ABB et EDF ne sont pas près de couper les ponts ! Bien au contraire, leur rapprochement ne peut que se confirmer dans l'avenir. Fort de ce partenariat naturel et de cette relation client-fournisseur privilégiée, ABB entend renforcer son alliance commerciale avec le premier énergétique de France. Constructeur de transformateurs éprouvés et validés, ABB n'est pas seulement en mesure de satisfaire aux prescriptions d'EDF mais aussi de l'aider à mener à bien son programme de remplacement des transformateurs au PCB.

Ce qui ne l'empêche pas de diversifier sa clientèle ! La solution TPC ne se cantonne pas à EDF et au territoire français. Un exemple : afin de répondre aux nouvelles réglementations en vigueur après le passage de l'ouragan Gudrun en 2005, la Suède travaille actuellement à une spécification conforme CEI 60076-13. ABB a pris les devants en développant, spécialement pour le marché suédois<sup>9</sup>, des transformateurs

classiques à protection-coupure intégrée ; cette initiative a déjà débouché sur une commande de Jämtkraft, une entreprise d'électricité du nord du pays, appuyée par la coopération du fabricant de postes électriques compacts Norrmontage. A Lodz, ABB a lancé la production du transformateur TPC pour le marché international, au premier semestre 2007. Ses commerciaux s'affairent dans le monde entier pour promouvoir cette technologie de protection-coupure intégrée et suivre de près les marchés potentiels, en quête de nouveaux clients.

Les principes fondamentaux et lois physiques régissant le fonctionnement d'un transformateur sont éternels. Toutefois, un appareil peut aujourd'hui se singulariser par les fonctions de sécurité qu'il assure et intègre : c'est là que réside la valeur ajoutée du produit et son adéquation aux exigences du client. Conscient de cette nouvelle donne, ABB n'a de cesse de promouvoir des solutions toujours plus performantes et de mener, sur tous les fronts, la course au progrès des transformateurs.

Pawel Klys

Marcin Blaszczyk

ABB Pologne, Support R&D

Lodz (Pologne)

pawel.klys@pl.abb.com

marcin.blaszczyk@pl.abb.com

Alain Zagouri

ABB France, Division Energie

Courtabœuf - Les Ulis (France)

alain.zagouri@fr.abb.com

Peter Rehnstrom

ABB Power Products

Linköping (Suède)

peter.rehnstrom@se.abb.com

Egil Stryken

ABB AS

Drammen (Norvège)

egil.stryken@no.abb.com

#### Note

<sup>9</sup> Solution développée et mise en œuvre par ABB Suède, sous l'appellation *SafeGrid*.

#### Bibliographie

[1] Hegyi, S., *Le tempo de la fabrication*, Revue ABB 1/2006, p. 12-15 (intertitre *Site de production par lots*, p. 14)



# Bien huilé !

L'huile végétale BIOTEMP® d'ABB « booste » les performances des transformateurs de puissance haute tension

J. C. Mendes, A. S. G. Reis, E. C. Nogawa, C. Ferra, A. J. A. L. Martins, A. C. Passos

Depuis son invention, le transformateur a évolué en termes de fonctionnalités et d'encombrement, s'adaptant ainsi à la mutation rapide et à la complexité croissante des réseaux électriques. Un élément est pourtant demeuré quasiment inchangé depuis sa première application en Allemagne, en 1890 : l'emploi d'huile minérale comme fluide isolant et de refroidissement. Néanmoins, le choc pétrolier du début des années 70 et la hausse de la demande de combustibles non polluants ont débouché sur plusieurs initiatives et développements technologiques importants visant à mettre au point des carburants alternatifs, en particulier pour le secteur automobile.

Au Brésil, la filière électrique a consacré beaucoup d'efforts pour développer une huile végétale isolante à base d'huile de ricin. Pour autant, l'huile végétale BIOTEMP® haute performance d'ABB pour transformateurs et autres matériels haute tension (HT) semble être la solution recherchée. CEMIG, compagnie électrique de la région sud-est du Brésil et gros client d'ABB, fut la première au monde à utiliser BIOTEMP® comme fluide isolant et de refroidissement dans un transformateur de puissance HT.

La rentabilité des activités de production, transport et distribution d'électricité est tributaire de la fiabilité, de la disponibilité, de la capacité de charge, de la durée de vie et de la maintenance des transformateurs de puissance ainsi que du respect de contraintes environnementales. Tous ces facteurs poussent nombre d'entreprises électriques à rechercher des technologies avancées pour leur parc de transformateurs, qu'ils soient neufs ou rénovés.

Ainsi, au Brésil, les énergéticiens et les industriels s'intéressent de plus en plus aux matériels électriques immergés dans l'huile végétale, non seulement par souci écologique mais également pour se conformer à la volonté politique incitant à l'utilisation d'éco-carburants<sup>1)</sup>. De surcroît, le pays cherche à remplacer au maximum l'huile minérale isolante importée, d'une part pour s'affranchir du soufre corrosif contenu dans le pétrole importé, d'autre part, pour des impératifs économiques. Enfin, l'organisme de normalisation brésilien a déjà publié des spécifications sur l'huile végétale isolante, similaires à celles de l'ASTM (*American Standards for Testing & Materials*)<sup>2)</sup>.

L'entreprise CEMIG **Encadré 1** a toujours été aux avant-postes du progrès technique et accompagne de longue

date le développement et la mise en application des technologies de pointe ABB. Dans les années 70, par exemple, elle fut le premier énergéticien brésilien à adopter le réseau de transport longue distance 525 kV d'ABB<sup>3)</sup> et, dès 1992, à soutenir ABB dans le développement et la mise en œuvre d'un projet de réparation sur site des gros transformateurs [1]. Plus récemment, CEMIG a proposé une solution complète pour le diagnostic et la rénovation d'une inductance shunt 525 kV [2]. C'est donc sans surprise que le Brésilien a été le premier à utiliser l'huile BIOTEMP® [3] comme diélectrique et fluide d'évacuation des pertes thermiques dans ses transformateurs pour réseaux 145 kV.

BIOTEMP® est parfaitement compatible avec les isolants solides et biodégradable à 97 % en 21 jours.

**Main dans la main**

Outre son soutien de longue date au développement et à la mise en œuvre de nouvelles technologies, d'autres facteurs ont incité CEMIG à participer au projet. L'entreprise électrique se doit d'améliorer sans cesse la fiabilité de la desserte de ses clients, notam-

ment en tenant compte des régimes de charge extrêmement contraignants et des exigences de sécurité. Qui plus est, CEMIG se voulant un fournisseur fiable et respectueux de l'environnement, l'utilisation d'une huile isolante biodégradable, pouvant être traitée et sans danger pour l'environnement est assurément un pas dans la bonne direction.

Le projet conjoint ABB-CEMIG porta essentiellement sur des transformateurs livrés à CEMIG en 1974 (138/13,8 kV, 10/15 MVA, de type ONAN/ONAF). Leur rénovation, notamment l'utilisation d'un isolant solide hybride (DuPont Nomex® + cellulose) et d'huile végétale BIOTEMP® d'ABB, a permis de porter la puissance nominale du transformateur à 25 MVA (ONAF). La rénovation de l'appareil incluait par ailleurs :

- l'utilisation de la technologie TrafoStar™ d'ABB ;
- une forte hausse de la capacité de surcharge – jusqu'à 70 % de plus que la puissance assignée – sans raccourcir la durée de vie ;
- l'intégration du système avancé de commande électronique et de surveillance en ligne TEC d'ABB ;
- la régulation en charge basse tension en utilisant un changeur de prise de type UZ d'ABB rempli d'huile végétale BIOTEMP® ;

**Encadré 1** CEMIG

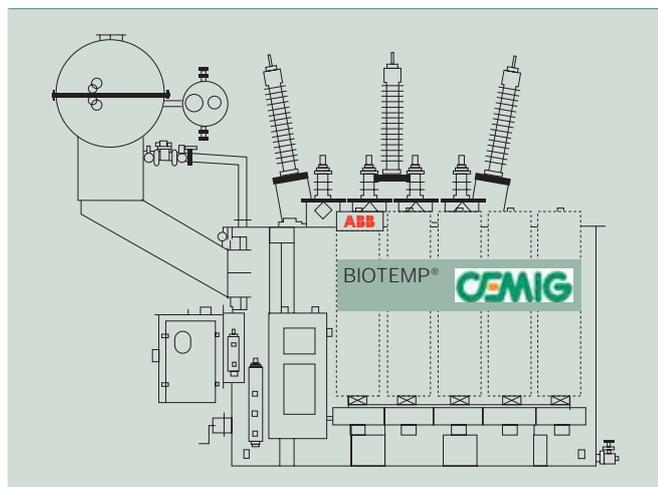
CEMIG (*Companhia Energética de Minas Gerais*), opérateur du système électrique de l'Etat du Minas Gerais (sud-est du Brésil), possède un parc de production de 6113 MW, un réseau de transport de plus de 21 000 km de lignes (dont 4912 km de lignes très haute tension de 230 kV à 500 kV) et un réseau de distribution de plus de 379 400 km. Il approvisionne une région grande comme la France (environ 568 000 km<sup>2</sup>) qui compte 774 villes et 17 millions d'habitants.

**Encadré 2** Propriétés types du fluide isolant d'un transformateur.

PROPRIÉTÉS TYPES DES FLUIDES ISOLANTS				
	BIOTEMP	Huile minérale	H.T.H.*	Silicone
<b>Electriques</b>				
Rigidité diélectrique, kV (ASTM D877)	45	30	40	43
<b>Physiques</b>				
Viscosité, cSt 100 °C	10	3	11,5	16
(ASTM D445) 40 °C	45	12	110	38
0 °C	300	76	2200	90
Point d'éclair, °C (ASTM D92)	330	145	285	300
Point de feu, °C (ASTM D92)	360	160	308	330
Chaleur spécifique (J/g/K) (ASTM D2766)	0,47	0,43	0,45	0,36
Coefficient d'expansion, /°C (ASTM D1903)	6,88 x 10 <sup>-4</sup>	7,55 x 10 <sup>-4</sup>	7,3 x 10 <sup>-4</sup>	1,04 x 10 <sup>-3</sup>
Point d'écoulement, °C (ASTM D97)	-15 à -25	-40	-24	-55
Densité (ASTM D1298)	0,91	0,91	0,87	0,96
Couleur (ASTM D1500)	<0,5	0,5	0,5 - 2,0	<0,5
<b>Environnementales</b>				
Biodégradabilité, % 21 jours, test CEC L-33	97,0	25,2	27,1	0,0

\* Hydrocarbure haute température (ASTM D5222)

1 Nouveau transformateur de réglage (25 MVA, 145 kV) rempli d'huile végétale BIOTEMP® d'ABB.



- des traversées haute tension de type GOB d'ABB, également remplies de BIOTEMP®.

Pour CEMIG, un transformateur «boosté» par ABB offre de nombreux avantages :

- fiabilité accrue ;
- disponibilité renforcée du fait d'une réduction des besoins de maintenance ;
- coûts d'installation en baisse ;
- moindre risque d'explosion et, donc, de pollution des eaux souterraines et de la nappe phréatique par rapport aux transformateurs remplis d'huile minérale. En cas d'explosion, l'huile végétale dégage des sous-produits non toxiques beaucoup moins dangereux.

**BIOTEMP®** : le nec plus ultra de l'huile végétale  
 BIOTEMP® est le nom commercial d'un fluide diélectrique biodégradable performant à base d'huile végétale naturelle hautement oléique. Il possède d'excellentes propriétés diélectriques, une grande stabilité thermique et des points d'éclair et de feu élevés (respectivement 330 °C et 360 °C contre 145 °C et 160 °C pour l'huile minérale). BIOTEMP® est parfaitement compatible avec les isolants solides et biodégradable à 97% en 21 jours. Il s'agit d'une huile inhibée normalisée ASTM D2440 (méthode d'essais de stabilité à l'oxydation de l'huile isolante minérale) et ASTM D3487 type II [4], sans PCB. Un comparatif entre BIOTEMP® et d'autres fluides isolants est donné dans l'Encadré 2.

BIOTEMP® absorbant l'humidité, il allonge considérablement la durée de vie du papier isolant qui y est immergé. En fait, une étude réalisée à partir de mesures de résistance à la traction et du degré de polymérisation a montré que le papier kraft immergé dans BIOTEMP® dure deux fois plus long-

Les innovations dans le domaine des matériaux permettent aux entreprises d'électricité de rénover leurs vieux transformateurs, de renforcer la sécurité de leur parc installé, de réduire son budget de maintenance et de prolonger sa durée de vie.

temps que le papier immergé dans l'huile à base de pétrole. Cette caractéristique, associée aux propriétés thermiques supérieures de BIOTEMP®, permet aux enroulements d'un transformateur de supporter une température de point chaud plus élevée. Ces propriétés thermiques simplifient l'installation du transformateur dans la mesure où :

- les murs pare-feu de la cellule du poste électrique n'ont plus de raison d'être ;
- les risques d'incendie et les primes d'assurance sont réduits ;
- les protections anti-incendie de la

Encadré 3 Propriétés du transformateur avant et après rénovation

	Transformateur original	Transformateur rénové
Numéro de série	54381	
Fabricant	ASEA	ABB
Année	1974	2006
Fréquence, Hz	60	60
Phases	3	3
Tensions	138 ± 2 x 2,5% / 13,8 ± 16 x 0,625 kV	
Puissance nominale, MVA	15 (ONAF2)	25 (ONAF2)
Surcharge, MVA	-	37,5 (6 h, 150 %) 42 (4 h, 170 %)
Changeur de prise en charge	UZERN 250	UZF 250
Isolant	Cellulose	Hybride (Nomex + cellulose)
Type d'huile	Minérale	BIOTEMP®

cellule du poste peuvent être optimisées efficacement ;

- la distance séparant le transformateur des matériels et/ou des bâtiments environnants est moins critique.

**L'union fait la force**

La reconception électrique et mécanique du transformateur a été intégralement menée par ABB Brésil. En particulier, le travail des ingénieurs a porté sur :

- *Le dimensionnement de l'isolation des enroulements* en utilisant un isolant carton et papier Nomex® : imprégnés d'huile végétale, leur permittivité diélectrique est très différente de celle du papier cellulosique standard imprégné d'huile minérale. Il en résulte une distribution spécifique du potentiel électrique reposant sur la structure isolante combinant cellulose et Nomex (papier et/ou carton comprimé) imprégné d'huile isolante ;
- *La connexion d'enroulement interne* en utilisant des câbles isolés au papier pour le dimensionnement

**Notes**

<sup>1)</sup> Au Brésil, les voitures équipées d'un système polycarburant (encore appelées véhicules *Flex Fuel* ou à carburant modulable) peuvent rouler indifféremment au gaz naturel, à l'essence, à l'éthanol de canne à sucre et au mélange d'essence et d'éthanol (dans toutes les proportions). Les camions roulent au biodiesel.  
<sup>2)</sup> Organisme de normalisation qui rédige et publie des normes techniques volontaires pour une large gamme de matériels, produits, systèmes et services.  
<sup>3)</sup> Dans les années 70, BBC (*Brown Boveri Corporation*) et ASEA ont participé, séparément, au réseau à 525 kV de CEMIG.

électrique et thermique en régimes de surcharge ;

- *Le dimensionnement du système de refroidissement externe et la mesure de l'échauffement*, en tenant compte des écarts de viscosité des huiles végétales et minérales, et des contraintes de charge.

Le transformateur rénové est illustré en 1 et ses caractéristiques, avant et après modification, résumées dans l'Encadré 3.

La fabrication du transformateur était conforme aux règles TrafoStar™. Un procédé spécial de remplissage d'huile végétale, avec circuit d'huile temporaire séparé ainsi que des machines de traitement de l'huile (unité de vide thermique, filtres, chauffage et flexibles) furent utilisés. D'autres paramètres tels que le conditionnement, la méthode et la durée du remplissage

sous vide de l'huile, les temps de circulation et de repos du fluide avant essais, furent définis et appliqués. Chaque étape a fait l'objet d'un contrôle qualité conforme à la méthode Six-Sigma<sup>4)</sup> d'ABB. Les traversées HT ABB de type GOB furent également remplies de BIOTEMP® et testées dans les moindres détails.

**Un vrai champion**

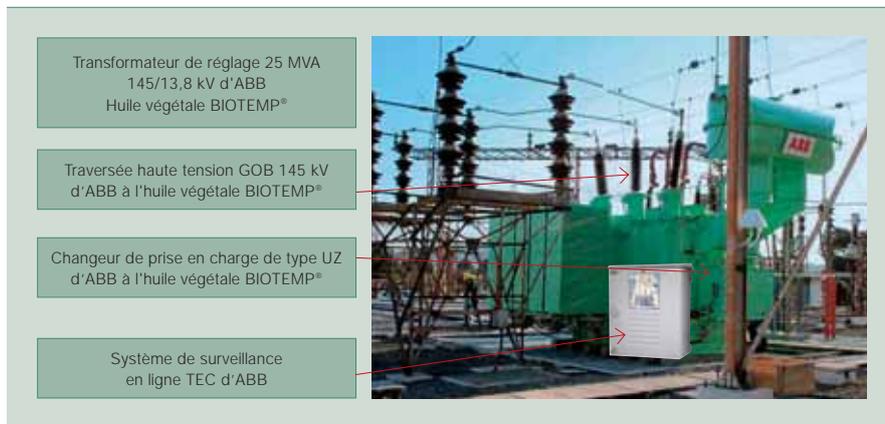
2 montre le transformateur assemblé sur le banc d'essai du laboratoire HT d'ABB Brésil. Tous les essais individuels normalisés [5, 6], ainsi qu'une batterie de tests diélectriques, thermiques et de fonctionnement ont été réalisés, notamment :

- essais de chocs de manœuvre et de foudre (pleins et coupés) sur toutes les connexions d'enroulement ;
- essais de tenue au courant alternatif de courte durée ;

- essais de tension induite de longue durée – y compris mesures de décharge partielle – avant et après échauffement (aux points de mesure de l'échauffement des enroulements et de l'huile) et essais thermiques de surcharge ;
- mesure des niveaux sonores à vide et en charge, y compris mesure du spectre du bruit par bande d'octave ;
- essai de surcharge longue durée ;
- essais de surexcitation longue durée de la fréquence industrielle ;
- essai de réponse en fréquence.

Sur le long terme, le Brésilien peut escompter réduire les risques d'explosion et ses dépenses de maintenance tout en prolongeant la durée de vie de ses transformateurs.

2 Transformateur rempli de BIOTEMP® sur le banc d'essai du laboratoire HT (ABB Brésil).



Tous ces essais diélectriques et thermiques ont fait l'objet d'une analyse des gaz dissous de l'huile ; les résultats n'ont révélé aucun changement significatif de la concentration gazeuse avant et après les essais thermiques et électriques, validant la fiabilité et la supériorité du transformateur [7].

L'huile BIOTEMP® offre également des avantages sur le plan de la logistique.

**Note**

<sup>4)</sup> Conforme aux normes ISO 9001 et ISO 14001

3 Transformateur rénové rempli de BIOTEMP® en service dans la cellule du poste électrique de CEMIG.



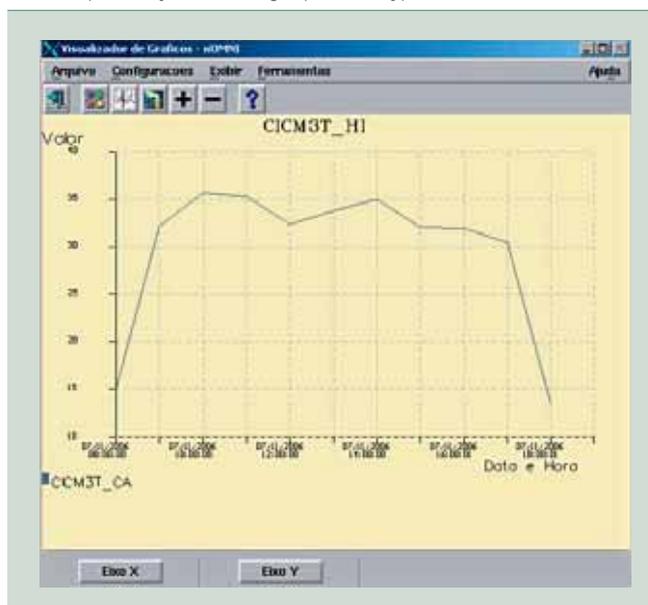
En effet, les transformateurs pouvant être transportés remplis de BIOTEMP®, les coûts et les formalités sont allégés: rien à voir avec l'huile minérale qui doit voyager dans un conteneur à part. Par conséquent, le transport du transformateur sur les 500 km séparant l'usine ABB du poste de Cidade Industrial de CEMIG était relativement simple. Au terme de l'installation et de la mise en service **3**, l'exploitation commerciale du transformateur a débuté fin juillet 2006. Depuis, il est soumis, quasi quotidiennement, à des régimes de surcharge atteignant 42 MVA (170%) **4**.

Le fonctionnement du transformateur est contrôlé par le système de surveillance en ligne TEC d'ABB, par des analyses classiques d'huile, par la mesure de la température des enroulements et de l'huile, et par thermographie infrarouge périodique. Tous ces contrôles visent à suivre au plus près les performances du transformateur et de l'huile BIOTEMP®. Les résultats ont montré l'extrême fiabilité du transformateur, notamment en régimes de forte surcharge.

#### Et demain?

Les innovations dans le domaine des matériaux font progresser de manière significative la technologie des transformateurs. De même, en rénovant leurs vieux transformateurs, les entreprises d'électricité renforcent la sécurité de leur parc installé, réduisent son

**4** Exemple de cycle de charge quotidien type



budget de maintenance et prolongent sa durée de vie. Des projets conjoints parfaitement maîtrisés, à l'instar du projet ABB-CEMIG, créent un climat propice à l'utilisation de technologies modernes et performantes pour les transformateurs avec des retombées bénéfiques tant pour les deux parties que pour l'ensemble du secteur énergétique et de la société.

De même, ce projet peut servir de référentiel car il a démontré que les propriétés thermiques des nouveaux matériaux permettent d'augmenter la puissance assignée du transformateur d'origine. De plus, sa capacité de surcharge peut être accrue de 150 à 170% de sa puissance, en toute fiabilité. Grâce à BIOTEMP®, CEMIG a renforcé la sécu-

rité et réduit ses coûts d'installation. Sur le long terme, le Brésilien peut escompter réduire les risques d'explosion et ses dépenses de maintenance tout en prolongeant la durée de vie de ses transformateurs.

Cela dit, les ingénieurs en électrotechnique ont encore beaucoup de pain sur la planche pour simplifier et optimiser davantage la conception du poste électrique du futur. Une première étape consisterait à remettre à plat la normalisation et la réglementation en matière d'installation des transformateurs. Dans tous les cas, l'utilisation de l'huile BIOTEMP® à des niveaux de tension supérieurs à 145 kV est désormais validée et bien engagée.

J. C. Mendes  
A. S. G. Reis  
E. C. Nogawa  
C. Ferra

ABB Power Transformer Division  
Sao Paulo (Brésil)  
jose-carlos.mendes@br.abb.com  
alex.reis@br.abb.com  
elaine.nogawa@br.abb.com  
celso.ferra@br.abb.com

A. J. A. L. Martins  
A. C. Passos

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais  
Belo Horizonte (Mato Grosso, Brésil)  
ajm@cemig.com.br  
adrianap@cemig.com.br

#### Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier leurs collègues de la division Transformateurs de puissance d'ABB Brésil qui, par leur enthousiasme et leurs compétences, ont contribué au développement d'une technologie ouvrant la voie aux transformateurs HT de qualité imprégnés à l'huile végétale.

#### Bibliographie

- [1] Mendes, J. C. et al, *On Site Repair of HV Power Transformers*, CIGRÉ, 12-114, Paris, Session 2002.
- [2] Rocha, A. C. O., Mebdes, J. C., *Assessment of An EHV Shunt Reactor Insulating and Mechanical Performance by Switching Surge Analysis*, CIGRÉ, A2-301, Paris, Session 2006.
- [3] U.S. Patent No. 4.627.1992, Dec. 9, 1986 *Sunflower Products and Methods of Their Protection*.
- [4] Oommen, T. V., Clairborne, C. C., *Biodegradable Insulating Fluid from High Oleic Vegetable Oils*, CIGRÉ, 15-302, Paris, 1998.
- [5] ABNT, *Transformador de Potência: Especificação*, Norma NBR 5356, Rio de Janeiro, BR, Ago 1993.
- [6] ABNT, *Transformador de Potência: Método de Ensaio*, Norma NBR 5380, Rio de Janeiro, BR, Maio 1993.
- [7] ABB, *Transformador No. de Série 54831 - CEMIG*, Relatório de Ensaio 1ZBR 06-0150, São Paulo, 2006-05-29, 112 pag.

#### Lectures complémentaires

- Goldemberg, J., *Ethanol for a Sustainable Energy Future*. Science Magazine. Vol 315, No. 5813, pp. 808-810, February 2007.  
IEEE. *The Omnivorous Engine*. IEEE Spectrum Magazine, pp. 30-33. NYork, January 2007.  
Marinho J. R., Sampaio, E. G., Monteiro, M. M., *Castor Oil as an Insulating Fluid*. CIGRÉ, 500-06, Symposium 05-87. Vienna, 1987.

# Quand le temps presse

La technologie ABB au service des presses d'emboutissage

Sjoerd Bosga, Marc Segura



Entre la mise en place par Henry Ford de la ligne d'assemblage en flux continu il y a plus d'un siècle et l'usine moderne ultra-robotisée, l'industrie automobile a souvent été à la pointe du progrès en matière de productivité industrielle. Dans leur quête d'optimisation permanente, les constructeurs et leurs fournisseurs réorganisent perpétuellement leurs moyens de production. Parmi ceux-ci, l'atelier d'emboutissage, investissement le plus capitalistique d'une usine, offre un potentiel d'amélioration.

Une carrosserie automobile est généralement constituée de plusieurs centaines de pièces métalliques dont la plupart est mise en forme dans l'atelier d'emboutissage. Si des gains de productivité sont à escompter en augmentant les cadences de production, cette augmentation se fait au détriment de la qualité des pièces. Pour autant, des gains sont possibles en raccourcissant les temps d'ouverture et de fermeture des presses, sans accélérer l'opération d'emboutissage en elle-même. Tel est l'objectif de la solution DDC (*Dynamic Drive Chain*) d'ABB qui utilise des servomoteurs pour réduire les temps de cycle. Cette technologie offre, par ailleurs, l'énorme avantage de pouvoir être ajoutée aux lignes existantes, constituant un investissement moins risqué et mieux protégé pour le client.

**D**oper la productivité des lignes de presses en tandem flexibles à un coût acceptable : c'est le but des industriels de l'automobile lorsqu'ils investissent dans des ateliers d'emboutissage. Sachant qu'il s'agit du procédé le plus capitalistique d'une usine, les investissements ne se font pas exclusivement dans de nouvelles lignes. En effet, la durée de vie d'une presse de fort tonnage peut couvrir plusieurs décennies, d'où le choix de moderniser les lignes existantes. C'est pour renforcer la productivité à la fois des lignes neuves et existantes qu'ABB développe en permanence de nouvelles technologies.

Un atelier d'emboutissage fabrique des pièces de carrosserie (ouvrants, pavillons, etc.) à partir de bobines de tôles. Après découpage des bobines en plaques appelées *flans*, les pièces passent successivement entre trois à cinq presses **1**. Dans la configuration de base, un robot dépileur en tête de ligne prélève un flan et le dépose dans la première presse **2** **3**. Ensuite des robots transfèrent les pièces d'une presse à l'autre. En bout de ligne, un robot ou des opérateurs empilent les pièces.

La productivité d'une ligne d'emboutissage complète dépend étroitement du temps de cycle de chaque presse **4**. Ce temps se décompose en deux parties : une partie déterminée entièrement par les robots (T1) et l'autre par la presse (T2). T1 inclut le déchargement et le chargement de la presse par deux robots différents. Le plus souvent, le déchargement débute dès

que la presse est suffisamment ouverte pour que le déchargeur puisse y pénétrer. De la même manière, la presse commence en général sa course de descente avant que l'opération de chargement soit terminée. Dans une configuration idéale, la synchronisation des mouvements des robots et de la course de la presse est optimisée. Le logiciel *Stampware* d'ABB **5** propose cette fonction en standard.

La course de la presse (partie T2 du cycle) peut être décomposée en trois phases. En phase I, la presse se ferme, le serre-flan descendant jusqu'à être en contact avec la pièce à emboutir. A partir de ce point d'impact, le poinçon déforme la pièce (phase II). L'emboutissage est terminé lorsque le poinçon atteint le point bas de sa course, d'où la presse entame sa remontée (phase III).

Traditionnellement, les efforts d'optimisation d'ABB ont porté sur la partie T1 du cycle, à savoir le temps de cycle des robots, avec des résultats probants. En effet, plusieurs innovations – robot dédié à l'automatisation des presses d'emboutissage, optimisation du chargement/déchargement des pièces par robots, techniques de synchronisation multirobots et septième axe spécial pour le robot – ont permis de fortement réduire T1, le faisant passer en 5 ans de 6 à moins de 3 secondes, même pour les pièces de grandes dimensions. De nos jours, la forte réduction de T1 fait que le goulot d'étranglement se situe de plus en plus au niveau de T2.

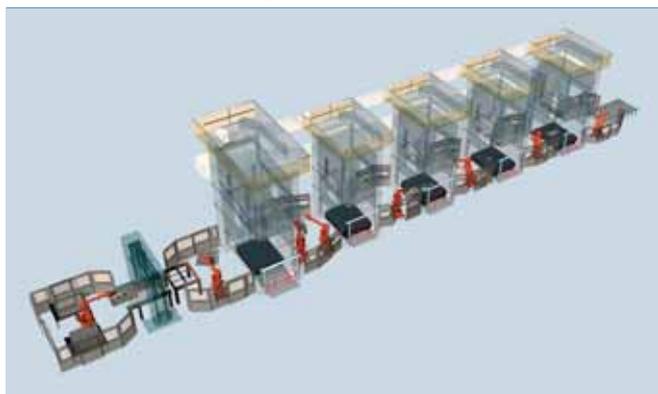
Dans une presse mécanique tradition-

nelle, il n'est pas facile de réduire T2 car la cadence est dictée par un grand volant et limitée par les contraintes du procédé d'emboutissage. Comment, dans ce cas, réduire encore plus le temps de cycle? Réponse : avec la technologie DDC (*Dynamic Drive Chain*) d'ABB **6**. Son développement est le fruit d'une collaboration intense entre différentes équipes d'ABB, notamment le pôle d'excellence mondial ABB pour l'automatisation des presses en Espagne et le département Machines électriques et Mouvements intelligents du centre de recherche ABB de Västerås en Suède. Ce regroupement de l'expertise interne n'était toutefois pas suffisant. Le soutien ferme de clients était indispensable pour optimiser la productivité des lignes d'emboutissage.

**Les servo-entraînements à la rescousse**

La technologie DDC des servo-entraînements appliquée aux presses de gros tonnage permet de raccourcir les temps d'ouverture et de fermeture, sans modifier la vitesse d'emboutissage d'origine. En réalité, il est même envisageable de commencer l'emboutissage à une vitesse plus lente qu'actuellement avec un double avantage : gains de productivité et amélioration de la qualité des pièces, deuxième paramètre clé d'une ligne. Iñaki Zubiete, responsable de la robotique et des nouveaux investissements chez *Gestamp – Estampaciones Bizkaia*, expliqua à l'équipe DDC d'ABB que pour obtenir des pièces de bonne qualité, les presses étaient souvent exploitées à seulement 80-85 % de

**1** Ligne d'emboutissage en tandem : les flans sont dépilés, lavés, centrés et chargés dans la presse à emboutir pour une succession d'opérations de découpage-emboutissage.



**2** Cellule robotisée ABB de déchargement/chargement des flans d'une ligne d'emboutissage de l'usine PSA de Poissy



## Automation

leur cadence maximale, soit une perte de productivité de 7 à 15%. Ces chiffres ont été confirmés par Santiago Mínguez, responsable du service Méthodes de Renault Valladolid.

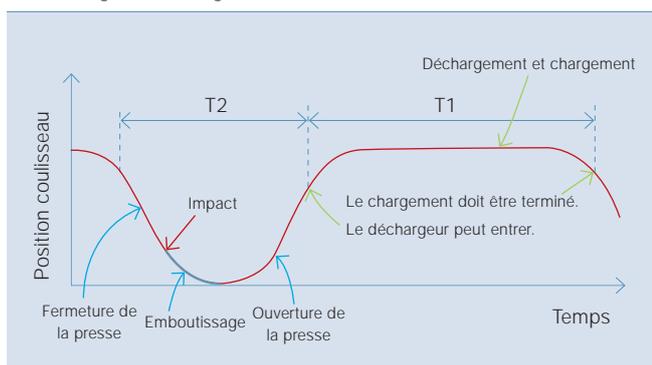
Quels gains de productivité escompter avec la technologie DDC? En fait, ils varient selon le dimensionnement du servo-entraînement. Pour évaluer les gains potentiels sur les presses existantes, un projet de collaboration fut lancé avec l'entreprise FAGOR, constructeur de presses de taille moyenne du nord de l'Espagne, avec qui ABB entretient des liens étroits depuis plus de 10 ans. Des simulations réalisées avec FAGOR ont montré que même avec un servomoteur de puissance relativement réduite, une hausse de 10 à 30% de la productivité est possible simplement en utilisant la technologie DDC. En y ajoutant les derniers progrès de l'automatisation robotisée, les gains peuvent encore être supérieurs!

Limitier la taille du servo-entraînement fut une des contributions majeures

3 Transfert robotisé de pièces d'une ligne d'emboutissage



4 Courbe de temps type d'une presse mécanique classique avec T2 entièrement déterminé par la presse (fermeture, emboutissage, ouverture) et T1 par l'équipement de déchargement/chargement.



d'ABB au projet de développement des presses à emboutir. En discutant de la viabilité des presses à servo-entraînement avec Gérard Lallouette, responsable Structure et Emboutissage chez PSA Peugeot Citroën, ABB partageait son avis que la solution proposée devait non seulement tenir compte du coût de l'entraînement de la presse elle-même, mais également du coût du réseau électrique de l'usine ainsi que celui de l'énergie et de la puissance de crête. En effet, si une grosse presse à servo-entraînement nécessitait 5 MW au lieu de 500 kW en moyenne aujourd'hui, il y aurait vraiment problème.

### Une solution à faible puissance de crête

ABB propose aujourd'hui un servo-entraînement avec une puissance de crête qui, dans la plupart des cas, n'impose aucun redimensionnement du réseau électrique de l'usine. Son secret? Une commande et un entraînement de conception spéciale qui capitalisent le retour d'expérience de projets de recherche antérieurs.

Un aspect important de cette conception est lié aux inerties des masses en mouvement de la presse et de l'entraînement. Alors que ces inerties sont généralement perçues comme limitant les performances dynamiques d'un servo-entraînement, elles peuvent en réalité être utilisées pour emmagasiner l'énergie et la restituer lorsqu'il en a le plus besoin.

Dans une première version de la solution DDC d'ABB, le volant traditionnel

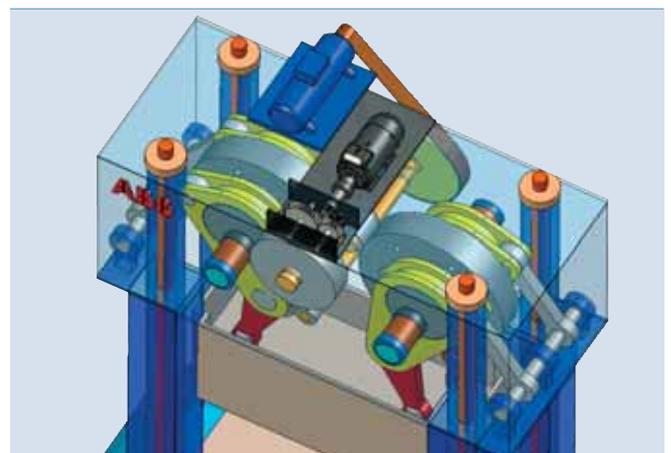
de la presse <sup>6f</sup> était conservé pour fournir la puissance de crête requise pendant la phase d'emboutissage du cycle. Toutefois, contrairement à une presse mécanique, la presse à servo-entraînement ne comporte ni frein mécanique, ni embrayage pour sa montée en vitesse. La technologie DDC d'ABB garantit ainsi une accélération et une décélération moins brutales de la presse, et l'embrayage <sup>6g</sup> n'est utilisé qu'après servocommande de la presse à la vitesse synchrone. Dans une deuxième version, les traditionnels embrayage et volant furent purement et simplement supprimés, et le servo-entraînement dimensionné différemment.

### Une solution pour les lignes d'emboutissage existantes

Au début du développement de la solution DDC, ABB avait déjà abordé le sujet avec des clients comme Gestamp et PSA. Leur message était très clair: la solution devait être proposée pour les lignes d'emboutissage existantes et permettre de se familiariser avec la technologie avant d'envisager tout investissement dans une ligne d'emboutissage à servo-entraînement entièrement neuve. Partant de ces exigences, ABB a concentré ses premiers efforts de développement sur une solution permettant de transformer les presses mécaniques existantes en presses à servo-entraînement, solution proposée sous la forme d'un «kit» et baptisée *Press Upgrade Kit*.

Détail important sur lequel Gestamp et d'autres clients ont beaucoup

Solution DDC montée sur une presse



insisté : la solution devait être simple à installer, au cours du traditionnel mois de fermeture estivale. Quoique très contraignante, cette exigence servit d'aiguillon aux équipes d'ABB pour concevoir une solution non seulement ad hoc, mais également réversible et à faible risque.

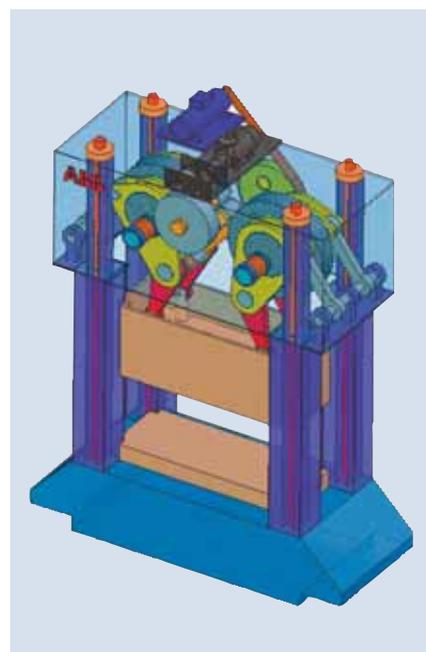
**Une solution à faible risque**

Le client qui décide de moderniser une ligne d'emboutissage a, en général, de bonnes raisons : lancement en fabrication d'un nouveau modèle ou, dans le cas d'un équipementier de rang 1, un contrat important. Ainsi, lors de la préparation par FAGOR et ABB du premier prototype, une question essentielle était de savoir si l'équipement pourrait être installé très rapidement, sans dérive des délais de mise en production.

Entre-temps, des discussions avec M. He, directeur adjoint du département d'emboutissage n° 1 de Honda Guangzhou en Chine, ont poussé ABB à aller encore plus loin : les premières presses à technologie DDC étaient équipées d'un interrupteur servant à désactiver complètement le servo-entraînement. Après désactivation, on revient à une presse mécanique classique qui fonctionne comme elle a toujours fonctionné depuis 50 ans.

Même si la solution DDC constitue un bond en avant technologique (nouvelles topologies de presse, logiciel de commande avancée), elle s'appuie sur des produits ABB existants comme le variateur de vitesse ACS800 et l'armoire de commande des robots IRC5.

L'industrie automobile, traditionnellement prudente, bénéficie ainsi d'une



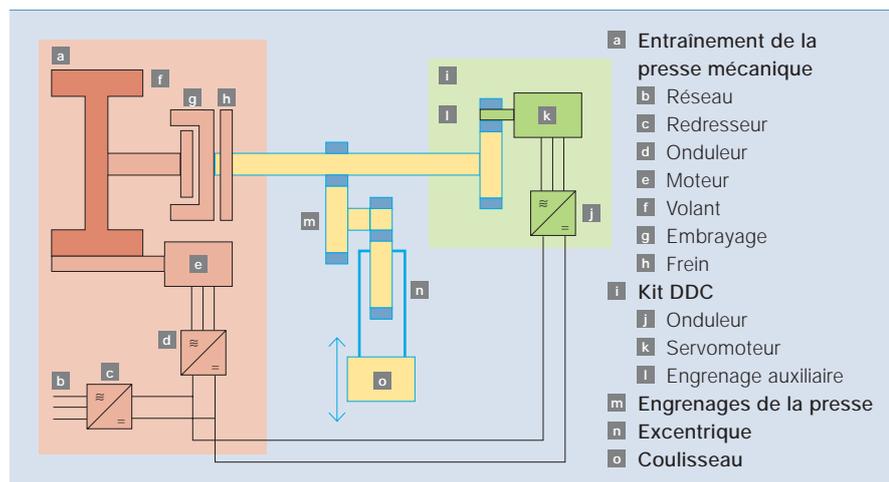
5 Stampware est un outil logiciel dédié « ateliers d'emboutissage » pour les armoires de commande IRC5 des robots ABB.



Encadré 1 Technologie DDC

Les systèmes traditionnels d'automatisation et d'entraînement des presses constituaient un cas typique d'automatisation « discontinue ». L'enchaînement séquentiel des opérations suivait des « signaux d'autorisation ». La presse embrayait à la fin de son chargement alors que le déchargement débutait une fois l'emboutissage terminé pour enclencher le cycle de chargement suivant. Cet enchaînement générait de nombreuses ruptures entre les opérations et donc un procédé peu efficace. De plus, le système ne s'adaptait pas aux évolutions de la ligne, nécessitant des réglages permanents pour conserver un bon niveau d'optimisation.

6 Schéma d'une presse à technologie DDC avec l'entraînement d'une presse mécanique classique a et le kit DDC i



Certaines mesures furent prises pour améliorer la situation, notamment une synchronisation robot-presses ou robot-robot par ABB. Toutefois, un système totalement intégré de commande d'axes, incluant les courses des presses, était depuis longtemps irréalisable.

Pour satisfaire ces besoins, ABB a fédéré son savoir-faire unique dans les domaines de la robotique, des moteurs et des variateurs de vitesse pour développer une architecture révolutionnaire de commande et d'entraînement, et ainsi transformer les lignes d'emboutissage en un procédé industriel continu et adaptatif, avec sa solution DDC de cinématique dynamique.

## Automation

### Encadré 2 Solution DDC pour l'automatisation des presses

Lorsqu'ils décident d'automatiser une ligne d'emboutissage, quels sont les objectifs des clients d'ABB? Si gagner en productivité est, bien sûr, en ligne de mire, trois facteurs clés conditionnent la rentabilité des ateliers d'emboutissage :

#### Montée en cadence

Plus les cadences de production sont élevées, plus les dépenses d'investissement et d'exploitation de la ligne sont faibles (moins de presses et d'opérateurs). Avec la technologie DDC, les cadences augmentent de 10 à 30%.

#### Disponibilité

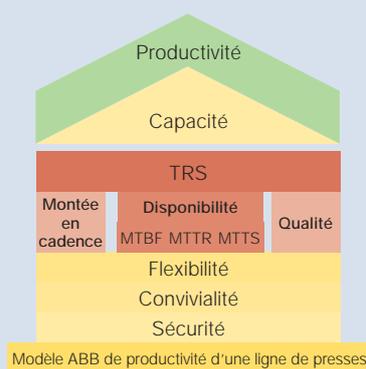
L'outil de production doit fonctionner sans défaillance le plus longtemps possible. Sans embrayage ni frein, la technologie DDC supprime deux des cinq sources de défaillances les plus courantes.

#### Qualité

Les rebuts constituent une perte directe pour

les industriels. Pour minimiser le nombre de pièces non-conformes, la régularité et la lenteur du procédé d'emboutissage sont fondamentales.

La technologie DDC peut diminuer jusqu'à 40% la vitesse d'emboutissage sans réduire le temps de cycle.



TRS : Taux de rendement synthétique  
 MTBF : Moyenne des temps de bon fonctionnement  
 MTTR : Moyenne des temps de réparation  
 MTTs : Moyenne des temps de maintenance

solution à la pointe de la technologie mettant en œuvre des produits éprouvés, bien connus des équipes ABB locales qui travaillent déjà avec les industriels.

Honda et Gestamp soulevèrent une question importante, à savoir l'impact sur la mécanique de la presse des vitesses et accélérations élevées du servo-entraînement. Iñaki Martínez, responsable technique Emboutissage chez FAGOR, apporta une réponse rapide : avec les accélérations et les décélérations beaucoup moins brutales que l'embrayage et le frein qui équipent actuellement la presse, la solution DDC va prolonger sa durée de vie ! En réalité, les fortes accélérations n'interviennent pas pendant le fonctionnement de la servocommande ou pendant la mise en forme de la pièce, mais au moment où la presse accélère à partir de l'arrêt complet en utilisant l'embrayage.

A noter également que dans la version DDC avec volant, l'opération d'emboutissage reste inchangée ; elle continue de dépendre uniquement du dimensionnement de la presse et du volant.

Il n'y a aucun paramètre ni réglage inconnus, la seule valeur à régler étant la vitesse du volant. La technologie DDC optimise automatiquement et dynamiquement le reste de la course.

#### Pas question d'arrêter les presses !

ABB reçut un message important à la fois de Daniel Eguia, responsable des équipements chez Gestamp, et de Gérard Lallouette : « Les presses ne doivent pas s'arrêter ! » Les lignes d'emboutissage actuelles sont intrinsèquement inefficaces du fait des démarrages et arrêts, des ruptures et des temps morts. Pour s'en affranchir, il fallait un système de commande en continu, optimisé et adaptatif, ce que réalise la solution DDC en intégrant la commande des presses et celle des robots.

#### Perspectives

Récemment, l'entreprise Schuler, premier constructeur mondial de presses, a annoncé à ABB que toutes les nouvelles presses seront, à brève échéance, dotées de servo-entraînements. Et ABB de renchérir : « Pas seulement les nouvelles presses. » Pour les industriels de l'emboutissage, le remplace-

ment des systèmes mécaniques par des systèmes à entraînement électrique est une tendance de fond qui ne s'inversera pas. Avec sa technologie DDC, ABB se positionne comme un acteur majeur sur ce nouveau marché tout en renforçant son avantage concurrentiel dans le domaine des systèmes d'automatisation, des moteurs et des variateurs de vitesse. Le premier servo-entraînement pour presse équipera une presse FAGOR de 1200 tonnes, cet automne. FAGOR et ABB sont tous deux impatients de montrer cette application de la technologie DDC à leurs clients !

Si l'ajout de servomoteurs aux presses mécaniques existantes est une première étape, les presses « tout électrique » devraient s'imposer à plus ou moins long terme. En étroite collaboration avec des clients comme Gestamp, Honda, Renault, PSA et Nissan, ABB fixe les paramètres de la presse à servo-entraînement idéale. En partenariat avec des entreprises comme FAGOR, nous pouvons concevoir l'entraînement parfaitement adapté aux futures configurations de presses. Ces développements contribueront à réduire les coûts, à simplifier les machines (suppression de l'embrayage et du volant) et à mieux maîtriser l'emboutissage.

ABB continuera de collaborer à la fois avec des clients et des constructeurs pour développer les lignes d'emboutissage automatisées du futur, anticiper les attentes et contraintes des clients, et développer une technologie qui ajoute de la valeur aux opérations d'emboutissage.

#### Sjoerd Bosga

ABB Corporate Research  
 Västerås (Suède)  
 sjoerd.bosga@se.abb.com

#### Marc Segura

ABB S.A., Press Automation  
 Sant Quirze del Vallès (Espagne)  
 marc.segura@es.abb.com

# Maître soudeur

ABB crée un « poids léger » pour le soudage par points

Karin Dunberg

De nombreux robots industriels sont des « généralistes », capables d'exécuter différentes tâches. Cette polyvalence, fruit d'une standardisation, en fait des machines multi-applicatives et réutilisables.

Or, dans la pratique, la plupart de ces robots font toute leur vie le même travail ! Le généraliste se mue alors en « spécialiste », aux capacités sous-exploitées. Bref, la solution devient surdimensionnée, inefficace et onéreuse parce que trop complexe et trop lourde.

En collaboration avec DaimlerChrysler, ABB a créé un robot rationalisé pour le soudage par points.

## Automation

**T**out a commencé en 2003 lorsque DaimlerChrysler **Encadré** en quête d'un nouveau robot de soudage par points, contacta ABB.

En fait, le constructeur automobile recherchait un partenaire pour développer un robot six axes standard, d'une capacité de charge de 150 kg, capable de maîtriser la majorité de ses applications de soudage par points et d'effectuer une série de points de soudage avec une pince asservie.

Le montage à mi-hauteur autorise l'ajout d'un deuxième étage de robots à la ligne, les robots du haut pouvant travailler la tête en bas.

«*Nous recherchions un bourreau de travail pour nos principales applications de soudage par points, explique Anton Hirzle, directeur général de DaimlerChrysler. A l'époque, nous utilisions des robots standards dans la plupart de nos ateliers (soudage, encollage, manutention...), payant de nombreuses fonctions dont nous n'avions jamais l'utilité dans nos applications de soudage par points. Nous voulions donc un robot conçu spécialement pour ces applications, sachant que l'objectif ultime du projet était de réduire nos coûts.*»

DaimlerChrysler exploite un très grand nombre de robots : près de 9000 dans ses usines Mercedes et 5000 dans ses usines Chrysler aux Etats-Unis.

**Encadré** DaimlerChrysler

Avec un chiffre d'affaires supérieur à 150 milliards de dollars en 2006, le Groupe plus que centenaire est un précurseur dans plusieurs domaines. C'est aujourd'hui l'un des leaders des marchés du haut de gamme, des SUV, des voitures de sport et de tourisme, des fourgonnettes et des *pick-ups*, et le numéro un mondial des véhicules utilitaires.

Anton Hirzle, Directeur général de DaimlerChrysler : «*Nous recherchions un robot spécialiste du soudage par points.*»



Pour ce projet, le constructeur automobile consulta plusieurs fournisseurs de robots, exposant ses idées sur la manière d'atteindre cet objectif.

A l'issue de la consultation, DaimlerChrysler et ABB lancèrent un projet commun de R&D en 2004. Plutôt que d'ajouter des fonctionnalités au robot standard, on supprima celles inutiles au soudage par points, optimisant la machine en privilégiant la simplicité.

Il a fallu près de trois années aux deux entreprises pour développer l'IRB 6620, un robot allégé de 800 kg par rapport au concept d'origine avec une enveloppe de travail étendue. Grâce à une structure en acier plus légère, le robot est également plus agile et plus facile à manipuler.

Le nouveau robot, d'une capacité de charge de 150 kg, comprend un poignet très robuste pour porter les pinces à souder à transformateur intégré. La bride porte-outil est normalisée ISO pour 200 kg et le robot pré-équipé et précâblé pour le soudage par points.

L'IRB 6620 est plus facile à installer et moins cher à l'achat. Son enveloppe de travail, élargie dans la zone sous l'embase du robot, permet de reconfigurer les cellules de soudage par points : le montage à mi-hauteur autorise l'ajout d'un deuxième étage de

robots à la ligne, les robots du haut pouvant travailler la tête en bas. Cette configuration offre un gain de place et une meilleure intégration des robots dans la cellule, donc une productivité accrue.

Plutôt que d'ajouter des fonctionnalités au robot standard, on supprima celles inutiles au soudage par points.

A long terme, ABB ambitionne de remplacer la plupart des robots généralistes utilisés pour le soudage par points par son nouveau robot spécialiste IRB 6620.

**Karin Dunberg**  
ABB Robotics AB  
Västerås (Suède)  
karin.dunberg@se.abb.com

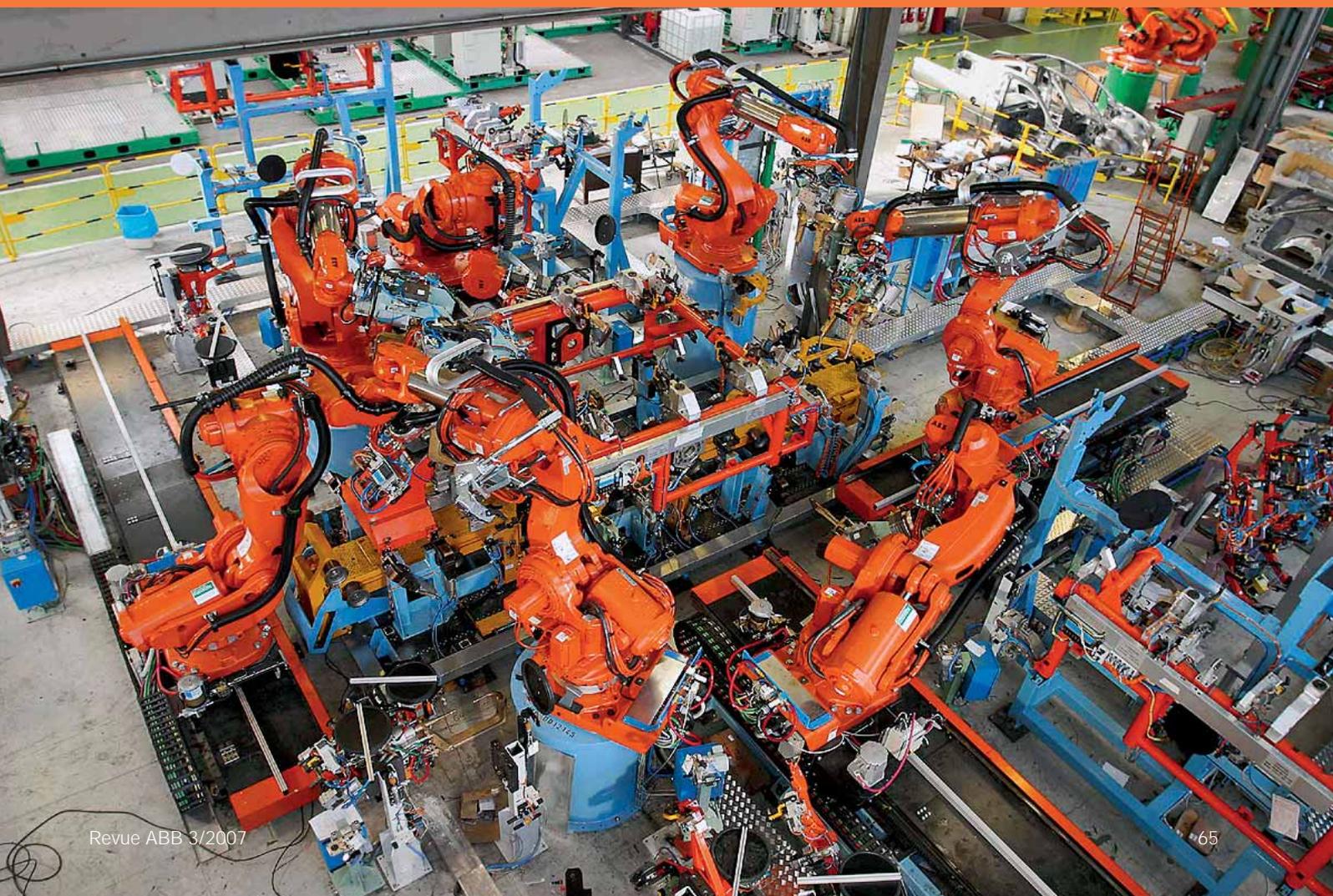
**Lecture complémentaire**  
Negre, B., Legeleux, F., *Flexlean - Les robots relèvent le double défi de la main d'œuvre bon marché*, Revue ABB 4/2006, p. 6-10 (en particulier, l'encadré p. 8)

# Affaire de spécialistes

Le robot IRB 6620 « en pince » pour la soudure par points  
Ola Svanström

Les robots sont des machines polyvalentes et multitâches qui offrent précision, rapidité et forte capacité de charge. Or, pour une tâche bien précise, il est plus logique de faire appel à un « spécialiste » qu'à un « généraliste ».

Le *FlexPicker* d'ABB est un bon exemple de robot dédié à la manipulation de différents produits à des cadences très élevées. Dans l'industrie automobile, le soudage par points est un autre exemple d'application où des spécialistes ont une réelle valeur ajoutée.



## Automation

Dans une usine automobile moderne, les robots sont omniprésents sur les lignes d'assemblage. La plupart est dotée d'un long bras qui, à l'image d'un joueur de golf et son mouvement de *swing*, pivote et bascule d'avant en arrière.

Mais il existe d'autres systèmes multi-axes qui, bien que n'étant pas qualifiés de robots, effectuent de nombreux mouvements pour des tâches automatisées : soudage, préhension, saisie/dépose, tri, peinture, meulage ou positionnement de pièces automobiles pendant que de « vrais » robots sont utilisés de manière optimale.

Pour un constructeur automobile, les robots polyvalents constituent un investissement judicieux car ils peuvent réaliser de nombreuses tâches sans grandes modifications.

Dans dix ans, le soudage thermique restera probablement la technologie d'assemblage dominante par rapport aux méthodes chimiques ou mécaniques.

Dans ce secteur d'activité, la majorité des robots d'assemblage sert à différentes applications de soudage thermique **1** : soudage par points traditionnel, soudage laser, brasage laser ou soudage par friction-malaxage<sup>1)</sup>. Quelle que soit la technologie, le même type de robot est utilisé.

Dans dix ans, le soudage thermique restera probablement la technologie d'assemblage dominante par rapport aux méthodes chimiques ou mécaniques. Face à ce constat et pour répondre aux exigences croissantes de flexibilité et de compression des coûts, développer des robots spécialistes du soudage pour la production automobile se justifie pleinement.

**2a** illustre le nouveau robot de soudage d'ABB, l'IRB 6620, et **2b** le robot généraliste IRB 6600, le premier étant une version *light* du second, mieux adaptée au soudage par points<sup>2)</sup>. Plus compact, il apporte un gain de place précieux

sur la ligne robotisée où deux « spécialistes » du soudage peuvent désormais travailler en parallèle : un robot suspendu au plafond ou monté sur une plate-forme à mi-hauteur de la carrosserie en mouvement. Particulièrement agile, l'IRB 6620 peut également glisser son bras sous la caisse pour des points de soudage sur des parties plus difficiles d'accès.

ABB a récemment développé des systèmes de commande synchronisée pour plusieurs robots travaillant simultanément sur la même pièce

**Encadré 1**. En raccordant l'IRB 6620 très agile à ce système, d'autres robots peuvent positionner la pièce à souder et ainsi compenser l'enveloppe de travail légèrement moins étendue que celle de son grand frère, l'IRB 6600.

Grâce à leur souplesse de montage, plusieurs robots de soudage peuvent travailler de concert sur une même caisse automobile, se glissant sous la caisse ou à l'intérieur de celle-ci sans se gêner. Les fonctionnalités anti-collision d'ABB veillent en permanence à la sécurité des robots.

**1** Soudage par points dans l'automobile



Alors que les robots spécialistes s'activent autour de la carrosserie, soudant à grande vitesse des points dans tous les sens, le robot généraliste IRB 6600 s'occupe d'autres tâches.

Cette association de généralistes-spécialistes ouvre des horizons radicalement nouveaux à l'industrie manufacturière. Ainsi, les lignes de finition<sup>3)</sup>

**Encadré 1** MultiMove

MultiMove est une fonction de l'armoire de commande IRC5 d'ABB qui permet de synchroniser jusqu'à quatre robots ou positionneurs différents, donc capable de calculer les trajectoires de 36 axes asservis maximum.

Sans cette synchronisation, les ruptures dans l'enchaînement des opérations sont nombreuses : le positionneur déplace une pièce et s'arrête ; le robot de soudage s'approche de la pièce, la soude et se replie ; le positionneur attend l'immobilisation complète du robot pour retourner la pièce et lui permettre de travailler sur l'autre face. Avec MultiMove, le gain de temps est considérable car de nombreux mouvements peuvent se faire simultanément. Exemple : le robot de soudage peut commencer à se déplacer vers la pièce pendant que le positionneur approche celle-ci. De même, il peut lentement faire tourner la pièce pendant que le robot soude. Ce travail en continu améliore la qualité du produit final. La même fonction permet à plusieurs robots de souder de

concert, raccourcissant les temps de cycle et améliorant la productivité.

Lecture complémentaire  
Bredin, C., *Travail d'équipe – Avec MultiMove*, ABB jette les bases d'une ère nouvelle dans les applications robotisées, Revue ABB 1/2005, p. 26–29



2 L'IRB 6620 **a** et son grand frère l'IRB 6600 **b**

peuvent être plus courtes et plus rapides avec huit robots travaillant à l'unisson.

L'assemblage des côtés de caisse et des pavillons gagne en souplesse et en vitesse lorsque les robots de soudage par points et les robots généralistes s'entraident. Cette souplesse accrue est très appréciée des construc-

teurs automobiles car elle va dans le sens de la fabrication d'un plus grand nombre de modèles sur une même ligne pour augmenter les cadences et optimiser l'utilisation d'actifs industriels représentant de lourds investissements. Une ligne d'assemblage moderne ne peut fonctionner efficacement sans une équipe « soudée » de spécialistes et de généralistes.

3 FlexPicker pour le conditionnement de pièces de viande



ABB a également développé des spécialistes pour des applications très différentes. Le FlexPicker **3**, par exemple, est un système doté de trois bras très légers et d'un préhenseur pour des applications de prise/dépose à la volée de produits alimentaires (ex., chocolats ou pralines) pour les ranger dans une boîte **Encadré 2**. Bien que doté d'un grand nombre de fonctions de tri, l'IRB 6600 est trop lent pour ce type de tâche.

Le concept de robots spécialistes gagne du terrain chez les industriels. Chaque fois qu'il s'agit de fabriquer des pièces en grandes séries, un spécialiste peut, au final, être la solution la plus flexible et la plus économique.

**Ola Svanstrom**  
ABB Robotics  
Västerås (Suède)  
ola.svanstrom@ch.se.abb.com

#### Notes

- <sup>1)</sup> Procédé de soudage par lequel un outil spécifique est mis en rotation rapide et vient frotter sur les deux pièces à assembler pour les ramollir, l'outil pénétrant dans le plan de joint, à l'interface des deux pièces à souder, et mélangeant intimement leurs matières sans fusion du métal. Ce procédé est utilisé principalement pour les pièces en aluminium.
- <sup>2)</sup> Lire également *Maître soudeur*, p. 63.
- <sup>3)</sup> Procédé de soudage qui vient après réalisation des soudures servant au maintien des pièces en position.

#### Encadré 2 FlexPicker

Le FlexPicker d'ABB est un robot parallèle. Contrairement aux robots industriels multi-axes classiques **2**, avec articulations en série le long d'un bras unique, un robot parallèle comprend trois bras parallèles ou plus, reliés entre eux par un préhenseur **3**.

Tous les moteurs et réducteurs du FlexPicker sont intégrés à son embase. Les pièces en mouvement sont ainsi très légères et contribuent à l'agilité du robot, autorisant des accélérations supérieures à 10 g et des cadences de 120 manipulations par minute.

Le robot répond à des contraintes d'hygiène strictes : il ne comporte aucune surface peinte et se lave à l'eau sous faible pression sans détergent, solution adaptée aux produits alimentaires.

Les fonctions de suivi de convoyeur de l'armoire de commande IRC5 permettent au robot FlexPicker la prise et la dépose à la volée sur un convoyeur en mouvement,

éliminant les temps d'arrêt et de démarrage du convoyeur. De surcroît, avec le logiciel *PickMaster*, le robot peut identifier et prélever des produits de différentes formes dans un ordre quelconque, ce qui est souvent le cas dans l'industrie agroalimentaire.

Lecture complémentaire  
**Andersson, H. J.**, *Picking pizza picker – ABB Flex-Picker robots demonstrate their speed and agility packing pizzas*, ABB Review Special Report Robotics (March 2005) pp 31–34



# Effet d'entraînement

Avec ses clients, ABB met au point la nouvelle génération de systèmes de surveillance et de diagnostic

Michal Orkisz, Jaroslaw Nowak, Maciej Wnek

Un équipement qui tombe en panne et c'est toute la production qui s'arrête net, le temps de réparer, avec de lourdes conséquences financières. Pour éviter ces coûteux arrêts, ABB développe des systèmes de surveillance et de diagnostic d'état CMS (*Condition Monitoring Systems*) qui collectent en continu des données pour établir un historique précis de l'état des actifs (fonctionnement, usure, dégradation et maintenance) et détecter les signes précurseurs d'un défaut.

Ainsi, un système CMS d'ABB exploite toute la richesse des données traitées par les variateurs de vitesse pour optimiser la maintenance des gros entraînements de puissance, composant critique de nombreuses applications. Les variateurs, comme les convertisseurs de fréquence

moyenne tension (MT) d'ABB, accumulent des masses de données sur leur propre fonctionnement, mais également sur les moteurs qu'ils commandent, les machines entraînées et toute la chaîne de production en aval. Par ce rôle prépondérant, le système CMS doit conjuguer fiabilité et intelligence en auscultant dans le détail l'actif et en analysant les données d'exploitation, les contraintes applicatives et les valeurs de référence. Or seules les données collectées sur le terrain ont un réel contenu informationnel, donnant toute sa valeur à la collaboration avec les clients. Pour mettre au point et tester son système CMS, ABB a collaboré avec plusieurs clients sur des applications en vraie grandeur. Cet article met en lumière le travail réalisé avec deux d'entre eux.



Un des plus longs tunnels ferroviaires au monde – plus de 57 km – est en cours de construction dans les Alpes suisses. Passant sous le Saint-Gothard, ce sont en réalité 153,5 km qui seront percés dans la montagne (deux tubes du tunnel, puits et galeries transversales) pour ce projet qui doit s'achever en 2016.

Pour évacuer les tonnes de déblais, un puits vertical de 821 m de hauteur a été creusé à proximité du village de Sedrun. Une imposante machine d'extraction, dont le moteur est commandé par un variateur ACS 6000 de plusieurs mégawatts (MW) d'ABB, remonte les déblais à la surface. Il s'agit d'une des premières applications pilotes du système CMS d'ABB. Bien qu'intégralement testé en laboratoire, il devait être validé sous contraintes réelles (poussières, vibrations et variations de température) et, plus important encore, collecter des données d'une application en vraie grandeur. Le chantier du tunnel offrait les conditions idéales !

L'installation pilote permet d'optimiser la conception matérielle, d'évaluer les performances et les capacités de stockage des données au vu des contraintes thermiques et de refroidissement de l'unité de surveillance. Seule une installation de ce type, fortement cyclique, autorisait l'analyse des besoins de collecte et de vitesse de traitement des données, afin de minimiser le coût des systèmes CMS pour les futurs clients.

Elle permet également de tester les fonctions de télésurveillance dans des conditions réelles bien qu'inhabituelles (chantier souterrain). Pour garantir la stabilité des échanges de données et l'accès à distance via un réseau privé virtuel (RPV) sécurisé entre le site du client et les bureaux d'ABB, les deux se devaient de travailler en étroite collaboration.

L'application a également validé la définition des procédu-

res de diagnostic : le système réagit-il aux changements comme prévu ? Comment améliorer la conception d'origine pour accroître encore plus la valeur, la robustesse et les performances ? La réponse à ces questions ne pouvait pas venir de l'équipe de développement seule.

Une installation pilote chez le client bénéficie à la fois à ABB et au client. Pour tester son système CMS, ABB auscultait dans le détail le fonctionnement de l'énorme variateur pendant que le système CMS le surveillait automatiquement. ABB eut ainsi l'opportunité de tester, mettre au point et finaliser un nouveau produit destiné à de nombreuses installations.

Une année de mise à l'épreuve sur le chantier du tunnel a confirmé la robustesse et l'efficacité du CMS. Sans aucune défaillance, ABB pouvait en toute confiance aller de l'avant avec un produit mûr pour le marché.

#### L'appel du large

Imaginez un superpétrolier de plus de 250 m de long, transportant 120 000 m<sup>3</sup> de pétrole brut et frayant son chemin

à travers la glace avec son hélice tout en faisant marche arrière dans les eaux gelées du Golfe de Botnie, ou encore un paquebot de luxe embarquant plus de 1300 membres d'équipage et quelque 2500 passagers pour des vacances de rêve sous les Tropiques.

Ces navires très différents ont au moins un point commun : ils concilient technologies les plus innovantes et souci majeur de fiabilité et de robustesse. Leurs performances ne se mesurent pas uniquement en termes économiques, mais également sur le plan de la sécurité pour l'homme et pour l'environnement.

Ces deux types de navire sont propulsés par le système Azipod® aux qualités uniques en matière de manœuvrabilité, de fonctionnalités et de rendement, système développé par ABB Marine, leader mondial de la propulsion marine. C'est dans ses bureaux d'études et son site industriel d'Helsinki en Finlande qu'ABB Marine a mis au point un système intégré de surveillance et de diagnostic du système propulsif PCMS (*Propulsion Condition Management System*) qui, outre l'Azipod®, surveille l'état des convertisseurs de fréquence, des transformateurs, des tableaux de distribution, des générateurs, des automatismes, des commandes, etc. La collaboration avec le croisiériste *Royal Caribbean Cruises Ltd.* pour tester une partie de ce système fut déterminante pour le développement du système PCMS.

#### Diagnostic de l'état des roulements de l'arbre

Les organes de roulement d'arbre, plus précisément les roulements montés sur un court arbre moteur qui entraîne l'hélice, jouent un rôle critique dans les performances du système Azipod®. Du fait des charges dynamiques extrêmement élevées imposées par l'hélice, ces roulements sont très fortement sollicités et se dégradent. Pour détecter les signes

Tunnel de ventilation de Sedrun (© AlpTransit Gotthard Ltd)



## Automation

avant-coureurs de leur dégradation, ABB a enrichi son système *DriveMonitor™* de fonctions de surveillance des roulements (nouveaux algorithmes de diagnostic).

Pour minimiser les risques de défaillance des roulements, ABB a choisi la stratégie de maintenance prédictive suivante : si les défauts de roulement peuvent être détectés de façon précoce et leur durée de vie résiduelle prédite avec suffisamment de précision, les mises à quai peuvent être mieux planifiées et leur coût relativement faible car le client peut coordonner l'exploitation de ses navires avec leur mise à quai. L'objectif majeur était donc de développer et d'appliquer des techniques spécifiques de diagnostic pour détecter au plus vite les signes de défaillance des roulements et ainsi éviter au client des déconvenues désastreuses sur le plan économique. Qui plus est, les dispositifs de diagnostic devaient être intégrés au système de commande de la propulsion Azipod® pour permettre à ABB Marine d'offrir à ses clients une large panoplie de fonctionnalités de contrôle, de surveillance et de diagnostic.

Plusieurs installations pilotes de courte durée à bord de divers types de navires croisant sur différentes mers ont permis de collecter d'énormes quantités de données sur les vibrations, qui servirent à affiner les algorithmes de diagnostic, à les fiabiliser et à les rendre insensibles aux fausses alarmes. Ces applications en vraie grandeur furent indispensables pour obtenir des données très utiles à l'amélioration des fonctions de surveillance des roulements du système PCMS.

Totalement confiante dans le savoir-faire d'ABB et adhérant à sa volonté d'améliorer son système PCMS, la Royal Caribbean accepta d'installer le système définitif sur l'un de ses paquebots. Les vibrations, les vitesses de rotation de l'arbre et l'angle azimutal furent périodiquement mesurés et traités pendant près d'un an.

Le concept du système était classique tout en faisant appel à des techniques avancées. Les vibrations au niveau du logement de palier furent enregistrées avec une unité d'acquisition de données sur PC durci monté à l'intérieur de l'Azipod®, où elles étaient conver-

tées en valeurs binaires par traitement vectoriel et ensuite envoyées sur liaison sans fil Ethernet au serveur de diagnostic installé dans le principal local de conduite du réseau électrique de bord. Des techniques bien connues de détection d'enveloppe haute fréquence, de même que de nouveaux algorithmes conçus pour la détection précoce des ondes de choc, furent utilisés pour traiter les données de vibration. Le cycle complet – depuis les mesures jusqu'aux calculs – était automatiquement déclenché à intervalles réguliers.

Pendant son fonctionnement, le module de détection automatique des défauts ne trouva aucun signe de défaillance des roulements. Pour autant, une analyse régulière des spectres vibratoires fournit des données supplémentaires sur les performances du système Azipod®. Sans être inquiétante, la présence incontestable d'harmoniques spécifiques engendrés par des composants électriques et mécaniques permit de mieux comprendre le comportement du système. Ces informations furent très précieuses dès les premiers travaux de conception des roulements d'arbre.

1 Concept d'accès à distance à un PCMS à bord d'un navire a avec connexion au réseau du croisiériste b, sécurisé par RPV et réalisé par liaison satellite c pour surveiller les performances de l'Azipod à partir des bureaux d'ABB Service d.

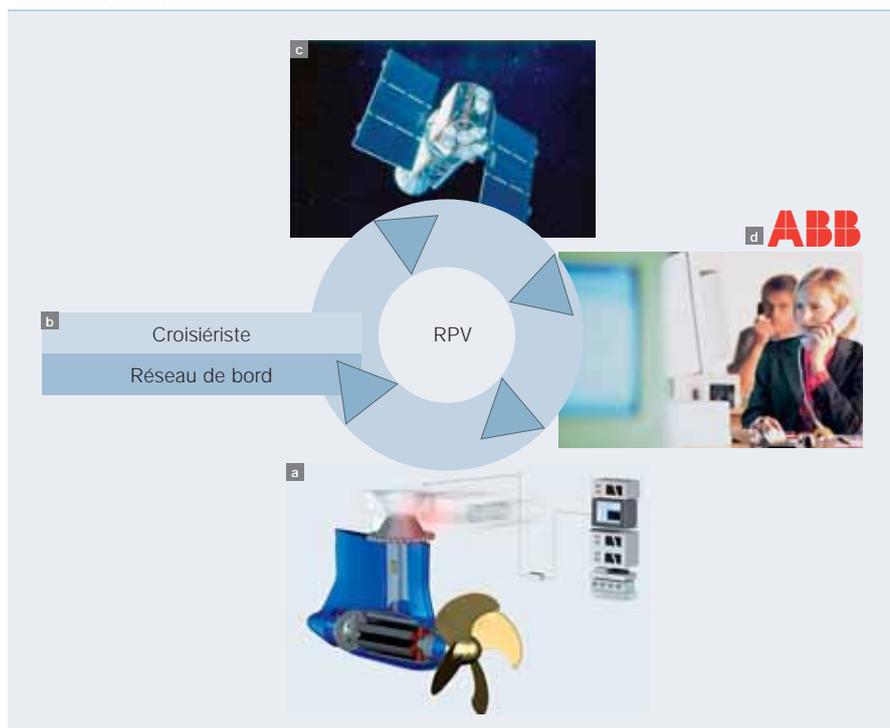


ABB devait impérativement accéder à partir de ses bureaux à terre au système de diagnostic installé à bord. Avec l'aide des services informatiques de la Royal Caribbean, une liaison sécurisée RPV par satellite fut utilisée pour accéder au serveur de diagnostic 1. Le personnel put ainsi consulter les calculs récents et rapatrier les données requises pour vérifier les performances du système de surveillance. Les techniciens du navire envoyaient régulièrement à ABB des cédéroms remplis de mesures de vibration pour analyse supplémentaire.

#### Développement du système PCMS intégré

Même s'ils jouent un rôle crucial, les roulements de l'arbre principal ne constituent qu'une seule des nombreuses pièces du puzzle que représente le système de propulsion avec ses multiples équipements ABB (appareillages électriques, relais de protection, convertisseurs de fréquence MT, moteurs, transformateurs, dispositifs de contrôle-commande) et d'autres

fabrications (systèmes de direction à commande hydraulique et de refroidissement). Pour chacun de ces composants, des centaines de grandeurs physiques différentes sont déjà mesurées et utilisées, en partie, à des fins de contrôle-commande, mais surtout affichées sur les postes des opérateurs, leur fournissant directement des données sur l'état de santé des composants et une mine d'informations normalement masquées sur les autres constituants de l'installation.

En réalité, le vrai défi est de développer un système de surveillance et de diagnostic qui intègre toutes les informations à portée de main et permette de faire rapidement le lien entre les signaux. Ce type de système évite de devoir développer la partie logicielle – tâche de longue haleine et sujette à erreur – de la solution de diagnostic pour des applications spécifiques. Le résultat est un outil de type Excel® pour définir le type, l'instant et la fréquence de collecte des données de même que les calculs nécessaires pour fournir des informations claires et cohérentes sur l'état d'un sous-composant particulier du système.

Un tel système s'inscrit parfaitement dans la stratégie de maintenance d'ABB Marine et répond au souhait du client final de fournir à ses équipes techniques un outil intégré de surveillance et de diagnostic. Le client doit pouvoir accéder, en local ou à distance, à la fois à des informations cohérentes sur l'état de ses équipe-

Encadré Royal Caribbean Cruises Ltd.

La *Royal Caribbean Cruises Ltd.* fut créée en 1969 par trois compagnies maritimes norvégiennes. Son premier navire de croisière entra en service en 1970. Sa flotte compte aujourd'hui 20 navires pouvant accueillir 47 000 personnes. Le *Song of Norway* fut le premier bâtiment à être coupé par son milieu pour être allongé d'un bloc de cabines de 85 pieds. En 2005, l'entreprise annonçait un résultat net de plus de 700 millions de dollars. [www.royalcaribbean.com](http://www.royalcaribbean.com) (juin 2007)

Monte-charge du puits vertical de Sedrun (® AlpTransit Gothard Ltd)



ments et à l'historique d'exploitation du système de propulsion. Enfin, pour assurer la maintenance du système PCMS, le client peut également passer des contrats de service personnalisés avec ABB.

#### Mise en œuvre d'un système PCMS intégré

Le système de surveillance d'état des variateurs MT du tunnel du Saint-Gothard et le module de surveillance des roulements du paquebot de la Royal Caribbean s'appuie tous deux sur une plate-forme DriveMonitor™. Leurs convertisseurs de fréquence étant pratiquement identiques, il était tout naturel de faire bénéficier une application marine de l'expérience acquise sur le chantier souterrain.

Ces essais effectués chez différents clients permettent à ABB d'améliorer continuellement ses connaissances. A terme, le système PCMS pourra transmettre et collecter des données issues de tous les sous-composants du système de propulsion. La plupart des signaux sera intégrée à la plate-forme d'automatisation et de contrôle-commande IndustrialIT 800xA. Les défauts, alarmes et données brutes – issus des relais de protection, des générateurs et des transformateurs, de même que des systèmes de direction, de navigation et de refroidissement de l'Azipod® – seront importés dans le système PCMS. Un certain nombre de

paramètres, de signaux, d'événements et d'alarmes du convertisseur de fréquence seront surveillés en continu. Qui plus est, des dispositifs de surveillance d'autres fournisseurs pourront être utilisés pour obtenir des informations précises et complémentaires sur l'état d'un composant particulier. En cas de dysfonctionnement de l'Azipod®, il sera important de connaître les conditions d'exploitation (vitesse et route du navire, vitesse du vent et état de la mer). Enfin, l'accès à distance au serveur PCMS principal situé dans le local électrique par des équipes à terre sera indispensable.

Tester ces systèmes de surveillance et de diagnostic en vraie grandeur est la seule méthode valable pour développer un système PCMS complet. Les données ainsi collectées permettent à ABB de créer des produits à l'épreuve du temps pour une multitude d'applications. Dans ce processus, le client joue un rôle clé.

Michal Orkisz  
Jaroslaw Nowak  
Maciej Wnek  
ABB Corporate Research  
Cracovie (Pologne)  
[michal.orkisz@pl.abb.com](mailto:michal.orkisz@pl.abb.com)  
[jaroslaw.nowak@pl.abb.com](mailto:jaroslaw.nowak@pl.abb.com)  
[maciej.wnek@pl.abb.com](mailto:maciej.wnek@pl.abb.com)

# Intégration des opérations

Le nouveau credo des compagnies pétrolières  
Svein Vatland, Paula Doyle, Trond Michael Andersen

Un consortium de recherche-développement mené par ABB aide Statoil, une des principales compagnies pétro-gazières au monde, à développer des technologies et méthodes de travail lui permettant de gérer ses activités en continu et en temps réel, selon une logique transversale dépassant les frontières, et de sécuriser, optimiser et accélérer sa prise de décision.

Ce projet d'intégration des opérations, dénommé « TAIL IO », vise à terme quatre objectifs : augmenter la production journalière de 5 à 10 %, réduire les coûts de fonctionnement et de maintenance de 30 %, diminuer de moitié les incidents liés à la santé, la sécurité et l'environnement, développer des technologies, pratiques et compétences permettant de prolonger la durée de vie des champs pétrolifères et gaziers de Statoil.

En avril 2006, l'Association de l'industrie pétrolière norvégienne (OLF) publiait un rapport sur les avantages potentiels d'une intégration des opérations sur le plateau continental norvégien [1], selon lequel les compagnies pétro-gazières du site augmenteraient leur chiffre d'affaires de 41,5 milliards de dollars si elles intégraient rapidement leurs activités. Faute de quoi, elles encouraient un manque à gagner de 10 milliards de dollars, ne serait-ce que sur les trois prochaines années !

Ces sommes colossales reflètent les nombreux défis que la filière doit relever et les intérêts en jeu. Si les solutions avancées se distinguent par leur appellation anglo-saxonne – *Integrated Operations* (Statoil), *eOperations* (Hydro), *Smart Field* (Shell), *Field of the future* (BP), *i-field* (Chevron) –, elles suivent les mêmes axes méthodologiques : recours massif aux technologies de l'information et de la communication (TIC), et temps réel ; mise en place de nouvelles procédures de travail reposant sur l'accès à

ces données temps réel; changements organisationnels, notamment le rapatriement des fonctions et personnels des coûteuses plates-formes en mer vers les installations regroupées à terre.

Bref, l'ambition affichée est d'accélérer et d'augmenter la production, de réduire les coûts d'exploitation, de renforcer la sécurité et de prolonger la durée de vie des champs pétrolifères.

#### Statoil choisit ABB

Par «intégration des opérations», Statoil **Encadré 3** entend *une collaboration pluridisciplinaire et interentreprise, transversale et transfrontalière, favorisée par le temps réel et de nouvelles procédures visant à sécuriser, optimiser et accélérer les processus décisionnels*. Afin d'identifier les méthodes, modes opératoires et technologies nécessaires à cette intégration, Statoil a confié à ABB **Encadré 2** la direction d'un consortium de R&D tripartite **Encadré 1**.

Lancé en janvier 2006, le projet TAIL IO entend :

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

Le consortium et Statoil contribuent au projet à parts égales, en termes d'investissements et de ressources. Le Conseil norvégien de la recherche en est l'un des bailleurs de fonds, avec un budget de 24 millions de dollars sur une durée de trois ans et demi.

#### Statoil en chiffres

Statoil produit quotidiennement 1,1 million de BEP

(baril équivalent pétrole) et se classe au troisième rang mondial des exportateurs nets de pétrole brut. La compagnie exploite 25 plates-formes en mer, quelque 6000 kilomètres d'oléoducs et gazoducs, des installations terrestres et des terminaux dans cinq pays européens sur les bords de la mer du Nord **1**. Statoil compte également parmi les producteurs et transporteurs mondiaux d'hydrocarbures les plus écologiques et s'inscrit régulièrement au premier rang de l'indice Dow Jones de la gestion durable (*Dow Jones Sustainability World Index*).

L'application de cette démarche d'intégration à l'ensemble de ses activités requiert des stratégies à court et long termes. Dans le premier cas, il s'agit d'améliorer au quotidien l'exploitation et la maintenance, avec la création de centres de soutien terrestres, l'optimisation des principes opérationnels, la formation du personnel à TAIL IO et à la coopération transfrontalière, et l'investissement dans les TIC pour favoriser la collaboration en temps réel. L'implication des fournisseurs et

des prestataires externes, dans le cadre de l'exploitation et de la maintenance des installations, est une composante essentielle du projet. A plus longue échéance, il faudra investir dans des technologies, procédures et compétences nouvelles pour réussir la transition vers «l'entreprise intégrée».

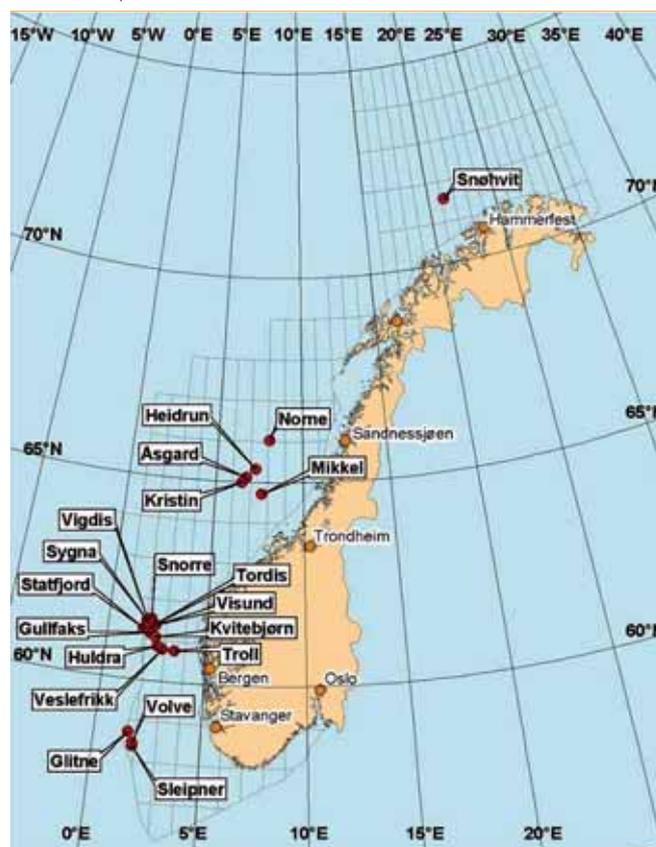
### TAIL IO a pour premier objectif d'améliorer la production des champs arrivant en fin de vie.

A tous les niveaux de la chaîne de valeurs, Statoil dépend étroitement de ses prestataires et fournisseurs pour mener à bien ses objectifs. Le modèle classique de R&D applicable à la gestion des actifs tire rarement profit de ces compétences. Pour y remédier, Statoil a forgé un nouveau modèle de partenariat avec ses principaux fournisseurs, formalisé par le contrat signé avec le consortium ABB.

Cette collaboration est un modèle d'intégration des opérations! Elle exige la symbiose des différentes entreprises, cultures et fonctions (R&D et unités opérationnelles), une gestion commune et l'emploi de la méthode ABB d'évaluation de projet *Gate Mode*<sup>1)</sup>. Qui plus est, à l'heure du bilan, ce partenariat illustrera la façon dont Statoil et ses principaux fournisseurs auront créé de la valeur en encourageant leurs meilleures ressources de R&D à coopérer dans un environnement sans frontières. De fait, la collaboration en matière de recherche s'appuie sur des objectifs communs et ciblés, mais aussi sur la confiance.

Selon le consortium, ce projet est une occasion unique de bénéficier du retour d'expérience client, très en amont du processus de R&D, ce qui permet à ABB et à ses parte-

**1** Sites de production Statoil



#### Note

<sup>1)</sup> Cf. p. 12 de ce numéro de la Revue ABB

## Automation

naires de se concentrer sur les besoins réels du client. C'est aussi l'assurance de valider les technologies et méthodes ainsi développées, dans des installations pilotes pleinement opérationnelles.

Chaque équipe de R&D est composée de représentants des cinq partenaires ;

## Encadré 1 Les membres du consortium

**IBM**

Premier éditeur de logiciels intermédiaires (*middleware*) et deuxième constructeur informatique au monde, IBM caracole en tête des sociétés de conseil, avec plus de 3000 spécialistes du pétrole et du gaz. C'est aussi le plus grand groupe de recherche industrielle de la planète avec quelque 3400 chercheurs et 8 laboratoires (CA en 2006 : 91,4 milliards de dollars).

**SKF**

SKF est le premier fournisseur mondial de produits, solutions et services sur les marchés des roulements et des joints, de la mécatronique, du support technique, de la maintenance conditionnelle et des systèmes de lubrification. Son activité *Reliability Systems* propose des systèmes à forte valeur ajoutée, des logiciels et des services de conseil visant à renforcer la fiabilité des équipements (CA en 2006 : 7,7 milliards de dollars).

**Aker Kvaerner**

Aker Kvaerner est un leader mondial de l'ingénierie et de la construction, de produits technologiques et de solutions intégrées pour le secteur pétrolier et gazier, le raffinage et la chimie, l'industrie minière, la métallurgie et la production d'électricité (CA en 2006 : 8,4 milliards de dollars).

le projet TAIL IO permet à ces co-équipiers de partager leur culture de la recherche-développement, leurs connaissances et savoir-faire. En outre, le consortium sera en mesure de développer les technologies pétrolières du futur en coopération avec un utilisateur final de premier plan, tel Statoil, et d'expérimenter sur le terrain les nouveaux concepts et solutions avant de les proposer sur le marché mondial.

L'ambition du projet TAIL IO est d'accélérer et d'augmenter la production, de réduire les coûts d'exploitation, de renforcer la sécurité et de prolonger la durée de vie des champs pétrolifères.

**Parer au déclin des ressources**

TAIL IO a pour premier objectif d'améliorer la production des champs arrivant en fin de vie. Le déclin de la production est en effet un enjeu majeur pour toutes les compagnies pétro-gazières : baisse de rendement, vieillissement des installations, coût opérationnel élevé. Le prolongement de la durée de vie économique des champs est donc vital pour tous les acteurs de la filière, notamment sur le plateau norvégien.

TAIL IO se subdivise en six sous-projets ou « pôles technologiques »

étroitement liés ; la collaboration y est vivement encouragée <sup>2</sup>.

**1) Maintenance conditionnelle et suivi des performances**

L'objectif est de créer un portail de suivi d'état des installations contenant des informations sur tous les équipements sous-marins et de surface stratégiques, et facilitant le travail des centres de compétences TAIL IO. Ce projet développera des méthodes de détection précoce des défaillances, de prévision de la durée de vie résiduelle et de surveillance des équipements clés : pompes, vannes, machines électriques tournantes et statiques...

**2) Outil décisionnel de planification stratégique des changements et arrêts de production**

Il s'agit de développer un outil capable de traiter une grande quantité de données complexes dans le but ultime de supprimer les arrêts improductifs.

**3) Communication et instrumentation sans fil**

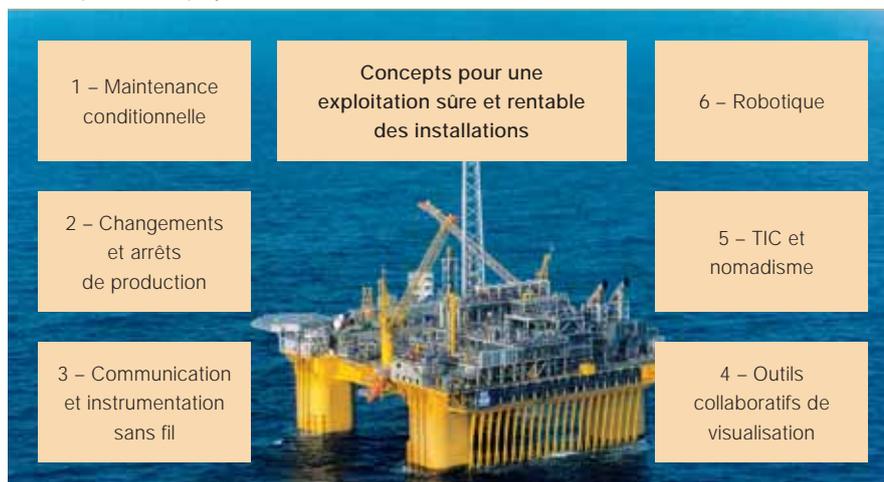
Le projet prévoit notamment la conception de nouveaux systèmes de communication ouverts, l'installation de capteurs sans fil pour réduire les dépenses de câblage et d'équipement ainsi que l'automatisation des tâches de maintenance pour écourter les interventions avec moins d'effectifs.

**4) Outils collaboratifs de visualisation pour la préparation, la formation, l'exécution et le soutien des actions de maintenance**

Le but est de mettre au point un outil intégrant un large éventail de fonctions (dont la collaboration pluri-organisationnelle des équipes) pour réaliser les opérations de maintenance et les diagnostics, et améliorer la qualité de l'assistance fournie par les centres d'excellence.

**5) TIC et nomadisme**

L'accent est mis sur le dialogue homme-machine, les procédures de travail et l'informatique mobile pour faciliter la tâche du personnel. Grâce à l'essor des équipements et réseaux sans fil, les agents de maintenance ont de plus en plus un accès permanent aux systèmes et au personnel du support technique, par connexions sans fil et assistants personnels (PDA).

**2 Composants du projet TAIL IO**

**Encadré 2** ABB et Statoil

Depuis de nombreuses années, ABB et Statoil ont tissé des liens de coopération dans la plupart des maillons de la chaîne pétro-gazière.

Troll A (un des plus grands champs de gaz naturel au monde) bénéficie de deux technologies de pointe ABB : les liaisons courant continu haute tension *HVDC Light*<sup>®</sup> et les moteurs très haute tension. Grâce à la production d'électricité depuis le rivage, une première à l'échelle mondiale, Statoil a augmenté sa capacité de production de gaz naturel de 25 millions de m<sup>3</sup> par an et réduit



ses émissions annuelles de CO<sub>2</sub> de 230 000 tonnes (photo de gauche).

Le champ de gaz naturel de Snohvit et l'usine de liquéfaction du gaz naturel d'Hammerfest (photo de droite) sont équipés d'un système ABB d'automatisation, de sécurité et d'électrification hautement intégré, qui permettra à Statoil d'exploiter et de contrôler les installations sous-marines depuis la côte, et d'atteindre un niveau inégalé d'efficacité énergétique lors de la mise en production fin 2007.



ques et collaboratifs à relever (avec la possibilité de suivre tout le processus de R&D, de la proposition conceptuelle aux essais pilotes), le projet TAIL IO est déjà une réussite.

Autre défi : l'ouverture d'esprit et le partage des idées nouvelles. Afin de capitaliser sur toutes les bonnes idées et d'en attribuer le mérite à leurs inventeurs, un système d'enregistrement et de diffusion des innovations a été mis en place. Le but est de concrétiser ces idées en solutions, d'intégrer les projets pilotes réussis aux actifs de Statoil et, pour les membres du consortium, de diffuser cette technologie dans le monde entier.

**Lancement des essais pilotes**

Actuellement, plusieurs technologies et solutions TAIL IO entament la phase d'essais pilotes. Ainsi, le sans-fil industriel, amplement testé en laboratoire, va être expérimenté dans plusieurs sites de Statoil. Une plate-forme d'essai robotisée, en vraie grandeur, sera bientôt installée dans un laboratoire d'ABB. De même, plusieurs techniques de suivi d'état et des performances permettant l'accès aux informations, d'où que l'on soit, constituent de véritables instruments d'intégration des opérations qui feront prochainement l'objet d'essais pilotes. Le déploiement de toutes ces technologies et solutions TAIL IO dans un grand nombre d'équipements et d'installations sera la preuve irréfutable de leur succès.

**Svein Vatland**

ABB Process Automation, Oil and Gas  
Oslo (Norvège)  
svein.vatland@no.abb.com

**Paula Doyle**

ABB Strategic R&D for Oil and Gas  
Oslo (Norvège)  
paula.doyle@no.abb.com

**Trond Michael Andersen**

Statoil R&D  
Trondheim (Norvège)  
tman@statoil.com

**Bibliographie**

[1] Association de l'industrie pétrolière norvégienne, *Potential Value of Integrated Operations on the Norwegian Shelf*, April 2006

**6) Robotique**

Ce sous-projet complète et élargit les capacités d'intervention et de contrôle humains, dans les installations sous-marines, de surface et à terre. Il s'agit de développer des solutions de pointe associant télérobotique et visualisation avancée pour faciliter l'inspection à distance et la télémaintenance, de même qu'identifier et combler les failles technologiques.

**Une collaboration créative**

La mise en œuvre d'une culture de

**Encadré 3** Statoil

Premier opérateur sur le plateau continental norvégien, Statoil est une compagnie pétro-gazière intégrée, exerçant ses activités d'exploration-production dans 15 pays. C'est aussi l'un des principaux fournisseurs mondiaux de pétrole brut, approvisionnant une grande partie du marché européen en gaz naturel (CA en 2006 : 71,7 milliards de dollars).

projet, source d'inspiration et d'innovation, n'est pas une sinécure lorsque de multiples partenaires et intérêts divers entrent en jeu. La participation de nombreux organismes de recherche externes ajoute à la difficulté ; TAIL IO accueille actuellement cinq doctorants et cinq post-doctorants.

Si les compagnies pétro-gazières du plateau continental norvégien intégraient rapidement leurs activités, elles augmenteraient leur chiffre d'affaires de 41,5 milliards de dollars.

Les chercheurs bénéficient à cette fin d'un accompagnement et d'un environnement stimulants, propices à la créativité individuelle et collective. En leur soumettant un grand nombre de défis technologiques, méthodologi-

# Le dessous des boucles

Suivre les performances de la régulation pour optimiser le procédé  
Manfred Rode, Ulrich Dombrowski, Jörg Budde



Les complexes industriels, tels les centrales d'énergie, sont de gigantesques puzzles alignant une multitude de pièces, équipements et opérations tournant à l'unisson pour constituer un « procédé » sans faille et optimal. Derrière cette imposante façade fourmillent des centaines, parfois des milliers de boucles de régulation qui pilotent le site sous les ordres du maître des lieux. Et pour que l'usine soit « au top », il faut parfaitement aligner toutes les briques de l'édifice. Jusqu'ici, le réglage de ces boucles exigeait du temps et de l'argent : la moindre modification et remise à niveau, sans compter le vieillissement de l'équipement, obligeaient à repenser en permanence l'optimisation du site, lequel, dans la quasi-totalité des cas, était loin de tourner à pleine capacité. ABB a donc fait équipe avec les ingénieurs de la centrale de STEAG pour mettre au point des méthodes d'audit, de suivi et d'optimisation des performances de contrôle-commande des centrales d'énergie.

La notion de «suivi des performances industrielles», indissociable du contrôle-commande d'une unité de production, obéit à de nombreux facteurs : au-delà du vieillissement naturel des installations, les arrêts de production et les mauvais réglages (défauts de linéarité des vannes, par ex.) ont leur importance. Les modifications du procédé ont toujours des répercussions, imprévisibles à l'origine, sur le comportement global de l'usine. Les contraintes de coûts et de temps obligent donc à l'exploiter momentanément en-dessous de ses capacités. Grande est alors la difficulté d'analyser les causes de cette «baisse de forme», étant donné la masse de données à interpréter!

Il n'est pas rare que des installations techniques comme les centrales d'énergie comptent des centaines ou des milliers de boucles de régulation dont une poignée seulement est l'objet d'un suivi régulier et attentif dans la mesure où son dysfonctionnement affecte directement le process. Le fait est que la majorité des boucles de régulation agit plus ou moins «en coulisses» (leur défaillance n'ayant pas d'impact immédiat sur la performance de l'outil de production), quitte à revenir sur le devant de la scène lorsqu'il s'agit d'optimiser l'usine sous tous les angles!

Les boucles de régulation sont l'influx nerveux de l'usine ; leur « état de santé » donne littéralement le pouls de la production.

La corrélation entre la bonne santé de l'usine, à savoir ses performances, et une boucle de régulation devient manifeste si l'on a en tête la fonction assurée par cette boucle au sein du procédé.

Toute «dérive» – mesure de l'écart entre la variable contrôlée du procédé (grandeur réglée) et la valeur souhaitée (consigne) – occasionne un transfert de masse ou d'énergie. A cela s'ajoute une variable de sortie ou «grandeur réglante» qui régule ce transfert, en fonction de la stratégie

de contrôle-commande mise en œuvre, et agit sur un organe du procédé pour faire coïncider grandeur réglée et consigne. Cette concordance et surtout son maintien, compte tenu des variations et perturbations du process, sont les deux premiers objectifs d'une régulation.

#### Analyser les signaux d'une boucle de régulation

Les boucles de régulation sont l'influx nerveux de l'usine ; leur «état de santé» donne littéralement le pouls de la production. Ces boucles étant interconnectées, le dysfonctionnement de l'une se répercute forcément sur l'autre, qu'elles soient voisines ou distantes. Même si l'on tente de minimiser cet impact mutuel moyennant le cloisonnement des différentes opérations du procédé (à l'aide de tampons, notamment), il est impossible de venir à bout du phénomène.

Les trois grandeurs que sont la consigne et les variables réglée et réglante suffisent habituellement pour tester une boucle de régulation et l'organe associé, en analysant, en cours de fonctionnement, les dérives par rapport à la consigne. La multiplicité des régulations dans une usine explique aisément le fait que ce type de contrôle qualité soit de moins en moins employé en fonctionnement, par manque de temps et d'argent.

#### Domaines d'élection

Durant les années 80, le parti pris d'ausculter les boucles de régulation pour rendre compte de l'état d'une usine donna lieu à de nombreuses études. L'industrie du papier fut une des premières à défricher le terrain, l'idée-force étant de se démarquer de la méthode classique d'analyse des perturbations qui consistait à sonder chaque boucle de régulation du procédé. Il fallait un moyen d'utiliser les courbes des signaux de la régulation en fonctionnement pour obtenir des informations sur la qualité des boucles et en tirer des conclusions sur la performance globale de l'usine.

Autre difficulté : pallier le manque croissant de personnel qualifié. En effet, la dizaine de boucles dont un régulateur avait hier la responsabilité se comptent aujourd'hui par centaines!

Impossible de consacrer autant de temps à les surveiller une par une.

Pour y remédier, les ingénieurs ont développé plusieurs méthodes aux appellations différentes mais reprenant les mêmes principes de base : audit, suivi d'état, analyse et optimisation des boucles de régulation pour doper les performances du process. Sur la base d'une multitude de variables statistiques interconnectées, ces outils fournissent une analyse quantitative de chaque boucle [1].

Ces méthodes ont été testées et validées ; elles sont aujourd'hui opérationnelles, non seulement dans le papier mais aussi de plus en plus dans la chimie. A cela rien d'étonnant quand on sait ce que coûte aux industriels une seule boucle de régulation : entre la chaîne de mesure, l'actionneur, les commandes et la transmission des signaux, l'investissement se chiffre entre 5000 et 100 000 € [2]. A ce niveau, un éventuel surcoût de 100 à 200 € par boucle pour le suivi des performances est une goutte d'eau dans l'océan.

Un autre argument plaide en ce sens : les problèmes de qualité liés au paramétrage et au dimensionnement des régulations. Si l'on en croit les estimations, environ un tiers des boucles de régulation donne satisfaction, un autre tiers fonctionnant assez bien. Près de 30% des régulations sont principalement réalisées à la main, leurs performances n'étant pas à la hauteur.

#### A quand les centrales d'énergie ?

Le logiciel ABB d'optimisation des boucles de régulation *Optimize<sup>IT</sup> Loop Performance Manager* (LPM) se com-

#### Encadré STEAG

Cette filiale du conglomérat RAG occupe le cinquième rang des producteurs d'électricité allemands.

- Parc : centrales thermiques au charbon
- Puissance totale installée : 9000 MW
- CA en 2006 : 2,73 milliards d'euros
- Effectifs : environ 5000

www.steag.de (juin 2007)

## Automation

pose d'algorithmes qui analysent les signaux de ces boucles en ligne et posent un diagnostic virtuel et actualisé de la régulation. Autant dire que le test de chaque fonction, basé sur la méthode dérive/consigne, est dépassé puisque le comportement du site fournit déjà, en temps normal, assez d'informations sur la qualité de la régulation.

Les instrumentistes et régleurs de la centrale thermique STEAG de Lünen, en Allemagne (photo p. 76), se sont montrés très favorables à la mise en application de la méthode ABB d'analyse des performances sur leur site, compte tenu de l'énorme quantité de données de régulation pouvant servir à tester la compatibilité de cette technique avec la centrale.

Autre atout de choix, la coopération de longue date entre ABB et STEAG **Encadré**. En effet, la centrale possède déjà un système ABB de pilotage du procédé et ABB Service assure la maintenance des installations depuis des années : deux conditions bien pratiques pour réaliser les premiers essais. Tout aussi encourageants furent la synergie entre le personnel de l'usine,

la longue expérience d'ABB en matière de maintenance et les talents de l'équipe scientifique ABB pour mettre au point une nouvelle démarche de suivi des performances appliquée aux centrales d'énergie.

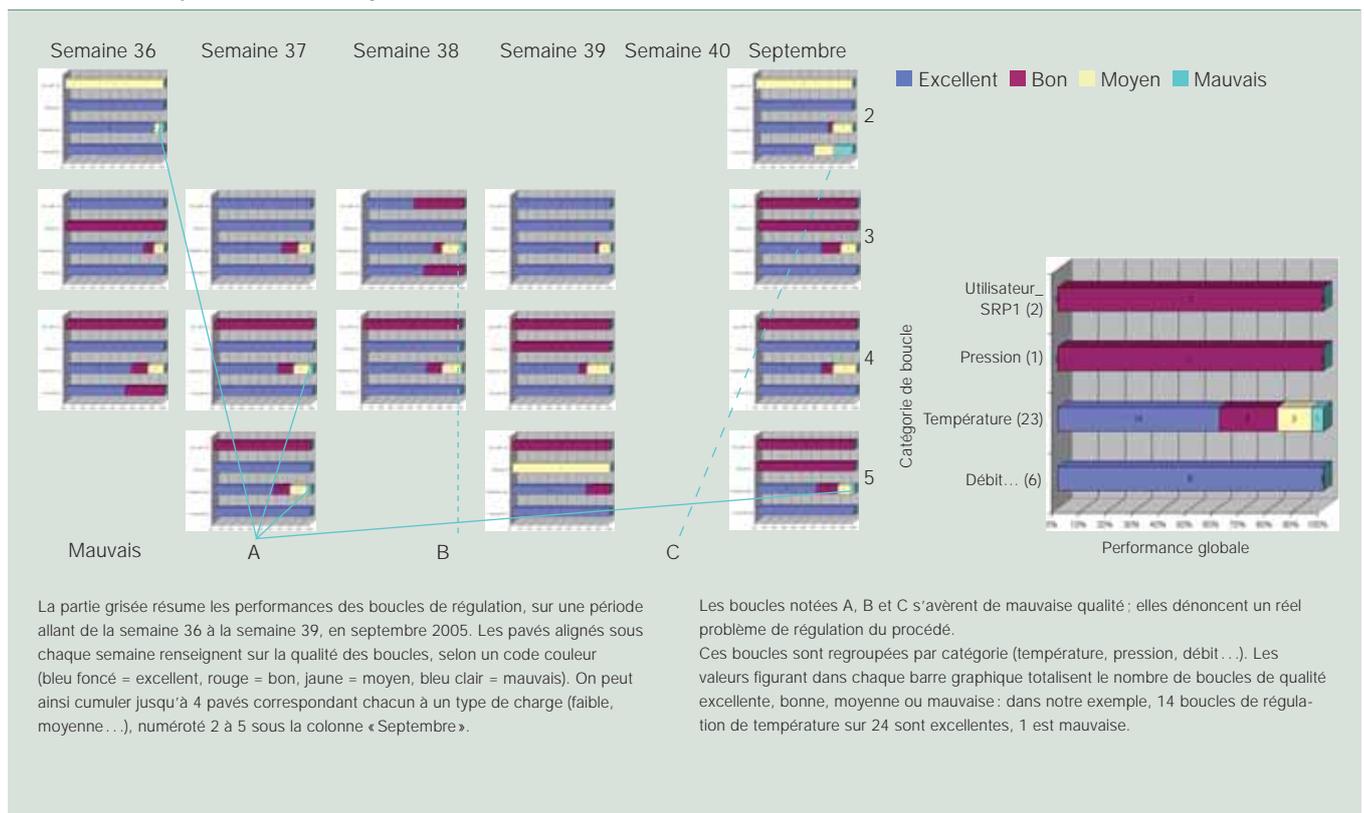
Le scénario de test choisi pour l'occasion porta sur l'admission d'air dans la chambre de combustion, connue pour être une éventuelle source de dysfonctionnement en raison des volumes d'air brassés, de la longueur des canalisations et de la dispersion des installations. Les ingénieurs décidèrent de se cantonner à une zone de la centrale afin de se concentrer sur leur métier et de s'assurer que le résultat des essais pouvait aussi bien être validé par des méthodes traditionnelles. Pour être à même d'étudier également les données archivées, les algorithmes, développés en partie au centre de recherche ABB, furent intégrés sur une plate-forme logicielle autorisant l'exportation de ces archives et l'affichage des résultats de l'analyse dans Excel. Cette méthodologie déboucha sur une solution offrant l'avantage d'être indépendante du système de pilotage du procédé ■.

Les premières applications sur site n'ont pas tardé à mettre en évidence les disparités entre centrale d'énergie et usine papetière : les groupes thermiques modernes, même les plus élémentaires, sont parfaitement capables de fonctionner à pleine charge à un moment donné tout en sachant baisser de régime l'instant suivant, alors que la production de papier présente des conditions d'exploitation relativement constantes et stables. Or ces différences se retrouvent dans le fonctionnement de la régulation.

Ce suivi des performances autorise l'analyse de boucles tant sporadiques que cycliques, sur de longues périodes, sans avoir à installer un PC dédié.

Il est vite apparu qu'un seul fichier d'archives ne contenait pas toutes les données requises, pour la simple raison que les analyses fondées sur des données mathématiques nécessitent également des variables qui sont sou-

1 Bilan d'une analyse de boucles de régulation, sur 4 semaines

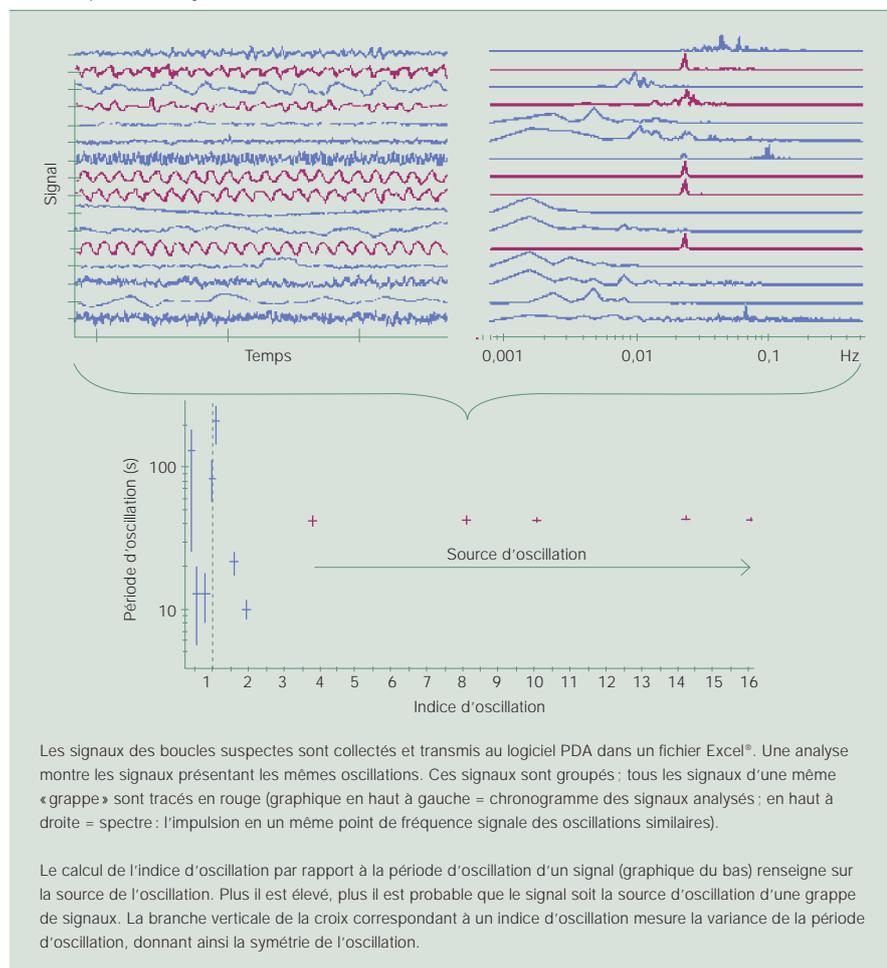


La partie grisée résume les performances des boucles de régulation, sur une période allant de la semaine 36 à la semaine 39, en septembre 2005. Les pavés alignés sous chaque semaine renseignent sur la qualité des boucles, selon un code couleur (bleu foncé = excellent, rouge = bon, jaune = moyen, bleu clair = mauvais). On peut ainsi cumuler jusqu'à 4 pavés correspondant chacun à un type de charge (faible, moyenne...), numéroté 2 à 5 sous la colonne « Septembre ».

Les boucles notées A, B et C s'avèrent de mauvaise qualité ; elles dénoncent un réel problème de régulation du procédé.

Ces boucles sont regroupées par catégorie (température, pression, débit...). Les valeurs figurant dans chaque barre graphique totalisent le nombre de boucles de qualité excellente, bonne, moyenne ou mauvaise : dans notre exemple, 14 boucles de régulation de température sur 24 sont excellentes, 1 est mauvaise.

## 2 Principe de l'analyse PDA



vent négligées dans les analyses purement empiriques à base de courbes.

En revanche, la coopération étroite entre le personnel extrêmement motivé de la centrale, l'équipe d'ABB Service et les chercheurs ABB permet de lever sans peine ces obstacles ; le personnel de la centrale réussit à compléter les archives tandis qu'ABB Service en optimisait l'exportation. D'énormes quantités de données furent ainsi analysées dans les laboratoires du centre de recherche ABB de Ladenburg, qui se chargea également de peaufiner les algorithmes analytiques.

Encore fallait-il accéder à de telles masses de données de régulation dans une centrale ! D'où l'emploi d'un outil jusqu'ici inédit dans cet environnement : le logiciel ABB d'analyse des perturbations et défaillances de la production ou «PDA» (*Plant-wide Disturbance Analysis*) qui, tout en se démarquant des méthodes de suivi

d'état traditionnelles [3], améliore l'analyse des interactions des différentes composantes d'un site et cerne avec plus de fiabilité les causes d'un arrêt 2.

L'étude et la confrontation des résultats de l'analyse portant sur une trentaine de boucles de régulation de la distribution d'air (à laquelle s'ajouta la détection des défauts de surchauffe de vapeur), près d'un mois durant, permirent d'éclairer les divers constituants de l'usine sous un tout nouvel angle : les ingénieurs devenaient capables d'expliquer au client les interactions et liens de causalité qui leur échappaient jusque-là. Certaines des interrogations du client trouvèrent ainsi une réponse. ABB rebondit sur ce succès en étendant son analyse en ligne à toute l'usine.

### Une vocation à l'universalité ?

Cette méthode convient-elle au suivi des performances des centrales

d'énergie ? Sans équivoque, la réponse est oui ! L'offre d'ABB Service s'est donc enrichie d'une prestation supplémentaire qui a non seulement facilité la tâche du personnel qualifié de la centrale mais aussi jeté les bases d'un socle de connaissances universel sur le comportement des boucles de régulation dans ce type de site industriel.

Il est en outre inutile d'installer un PC dédié à l'analyse et de l'intégrer au réseau de production. Ce suivi des performances autorise l'analyse de boucles tant sporadiques que cycliques, sur de longues périodes. Les résultats, soumis au personnel de la centrale comme aux équipes d'ABB Service, ont justifié les mesures envisagées, l'analyse se fondant, dans tous les cas, sur des données solides et pertinentes. En conjuguant des talents de différents horizons, ce co-développement ABB-STEAG a une fois de plus montré la voie du succès.

### Manfred Rode

ABB Corporate Research  
Ladenburg (Allemagne)  
manfred.rode@de.abb.com

### Ulrich Dombrowski

STEAG GmbH  
Lünen (Allemagne)  
ulrich.dombrowski@steag.de

### Jörg Budde

ABB Power Technology Systems  
Schloß Holte-Stukenbrock (Allemagne)  
joerg.budde@de.abb.com

### Bibliographie

- [1] Rode, M., 2004, *Control Performance Monitoring – Ein effizientes Verfahren für die Zustandsüberwachung von Produktionsprozessen*, BWK vol. 56, No. 9, p. 51–55
- [2] Dittmar, R., Bebar, M., Reinig, G., 2003, *Control Loop Performance Monitoring – Motivation, Methoden, Anwenderwünsche*, Automatisierungstechnische Praxis 45 No. 4, p. 94–103
- [3] Horch, A., Cox, J., Bonavita, N., *Des performances au sommet – L'analyse des causes de défaillance appliquée à toute l'usine*, Revue ABB 1/2007, p. 24–29

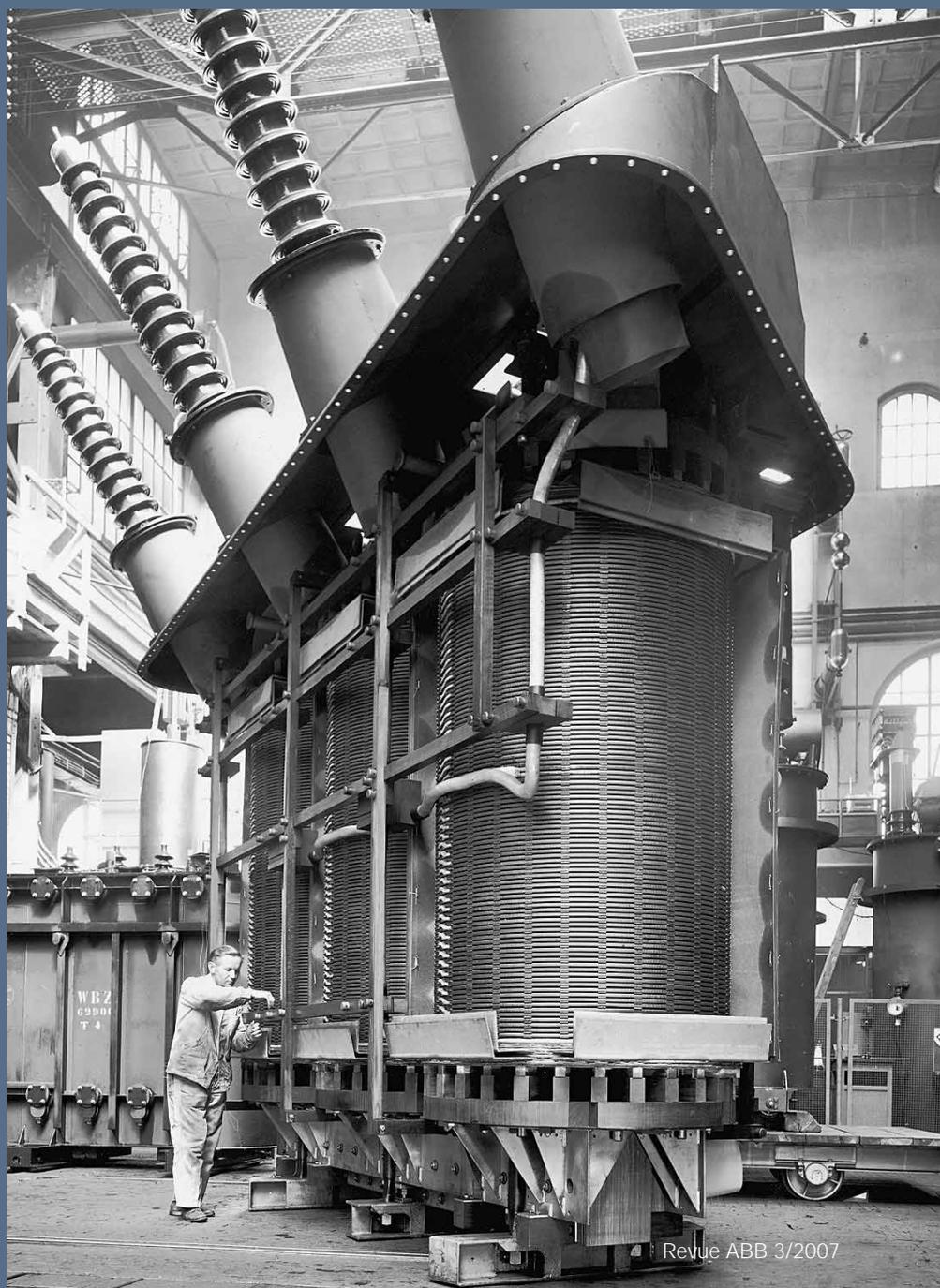
# ABB et le transformateur

Une longue histoire

Thomas Fogelberg, Åke Carlsson

Imaginez un instant un monde sans transformateurs de puissance : en l'absence de réseaux de transport à haute tension, impossible d'acheminer, de manière rentable, l'électricité sur de longues distances. Impensable de faire profiter les infrastructures électriques d'économies d'échelle ou du partage des réserves d'électricité. Pas question non plus d'envisager les tout derniers progrès de la filière, ainsi que leurs retombées sur les consommateurs (ouverture du marché à la concurrence et négoce d'énergie) et l'environnement (raccordement à grande échelle d'éoliennes éloignées des lieux d'utilisation)... Fort heureusement, il n'en est rien ! Par contre, l'inquiétude croissante concernant la fiabilité des réseaux oblige à s'équiper de transformateurs puissants et robustes. Car sans eux, notre électricité serait moins fiable, plus chère et davantage gaspillée, au grand dam des clients industriels, commerciaux et résidentiels.

Quasiment tout au long de l'histoire des transformateurs, ABB et ses prédecesseurs ont été à l'avant-garde des techniques de développement et de fabrication de ces appareils. La *Revue ABB* revient ici sur les temps forts de cette évolution.



## ABB, ÉTERNEL PIONNIER

ABB a toujours su satisfaire la demande du marché des transformateurs de puissance, qu'il s'agisse de simples équipements individuels pour la transmission point à point ou des ouvrages stratégiques des réseaux de grand transport et d'interconnexion.

#### Jalons historiques

A la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, le transformateur s'est vite imposé comme un élément essentiel du transport économique de l'énergie électrique. Dès 1891, un appareil à 20 kV exposé au Salon de Francfort-sur-le-Main (Allemagne) prouvait la faisabilité de la technologie. Deux ans plus tard, ASEA, l'une des compagnies fondatrices d'ABB, fournissait à la Suède une première liaison commerciale de transport triphasé reliant une centrale hydroélectrique à une grande mine de fer distante d'une dizaine de kilomètres.

Le transformateur est à l'origine d'une avancée majeure : il élève la tension produite par les centrales pour transporter efficacement l'électricité tout en limitant les pertes Joule, puis l'abaisse à des niveaux plus sûrs pour desservir les lieux de consommation.

Des usines de transformateurs n'ont pas tardé à apparaître dans la plupart des pays d'Europe et aux États-Unis. ASEA, BBC, General Electric (GE), Westinghouse et bien d'autres constructeurs et installateurs y ont rapidement acquis leurs lettres de noblesse <sup>1</sup>. A l'époque, il s'agissait de sociétés nationales exploitant la technologie des compagnies publiques de distribution d'électricité, avec lesquelles elles collaboraient étroitement.

Des pays tels que la Suède, quasiment démunis de réserve de combustibles fossiles mais riches d'un fort potentiel hydroélectrique (certes éloigné des grandes zones urbaines), avaient tout intérêt à se doter de réseaux de transport d'électricité. Or, les distances augmentant, il fallait élever le niveau de tension pour minimiser les pertes et réduire le nombre de lignes parallèles nécessaires.

Au début des années 50, la Suède mit en service le premier réseau à 400 kV, long d'environ 1000 km et d'une puissance de 500 MW : un tournant dans l'histoire du transport électrique en Europe <sup>2</sup>.

La très haute tension (THT) posait un défi tant au niveau de la conception et de la fabrication que des essais. Les lignes de grand transport présentant un risque de tensions transitoires, il était nécessaire d'élaborer de nouvelles procédures de test, plus strictes, pour garantir l'intégrité diélectrique ; elles furent alors incluses dans les essais de réception des transformateurs.

Très vite, bien des pays européens suivirent l'exemple suédois et adoptèrent le 400 kV. Le Québec avait un profil

<sup>1</sup> Premier transformateur triphasé ou « triple convertisseur », conçu sous brevet de Jonas Wenström, inventeur de génie à l'origine de la société ASEA.



<sup>2</sup> Transformateurs élévateurs 400 kV de Harsprånget : unités monophasées à trois enroulements basse tension alimentant trois générateurs en parallèle d'une puissance unitaire de 105 MVA.



semblable à celui de la Suède : des énergies fossiles rares, de grandes capacités hydroélectriques, de longues distances entre ces bassins et les zones industrielles. Il fallait même augmenter la THT pour exploiter efficacement ces ressources. C'est en 1965 qu'Hydro-Québec inaugure sa ligne de transport à 735 kV (portée depuis à 800 kV).

Au début des années 50, la Suède mit en service le premier réseau à 400 kV, long d'environ 1000 km et d'une capacité de transport de 500 MW.

Aux États-Unis, la construction de grandes centrales thermiques s'accéléra, certaines tranches atteignant ou dépassant 1000 MW. Pour garantir la viabilité de tels ouvrages, l'électricité devait être distribuée sur de grandes distances et desservir de vastes étendues. Un réseau à 765 kV vint alors compléter le réseau 345 kV existant.

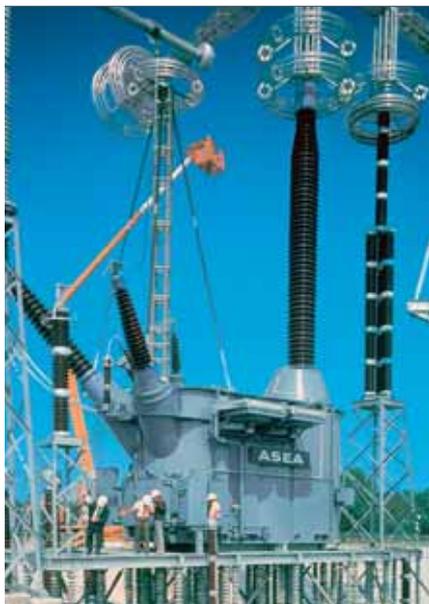
En parallèle, le réseau à 500 kV fut étendu. Parmi les exemples de gros transformateurs d'interconnexion, citons les premières unités monophasées 400 MVA, de tensions assignées 500/161 kV, destinées à la *Tennessee Valley Authority* (TVA).

Les premiers transformateurs livrés par ASEA Ludvika (Suède) à TVA avaient un circuit magnétique à cinq colonnes, dont trois bobinées en parallèle. Par la suite, le nombre de colonnes fut ramené de trois à deux pour la même puissance assignée. Enfin, les derniers exemplaires répondant à ce cahier des charges ne comptaient qu'une colonne principale, le réglage de la tension étant monté sur l'une des jambes latérales. Dans tous ces transformateurs, les enroulements basse et haute tensions étaient séparés, c'est-à-dire dépourvus d'auto-connexion.

Outre les gains de temps de fabrication (moins de colonnes), le passage de la première

## ABB, ETERNEL PIONNIER

3 Transformateur THT à 1785 kV dans la station d'essai AEP-ASEA près de South Bend (Etats-Unis). Le transformateur est installé sur une plate-forme isolée pour étudier les effets des tensions de ligne jusqu'à 2200 kV entre phases.



4 Installation d'essai à 1000 kV avec transformateur et inductance shunt, au centre de recherche d'ENEL (Italie)



5 Un des six transformateurs convertisseurs, à l'arrivée de l'interconnexion *Pacific Intertie* desservant la région de Los Angeles.



à la dernière version s'est accompagné d'une réduction de la masse sèche totale de 25 % et d'une diminution des pertes à vide et en charge d'environ 20 %. Après quoi, le client commença à acquérir et à installer des transformateurs auto-connectés, aux caractéristiques par ailleurs identiques.

Au début des années 70, TVA met en service sa première centrale 1200 MVA, à Cumberland (Tennessee). ASEA Ludvika réalise pour l'occasion des transformateurs éleveurs de 420 MVA, selon une conception monophasée ; c'est là une innovation technologique majeure en termes de puissance, sur une seule colonne bobinée.

Parallèlement, ASEA Ludvika lance un programme de développement avec la plus grande société électrique privée d'Amérique du Nord, *American Electric Power* (AEP), afin de tester le plus haut niveau de tension de transport techniquement réalisable. ASEA fabrique à cet effet un transformateur de réseau monophasé à une colonne bobinée en vraie grandeur, d'une tension maximale de 1785 kV et d'une puissance assignée de 333 MVA ; avec trois colonnes bobinées sur un noyau à cinq colonnes, la puissance aurait atteint 1000 MVA par phase, soit un total de 3000 MVA pour une unité triphasée complète. Implanté et exploité dans le centre de recherche dirigé conjointement par ASEA et AEP, l'appareil fonctionna sans faille jusqu'à la fin du programme 3.

Des programmes de R&D similaires, visant à concevoir des transformateurs capables de supporter des tensions de transport de 1000 kV et plus, furent également lancés par d'autres prédécesseurs d'ABB. En témoignent le transformateur et l'inductance shunt fabriqués en Italie et installés dans le centre d'études et d'essais d'ENEL à Suveto 4.

L'évolution de la production d'électricité et des projets d'extension de réseaux a ajourné la course aux hautes tensions et aux transformateurs de très fortes puissances : des tensions supérieures à 400 kV en Europe et à 800 kV sur les autres continents ne sont toujours pas en exploitation. Au demeurant, les besoins en capacité de

transport longue distance – ne serait-ce que pour relier les grandes centrales hydroélectriques éloignées des centres de consommation – expliquent le regain d'intérêt, en Chine et en Inde, pour des paliers de tensions compris entre 1000 et 1200 kV.

### Conception générale

La plupart des transformateurs sont des transformateurs à colonnes intégrant des enroulements de forme cylindrique bobinés de façon concentrique sur un noyau lui aussi cylindrique. Il existe aussi des transformateurs cuirassés dans lequel les enroulements sont rectangulaires et les circuits basse et haute tensions, plus ou moins alternés. Pour certaines applications, le transformateur cuirassé a trouvé un créneau viable, notamment les gros transformateurs survolteurs aux contraintes spécifiques. Ces deux types d'appareil font appel à des techniques de fabrication radicalement distinctes, correspondant à différents sites ; ainsi, ABB a confié la production de la plupart de ses transformateurs cuirassés à son usine espagnole.

### Restructuration de la fabrication

Auparavant, les transformateurs de puissance étaient perçus comme des produits « stratégiques » ; pour nombre de pays, il était capital de posséder ses propres unités de production. ASEA noua donc des liens étroits avec les constructeurs de chaque pays et implanta de nouveaux sites de production en Allemagne, en Afrique du Sud, aux Etats-Unis, au Canada, en Norvège et au Brésil. BBC, à la tête d'usines de transformateurs allemandes et suisses, ouvrit un site au Brésil. Westinghouse aida à la construction d'usines en Italie, en Espagne et en Australie, auxquelles il apporta son savoir-faire.

Les transformateurs sont des produits complexes, dont la « conception sur commande » requiert compétence et expérience, à tous les stades de leur réalisation. Cette exigence doit s'articuler autour de consignes claires qui se matérialisent dans les outils de conception et de fabrication.

Pour optimiser l'utilisation des ressources disponibles, les méthodes de conception et de production furent

## ABB, ÉTERNEL PIONNIER

harmonisées dans toutes les usines du Groupe. Le site d'ASEA Ludvika sert de référentiel et fournit conseils et assistance dans les domaines technique et productif. Une fois par an, voire plus si nécessaire, les responsables techniques et de la fabrication se rencontrent pour échanger des informations et être au fait des derniers progrès du développement. Les ingénieurs des différentes sociétés furent régulièrement invités à Ludvika pour y être formés tandis que les ingénieurs chevronnés de Ludvika purent occuper des postes clés dans les diverses entreprises du Groupe.

Les règles de conception et les procédures de fabrication étaient décrites dans des normes ou consignes spécifiques régissant chaque étape de la construction des transformateurs. Cette rigueur méthodologique permit d'acquérir une expérience inestimable de la conception et de la fabrication de ces appareils. L'ampleur de la production contribua également à maintenir et à gérer toute une équipe de développement.

La collaboration étroite entre les divers sites de fabrication s'est poursuivie après la création d'ABB : chaque société pouvait bénéficier du partage d'informations et de l'apport de l'ensemble des collaborateurs du Groupe. Les outils informatiques de conception et de développement sont désormais les mêmes aux quatre coins de la planète.

#### Transport longue distance

Afin d'optimiser les lignes existantes et leur emprise au sol, trois types d'équipement ont vu le jour : les transformateurs convertisseurs courant continu à haute tension (CCHT), les transformateurs déphaseurs et les inductances shunt.

#### Transformateurs CCHT

Le CCHT offre plusieurs avantages au transport longue distance. Il fut d'abord utilisé, en courant alternatif (CA), pour réduire la nécessité d'atténuer l'augmentation excessive de la tension provoquée par la puissance réactive. En CCHT, le transformateur de puissance ne se contente pas de modifier la tension pour permettre les échanges entre réseaux CA et CC ; il ajuste également la tension alternative,

qui passe alors de trois à six phases. Ainsi, les harmoniques produits par les courants des valves sont réduits. De plus, le transformateur sert de barrière au potentiel CC, empêchant la tension continue de pénétrer le réseau alternatif.

Il fallait uniformiser et harmoniser au plus vite plusieurs technologies, procédures et sites de fabrication, sans pour autant ralentir les cadences de production.

Les harmoniques de courant des valves et le potentiel CC sur le côté valves du transformateur posent de nouveaux défis technologiques aux ingénieurs. Ces harmoniques provoquent des pertes supplémentaires qui doivent être prises en compte et réduites pour éviter un dangereux échauffement local du transformateur. Le potentiel CC sur les enroulements des valves exerce des contraintes diélectriques différentes de celles provoquées par des tensions alternatives normales.

La conception du transformateur convertisseur moderne remonte aux unités construites pour le projet brésilien d'Itaipu<sup>1)</sup>, dans les années 80 : une tension de transport CC de 600 kV fut atteinte avec deux convertisseurs raccordés en série. Dans ce montage, les transformateurs du pont supérieur doivent avoir une résistance diélectrique de 600 kV. Chaque extrémité de la ligne CCHT compte 24 transformateurs monophasés totalisant une puissance de 6000 MW. Ce sont des unités à deux enroulements côté valves, un pour le couplage triangle, l'autre pour le couplage étoile (tous deux étant nécessaires au déphasage), montés sur les colonnes séparées d'un noyau commun et se comportant électriquement comme deux transformateurs indépendants.

En 2004, ABB livre des transformateurs monophasés d'une puissance de 620 MVA au réseau américain *Pacific Intertie*, à une tension de 500 kV CC **5** : ce sont les plus gros transforma-

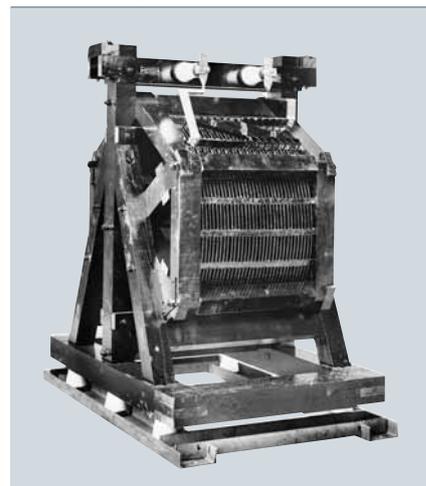
teurs convertisseurs fabriqués jusqu'à alors.

Aujourd'hui, ABB a atteint le stade ultime du développement des transformateurs convertisseurs 800 kV CC<sup>2)</sup>. Les longues transmissions point à point, surtout en Chine et en Inde, bénéficient de niveaux de tension plus élevés que ceux disponibles actuellement avec, à la clé, deux avantages écologiques : réduction des pertes en ligne et de l'emprise au sol.

**6** Amplificateur de quadrature à 400 kV, d'une puissance de 1630 MVA, installé sur le réseau italien pour réguler les transits d'énergie sur l'axe transfontalier Italie-France.



**7** Inductance (1923) pour la régulation de puissance et la protection contre les courts-circuits



#### Notes

<sup>1)</sup> Parallèlement à cette liaison CCHT, il existe une ligne 800 kV CA (reliant Itaipu à la région de Sao Paulo) construite essentiellement par l'usine BBC de Mannheim (Allemagne).

<sup>2)</sup> Lire également *Le réseau de grand transport réconstruit alternatif et continu – Des solutions d'avenir pour le transport massif d'énergie en 800 kV CC et 1000 kV CA*, Asplund, G., Revue ABB 2/2007 p. 22-27

## ABB, ETERNEL PIONNIER

### Transformateur déphaseur

Le transit d'énergie sur les réseaux HT fortement maillés doit être régulé pour mieux répartir le flux électrique sur les lignes parallèles. La charge de chaque ligne dépendant du décalage de phase entre les nœuds du réseau de transport, un déphaseur permet de pallier cet écart et, par la même, de fluidifier l'écoulement de puissance.

Ce déphaseur est monté en série sur la ligne électrique. Sa tension de sortie est égale à la tension d'entrée, mais avec un angle de phase dont on fait varier la grandeur. En modérant ce déphasage, on minimise la complexité de l'appareil pour produire uniquement une tension en quadrature : c'est la fonction de l'«amplificateur de quadrature» (*quadrature booster*) <sup>6</sup> qui, concrètement, s'apparente à deux transformateurs : un shunt et un série<sup>3)</sup>.

### Inductance shunt

Parfois appelée «bobine d'inductance», il ne s'agit pas d'un *transformateur* au sens de convertisseur d'énergie électrique par modification des valeurs de tension, mais ses similitudes constructives en font un équipement parfaitement adapté à une usine de transformateurs.

Apparue au début du XX<sup>ème</sup> siècle, l'inductance assurait alors une protection efficace contre les surintensités et les courts-circuits <sup>7</sup>.

Les lignes de transport longue distance et les réseaux câblés HT produisent beaucoup de puissance réactive. L'absence de compensation occasionne de graves hausses de tension, à de faibles charges ; l'inductance shunt installée entre la ligne et la terre régule, équilibre et absorbe ce réactif.

Introduites à la fin des années 60, les inductances shunt utilisaient la technologie et les composants des transformateurs à colonnes <sup>8</sup>.

La conception du transformateur CCHT moderne remonte aux unités construites pour le projet brésilien d'Itaipu, dans les années 80.

### Transformateurs industriels

Ces gros appareils (transformateurs de four et transformateurs redresseurs <sup>9</sup>) sont un segment majeur de l'offre ABB. Ils se caractérisent par une tension relativement faible au secondaire mais des courants élevés, des courants de charge de 60 kA ou plus n'étant pas rares. Or ces forts courants et leur pollution harmonique sont problématiques : flux magnétiques élevés autour des câbles de sortie dans la cuve et de la partie aérienne de ces câbles.

Dans les transformateurs de four, les courants élevés s'accompagnent de fréquents courts-circuits, en phase initiale de chauffage de l'acier dans le creuset. Une haute tenue aux courts-circuits et la nécessité de grandes plages de réglage imposent de soigner tout particulièrement la conception et la fabrication de ces appareils.

### Création d'ABB

En août 1987, le Suédois ASEA et le Germano-suisse BBC fusionnent pour former ABB. Peu de temps après, ABB acquiert les activités Transformateurs de Westinghouse (Etats-Unis) et d'Ansaldo (Italie), ainsi que des usines espagnoles ; National Industri (Norvège) et Strömberg (Finlande), quant à eux, étaient passés sous le giron d'ASEA juste avant la fusion.

Grâce à tous ses prédécesseurs, ABB peut aujourd'hui se prévaloir d'une expérience cumulée de 700 ans dans la fabrication des transformateurs <sup>Encadré</sup>. Il lui restait pourtant à uniformiser et harmoniser au plus vite plusieurs technologies, procédures et sites de fabrication, sans pour autant ralentir les cadences de production : une tâche titanesque !

Réparation d'un transformateur convertisseur CCHT à Drammen (Norvège)



<sup>8</sup> Inductance shunt de 150 Mvar, sur le réseau suédois à 400 kV



<sup>9</sup> Transformateur redresseur de 91,74 MVA, refroidi à l'air.



## ABB, ETERNEL PIONNIER

Des comités de réflexion et des groupes de R&D furent créés pour évaluer chacune des technologies en présence et en retenir les plus viables. Le principe de fonctionnement d'un transformateur est certes universel, mais son réglage fin est beaucoup plus nuancé. Principaux objectifs affichés : une compression des coûts et des temps de production, une amélioration des mesures de qualité (réduction des défaillances en laboratoire d'essais). Il importait de regrouper toutes les variables conceptuelles et productives dans un système informatique homogène facilitant le développement et la fabrication sur mesure.

ABB a donc réussi à unifier sa technologie des transformateurs, offrant le même produit aux mêmes niveaux de qualité, que l'appareil soit fabriqué en Allemagne, au Canada, au Brésil, en Inde ou en Chine. La durée de vie des transformateurs de puissance atteint désormais 30 à 40 ans, quel que soit le réseau électrique.

Plusieurs de ses unités de production nécessitaient une rénovation et une modernisation d'envergure pour satisfaire aux standards ABB de fabrication de transformateurs écologiques et performants. Les nombreux investissements en installations « propres » firent rapidement décoller la production sur la base du socle technologique commun et de l'aide précieuse des équipes support. En Allemagne, ABB mit sur pied un « Centre de transmission du savoir » (*Knowledge Communication Center*) pour ingénieurs.

Suite à la création d'ABB, le volume croissant de production permet de lancer plusieurs programmes de développement pour étudier notamment de nouvelles conceptions de transformateurs : enroulements SHT<sup>4)</sup> (dont un exemplaire de 630 kVA fut exploité durant un an), enroulements haute tension en feuilles de métal bobinées

(3 unités en service), transformateurs de fortes puissances de type sec et refroidis à l'air s'inspirant de la technologie câblée (2 en service). En participant à tous ces projets plus ou moins prometteurs, ABB a acquis une somme de connaissances qu'il applique égale-

ment à la technologie des transformateurs classiques. Et même si le marché hésite encore à adopter ces innovations, elles existent bel et bien.

Grâce à la puissance du Groupe, l'activité transformateurs poursuivra, dans

## Encadré TrafoStar™, dans la lignée des plus grands

TrafoStar™, dans la lignée des plus grands  
Les transformateurs ABB cumulent 700 ans d'expertise héritée des entreprises suivantes :

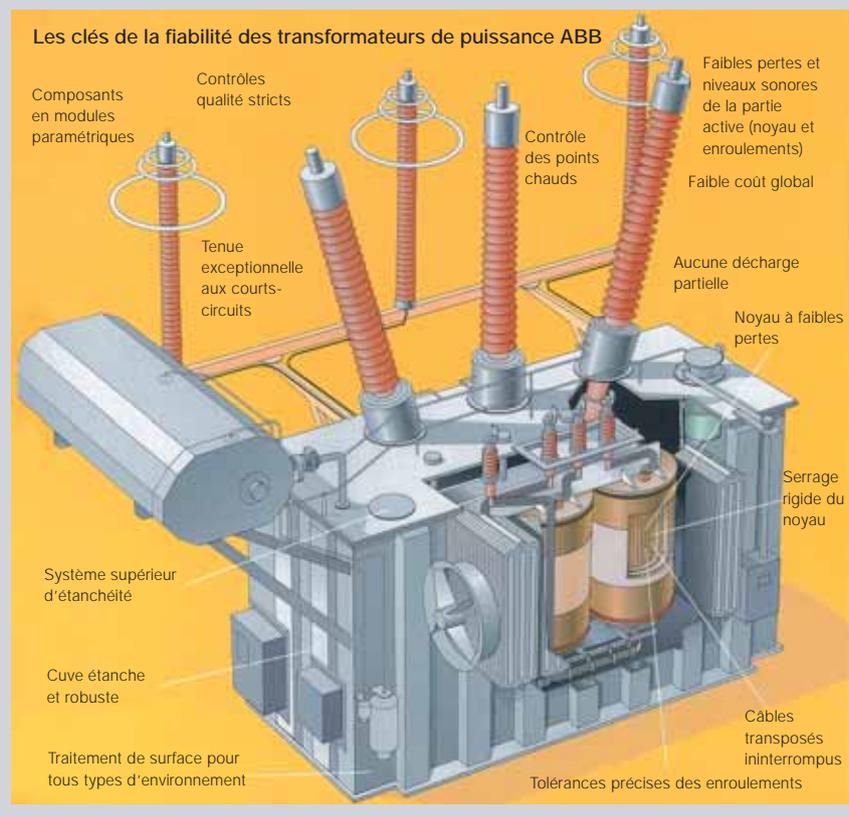
- ASEA
- Ansaldo/Italtrafo/IEL/OEL/OTE
- BBC
- GE
- National Industri
- Strömberg
- Westinghouse
- et bien d'autres...

Cette prestigieuse dynastie marque de son empreinte le savoir technologique d'ABB dans la conception et la fabrication des transformateurs, et complète son expérience du service dans les réseaux du monde entier.

ABB s'est appuyé sur ce solide socle de connaissances et a conjugué les meilleures pratiques de ses prédécesseurs pour forger une plate-forme globale : TrafoStar™.

Chaque transformateur TrafoStar™ obéit à des règles communes de développement, d'approvisionnement et de fabrication. Sa construction modulaire offre une grande capacité de réutilisation, une réduction des temps et variations de fabrication, ainsi qu'une qualité irréprochable. La production annuelle de 1400 unités garantit des performances exceptionnelles et une analyse des paramètres clés unique en son genre, gages d'améliorations constantes dans tous les sites de fabrication.

Les clients d'ABB ne bénéficient pas seulement des nouveaux transformateurs proposés par le Groupe : fort de tous ses savoirs, définis à présent sous la bannière TrafoStar™, ABB offre service et assistance aux 400 000 transformateurs de puissance opérationnels dans le monde.



## Notes

<sup>3)</sup> Un amplificateur de quadrature utilise un transformateur shunt pour déphaser de 90° la tension d'alimentation (d'où le terme « quadrature »), dont la sortie est raccordée pour faire varier l'amplitude. Un transformateur série ajoute ce dispositif au circuit principal.

<sup>4)</sup> Supraconducteur à Haute Température

## ABB, ETERNEL PIONNIER

la lignée des prédécesseurs, sa coopération active avec des organismes internationaux tels que le CIGRÉ, la CEI et l'IEEE. Cette collaboration a permis de normaliser les critères et procédures d'essais visant à vérifier l'intégrité des transformateurs, sous divers régimes de fonctionnement. Le respect de strictes exigences de qualité, tant au niveau de la conception que de la fabrication, a minimisé le risque des aléas opérationnels émaillant la longue durée de vie des transformateurs.

Après la fusion, ABB a développé une gamme de transformateurs couvrant

Assemblage d'un transformateur : un Meccano de précision !



10 Transformateur de distribution ABB au Brésil



tous les maillons du transport électrique, de la centrale aux abonnés. En bout de chaîne, les «transformateurs de distribution» sont prévus pour s'adapter à la topologie du réseau de chaque région du globe 10.

Dans ses sites spécialisés, ABB met largement à profit son savoir-faire et ses capacités de développement et de fabrication de matériaux et composants stratégiques pour transformateurs. Parmi ces produits de qualité, citons les tableaux de transformateurs et les équipements d'isolement d'enroulement fabriqués selon la technologie ABB. Le Groupe est également l'un des principaux fournisseurs mondiaux de changeurs de prises et de traversées de tous types. Sa maîtrise technologique (transformateurs, matériaux isolants, changeurs de prise, traversées et, bientôt, la commande électronique des transformateurs) lui permet d'offrir une gamme complète de ces appareils qui étayeront les développements futurs.

L'aube des années 90 marque un ralentissement de l'essor de la production et du transport d'électricité en Occident, tandis que des usines de transformateurs ABB s'implantent en Chine et en Inde.

### Production mondialisée

L'impact de la création d'ABB s'est en grande partie cantonné à l'Europe, région d'élection de la plupart des sites de fabrication de transformateurs. Cette implantation fut ensuite relayée par les acquisitions du Groupe en Amérique du Nord.

Néanmoins, l'aube des années 90 marque un ralentissement de l'essor de la production et du transport d'électricité en Occident, les capacités existantes suffisant peu ou prou à satisfaire la demande. La manne pétrolière restreint les besoins de convertir ces ressources énergétiques en électricité : l'offre de transformateurs est alors excédentaire.

Dans le même temps, la situation économique de la zone Pacifique et de l'Extrême-Orient s'améliore et la demande d'électricité explose : si des sites européens et nord-américains mettent la clé sous la porte, des usines de transformateurs ABB s'implantent en Chine et en Inde.

### Perspectives

Le principe de l'induction électromagnétique sur lequel repose la technologie des transformateurs restera la base de la conversion de tension pour encore de nombreuses décennies. Des innovations dans le domaine des matériaux permettront de diminuer les coûts et de mieux contrôler les déperditions d'énergie. Si ces développements concernent les matériaux conducteurs et les isolants solides et liquides, rien ne semble aujourd'hui pouvoir détrôner la tôle électrique et le circuit magnétique.

A l'avenir, les nouveaux réglages de transformateurs par une meilleure régulation de la capacité thermique contribueront à réduire l'utilisation de matériaux onéreux. Les caractéristiques techniques de l'appareillage doivent évoluer pour mettre davantage l'accent sur le profil de consommation, la montée en charge et les régimes d'urgence – la question épineuse du vieillissement du parc étant prise en compte par les nouvelles normes. L'application de cette normalisation internationale oblige à renforcer l'«intelligence» de ces dispositifs. Autre cible : améliorer la tenue mécanique, thermique et diélectrique des transformateurs pour les préparer à affronter les contraintes accrues qui frapperont les réseaux de demain.

### Thomas Fogelberg

ABB AB, Power Transformers  
Ludvika (Suède)  
thomas.fogelberg@se.abb.com

### Åke Carlsson

Ancien ingénieur électrique en chef  
ABB AB, Power Transformers  
Ohr Klockaregård  
S-342 64 ÖR (Suède)

## 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

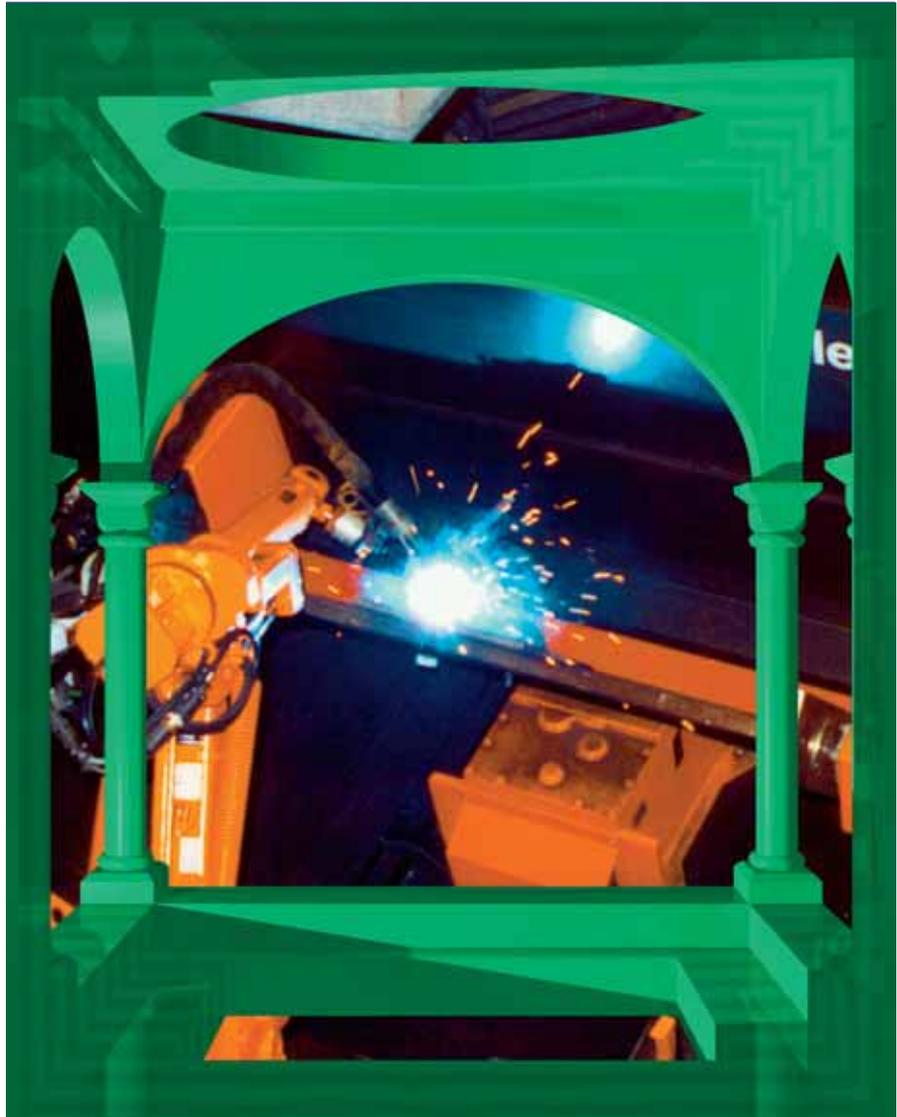
## Avertissement

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](http://www.abb.com/abbreview)

Dans le numéro 4/2007



## Flash sur les innovations

Les meilleures innovations technologiques sont celles qui améliorent les performances des bons produits et en créent de tout nouveaux pour répondre à une demande jusqu'alors insatisfaite. Chaque année, l'équipe Gestion de l'innovation et des technologies d'ABB se penche sur la valeur potentielle de ces avancées, tant pour les clients que pour le Groupe. Si toutes nos prévisions se confirment, 2007 sera un grand cru en termes de réussites commerciales et techniques. Dans son prochain numéro, la *Revue ABB* fera toute la lumière sur les innovations majeures de l'année.

Qu'il s'agisse des disjoncteurs de conception avancée, des nouveaux

convertisseurs, des appareillages à 800 kV CC, des progrès dans les domaines de l'instrumentation et des télé-services, des nouvelles applications robotiques et des automatismes de poste, ou encore des percées de la réparation *sur site*, rien ne sera oublié.

L'efficacité énergétique, volet majeur de l'offre ABB et gros titre de notre édition 2/2007, reste à l'ordre du jour, tout comme la sécurité des systèmes d'information aux commandes de l'industrie. Une chronique sur l'évolution des moteurs, produits phares du Groupe, viendra clore ce numéro de fin d'année.



We help  
customers use  
less energy to be  
more productive.

© 2005–2007 ABB

Automation and control systems that boost productivity  
and reduce energy costs. Visit us at [www.abb.com](http://www.abb.com)

Power and productivity  
for a better world™

