

ABB

3|10

Actualités technologiques  
du Groupe ABB

# revue

---

Variateurs de vitesse et retour écologique 6

ABB construit vert 10

L'éolien prend le large 23

Plate-forme d'automatisation collaborative 49


---

## Souffle d'énergie



Power and productivity  
for a better world™





L'homme redouble d'inventivité pour atténuer son impact sur l'environnement. Les éoliennes qui font la une de la *Revue ABB* sont les porte-étendards de cette croisade pour l'innovation. Pourtant, les initiatives en faveur de l'environnement ne se limitent pas au déploiement des énergies de substitution ; il s'agit aussi de mieux exploiter les énergies ou autres ressources à notre disposition, comme s'y emploient notre laboratoire d'essais à très haute tension (en photo) ou encore nos chercheurs qui améliorent sans relâche les performances des composants et systèmes.

## Conduite écologique

- 6 **Réduction des émissions de CO<sub>2</sub>**  
Les variateurs de vitesse ABB en font des tonnes !

---

## Planète verte

- 10 **Construire écologique, durable et efficace**  
Le nouveau centre de production et de logistique d'ABB en Afrique du Sud affiche ses ambitions environnementales à tous les étages.
- 14 **Entraînement intensif**  
La technologie DTC d'ABB aux manettes du plus grand toit ouvrant et écran vidéo au monde
- 19 **Larguer les amarres**  
Les navires remorqueurs releveurs d'ancres mettent le cap sur la propulsion électrique.
- 23 **Face au vent**  
ABB et le parc éolien marin *Alpha Ventus*

---

## Haute technologie

- 27 **Semi-conducteurs**  
1<sup>ère</sup> partie : les chevilles ouvrières des réseaux électriques du XXI<sup>e</sup> siècle
- 33 **Toujours plus haut**  
Le nouveau centre d'essais ABB sur la technologie du courant continu à très haute tension
- 36 **Arc Guard System™**  
Un garde-fou pour vos collaborateurs et votre activité
- 40 **Le disjoncteur devient sectionneur**  
Les disjoncteurs-sectionneurs maximisent la disponibilité des postes à coupure dans l'air pour une moindre emprise au sol.

---

## Enquête lecteurs

- 47 **Votre avis nous intéresse**  
Dix questions pour une *Revue ABB* plus proche de vos besoins et de vos préoccupations

---

## Automatisation industrielle

- 49 **Systèmes collaboratifs d'automatisation de procédés**  
Le 800xA d'ABB donne l'exemple.

# Besoins et ressources en équation



**Peter Terwiesch**  
Directeur des technologies  
ABB Ltd.

## Chers lecteurs,

Nos fidèles lecteurs auront noté que la *Revue ABB* avait fait peau neuve en début d'année. Outre cette nouvelle maquette, nous cherchons en permanence à peaufiner notre ligne éditoriale afin de mieux répondre à vos attentes. Mais pour continuer à progresser, nous avons besoin de votre avis ! Merci de répondre à un petit questionnaire que vous trouverez sur notre page [www.abb.com/abbreview](http://www.abb.com/abbreview). Vous gagnerez peut-être l'un des prix de notre tirage au sort.

Ce numéro de la *Revue ABB* est consacré à l'énergie et aux ressources naturelles. L'accroissement constant de la population mondiale va de pair avec l'augmentation du niveau de vie global. L'évolution est manifeste dans les pays en développement qui tendent vers la prospérité et des modes de vie de plus en plus gourmands en ressources. Si ces progrès sont louables, ils augmentent néanmoins la tension sur un patrimoine naturel limité : nombreuses sont nos richesses hydriques, énergétiques et minérales à s'épuiser. Certes, on peut y remédier en puisant dans de nouvelles sources et en améliorant notre efficacité, ce qui revient à produire plus avec moins. La transformation de matières premières en produits finis ou services passe par bien des étapes qui ont chacune leurs coûts, déchets et pertes. Accroître l'efficacité et traquer les gaspillages à chaque maillon de cette chaîne, ne serait-ce que par petites touches, génèrent d'importantes économies. Entreprises et particuliers gagnent en compétitivité et réduisent leur impact sur l'environnement, les mêmes ressources pouvant satisfaire plus de monde sans altérer le confort de vie.

Optimiser un procédé, c'est avant tout mieux le piloter pour minimiser les pertes en maximisant la performance globale ; le système d'automatisation industrielle 800xA d'ABB avance dans cette voie. Une autre technologie, complémentaire, a d'immenses potentiels tant en termes d'économie d'énergie que de précision de commande : la variation électronique de vitesse. La *Revue ABB* a plusieurs fois salué le temps de retour

sur investissement des variateurs de vitesse ; ce numéro consacre aussi leur impressionnant « retour écologique ».

Au passage, nous évoquerons des applications spectaculaires, comme ce stade de football américain dont le gigantesque toit rétractable est commandé par des variateurs ABB : une manière écoproformante et souple d'adapter la structure aux conditions climatiques et à l'usage du moment.

Aider nos clients à améliorer leurs opérations pour réduire leur empreinte écologique n'est qu'un terme de l'équation vertueuse. Par ses activités industrielles, ABB est aussi gros consommateur de matière et d'énergie. Son nouveau site de production et de logistique en Afrique du Sud offre de nombreux exemples de réduction de la facture énergétique s'appuyant sur certaines technologies du Groupe. Et ce projet ne fait pas exception : ABB s'est fixé pour objectif de réduire la consommation d'énergie de chacun de ses collaborateurs de 2,5 % par an.

En matière de production et de déploiement des énergies renouvelables, les technologies d'ABB portent haut les couleurs de l'écologie : pour preuve, ses génératrices et convertisseurs équipent aujourd'hui le parc éolien marin *Alpha Ventus* doté des plus gros aérogénérateurs jamais installés au monde !

Puisse ce numéro de la *Revue ABB* insuffler un nouvel élan aux solutions qui œuvrent à la protection de l'environnement.

Très bonne lecture,

Peter Terwiesch  
Directeur des technologies  
ABB Ltd.



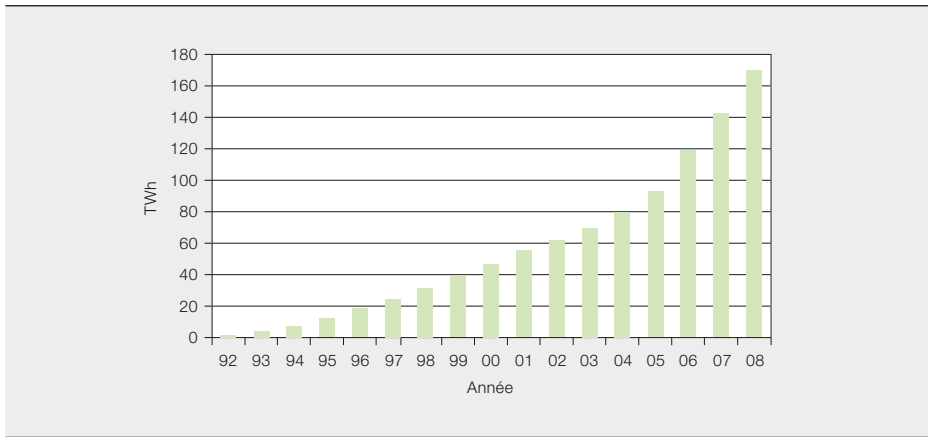


# Réduction des émissions de CO<sub>2</sub>

Les variateurs en font des tonnes

JUKKA TOLVANEN, TIMO MIETTINEN – Une déclaration environnementale dresse l'écoprofil d'un produit, notamment l'impact sur l'environnement de sa fabrication. Or cette approche fait abstraction des avantages procurés en phase d'utilisation de ce produit. ABB s'attache ainsi à développer une nouvelle méthode d'évaluation de l'impact environnemental d'un produit sur sa durée de vie utile et au-delà, en tenant compte des coûts de production, des bénéfices tirés de son utilisation et de son recyclage, en vue de quantifier son « retour écologique ». En calculant ce dernier, un client

peut connaître le temps de retour sur son investissement. Dans le cas des variateurs de vitesse, par exemple, le retour écologique indique le temps d'utilisation du produit nécessaire pour compenser l'empreinte carbone de sa fabrication. Actuellement, les déclarations environnementales négligent les économies d'énergie réalisées sur la durée de fonctionnement des variateurs alors même qu'ils réduisent considérablement la consommation énergétique des moteurs des pompes ou ventilateurs qu'ils commandent.



Les économies d'énergie réalisées en 2008 correspondent à la consommation annuelle de plus de 42 millions de foyers de l'UE27.

On estime que les moteurs électriques absorbent à eux seuls 65 % de l'énergie consommée par le secteur industriel. Or près d'un cinquième de cette consommation l'est en pure perte car les moteurs tournent en permanence à plein régime et des organes mécaniques (vannes, clapets, réducteurs, engrenages, courroies, etc.) sont le plus souvent montés pour réguler le débit des pompes/ventilateurs et la vitesse de rotation des machines entraînées. De telles méthodes de régulation sont intrinsèquement inefficaces et sources de gaspillage.

Les progrès réalisés dans les variateurs électroniques de vitesse ouvrent de formidables perspectives d'économies d'énergie et de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. La consommation énergétique des moteurs industriels peut être réduite de deux manières :

- en adaptant leur vitesse de rotation aux besoins réels de la machine entraînée ;
- en améliorant leur rendement énergétique.

Dans les applications de pompage et de ventilation, la commande en vitesse variable peut induire jusqu'à 60 % d'économies sur la facture énergétique. Une

pompe ou un ventilateur qui tourne à la moitié de sa vitesse maximale ne consomme plus qu'un quart de l'énergie à plein régime. Le courant alternatif (CA) étant fourni à tension et à fréquence fixes, un moteur CA tourne en permanence à vitesse fixe. En modifiant sa tension et sa fréquence, on agit donc sur sa vitesse de rotation : une variation de la fréquence induit une variation correspondante de la vitesse (et du couple). En d'autres termes, la vitesse de rotation d'un moteur, et donc de la machine qu'il entraîne, peut être adaptée très précisément aux besoins applicatifs (débit ou température, par exemple) en modulant et en contrôlant la tension et la fréquence du courant électrique fourni au moteur. Telle est la tâche dévolue aux variateurs de vitesse.

### Retour écologique

Même si de nombreux moteurs ne fonctionnent pas à pleine puissance, ils continuent de tourner à vitesse maximale. Un variateur est conçu pour faire fonctionner le moteur à une vitesse qui minimise sa consommation énergétique. Cette réduction peut être quantifiée en nombre de jours de retour écologique qui correspond au temps nécessaire au variateur pour compenser les émissions de dioxyde de carbone produites pendant sa fabrication. Dans le cas des gros variateurs, la baisse de la consommation énergétique du moteur peut compenser, en moins d'un jour d'exploitation, l'énergie utilisée pour fabriquer le variateur. Cela signifie qu'à partir du deuxième jour d'utilisation, le variateur évite *de facto* les émissions carbonées d'un moteur d'une installation employant d'autres méthodes de régulation.

Le temps de retour écologique d'un variateur correspond au temps d'utilisation nécessaire pour compenser son empreinte carbone au cours de sa fabrication.

## 2 Données de la déclaration environnementale produit (DEP) du variateur ABB Industrial Drive ACS800 de 250 kW – Émissions

Impact sur l'environnement	Unité équivalente	Phase de fabrication	Phase d'utilisation
Potentiel de réchauffement de la planète (PRP)	kg CO <sub>2</sub> / kW	3,65	1 570
Potentiel d'acidification (PA)	kmol H <sup>+</sup> / kW	0,00	0,27
Eutrophisation (EP)	kg O <sub>2</sub> / kW	0,05	18,20
Potentiel de destruction de l'ozone (PDO)	kg CFC-11 / kW	0,00	0,00
Potentiel de création d'ozone photochimique (PCOP)	kg éthylène / kW	0,00	0,27

### Moteurs de faible puissance

Même si les moteurs ont gagné en moyenne 3 % de rendement en une décennie, les gisements d'économies restent importants car toute réduction de leur vitesse de rotation, aussi minime soit-elle, a un impact majeur sur la consommation énergétique.

Selon les estimations, les variateurs vendus par ABB ces dix dernières années pour les applications de pompage et de ventilation ont permis d'économiser 170 TWh par an → 1. Cela équivaut en moyenne à la consommation annuelle d'électricité de plus de 42 millions de foyers européens et à plus de 140 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> évitées chaque année.

Malgré ces avantages indéniables, 97 % de tous les moteurs inférieurs à 2,2 kW ne sont équipés d'aucune forme de régulation de vitesse. Cela représente un

### De la fabrication à l'utilisation

Une déclaration environnementale décrit l'impact de la phase de fabrication d'un produit sur l'environnement. Or, rappelons-le, ce concept est réducteur car il ne tient compte que de cette étape et fait abstraction de l'impact positif du produit sur l'environnement en phase d'utilisation → 2.

La notion de retour écologique, pour sa part, correspond au temps nécessaire pour compenser l'empreinte ponctuelle de la fabrication du produit sur l'environnement. On parle parfois de « retour sur capital naturel ».

La déclaration environnementale d'un variateur ACS800 de 250 kW donne une empreinte carbone en fabrication de 3,65 kg de CO<sub>2</sub>/kW, soit au total 912,5 kg de CO<sub>2</sub> par appareil. Des études menées à l'université de technologie de Tampere (Finlande) indiquent que le

temps de retour écologique pour le même appareil en matière de potentiel de réchauffement de la planète (PRP) est de 0,5 jour. En d'autres termes, l'utilisation sur une demi-journée du variateur compense intégralement le CO<sub>2</sub> émis

pendant sa fabrication. Son empreinte devient alors « négative » puisqu'il réduit les émissions du moteur qu'il commande pendant sa durée de vie utile → 3.

À l'évidence, la fabrication des plus petits variateurs produit moins de CO<sub>2</sub> que celle des gros variateurs industriels. Pour autant, le temps de retour écologique de ces derniers est plus court car, au vu des économies d'énergie substantielles, l'impact de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> est plus fort. Dans une application type de pompage ou de ventilation, un variateur de vitesse réduit de moitié la consommation énergétique des moteurs.

### Consommation énergétique

Les cinq principaux facteurs affectant le temps de retour écologique d'un variateur sont dans l'ordre :

- sa consommation d'énergie ;
- la fabrication des composants électroniques ;
- le montage final ;
- l'enveloppe ;
- les condensateurs.

La consommation énergétique du variateur sur sa durée d'exploitation a donc le plus fort impact sur le temps de retour écologique. Cette consommation peut diminuer en optimisant non seulement la commande et le rendement du variateur lui-même, mais également le rendement énergétique du moteur et de la machine entraînée (pompe, ventilateur, extrudeuse, etc.). Enfin, d'autres économies sont possibles en améliorant la conception du variateur et en optimisant son exploitation.

### Réduire l'incidence de la fabrication

Lors de la fabrication d'un variateur, celle des composants électroniques a le plus fort impact environnemental : avec plus de 50 % des émissions de CO<sub>2</sub>, c'est le premier facteur du temps de retour écologique. L'impact de leur transport est en général moins significatif, sauf par avion.

## Les progrès réalisés dans les variateurs électroniques de vitesse ouvrent de formidables perspectives d'économies d'énergie et de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>.

marché mondial annuel de quelque 37 millions de moteurs industriels ! Pourtant, le prix des petits variateurs n'a cessé de baisser d'année en année, avec un retour sur investissement qui se situe entre 6 mois et 2 ans selon l'application (2 ans pour de nombreuses installations de pompage et de ventilation).



### 3 Retour écologique (en nombre de jours) de 3 types de variateurs ABB

Produit	Puissance (kW)	PRP	
ACS140	0,75	6	
ACS350	7,5	1,1	
ACS800	250	0,5	
Produit	PA	EP	PCOP
ACS140	6,0	8,0	15,0
ACS350	0,9	1,2	1,3
ACS800	0,4	0,9	1,0

Hypothèse : le variateur réduit de 50 % la consommation énergétique d'une pompe ou d'un ventilateur type (bouquet électrique moyen de l'UE25).

Le procédé de fabrication lui-même peut être revu pour réduire les émissions : emploi de modules interchangeable et faciles à assembler, optimisation du mode d'assemblage pour accroître la productivité et réduire les stocks, notamment lorsque la même pièce est réutilisée dans différents modèles. En simplifiant le mon-

**Dans les applications de pompage et de ventilation, la commande en vitesse variable des moteurs peut réduire jusqu'à 60 % la facture énergétique.**

tage, on facilite également le démontage car les pièces réutilisables sont plus aisées à trier. Par voie de conséquence, le choix des matières premières devient essentiel.

L'utilisation de produits et de systèmes éco-performants réduit la pression sur l'environnement. Les possibilités de recyclage des variateurs au terme de leur durée de vie contribuent également à limiter leur impact soit par réutilisation des matériaux, soit par valorisation énergétique. Ainsi, par exemple, les pièces en aluminium peuvent être refondues pour limiter l'extraction du minerai.

### 4 Une matrice MET sert à déterminer les différents facteurs de l'empreinte environnementale d'un produit.

Phase	Matériaux	Énergie	Toxicité
- Fabrication	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Masse (kg) – principaux intrants</li> <li>- Matériaux récupérés</li> <li>- Plastiques (kg)</li> <li>- Métaux précieux (kg)</li> <li>- Circuits imprimés et électronique (kg, mm<sup>2</sup>, couches)</li> <li>- Consommation d'eau en fabrication (l)</li> <li>- Produits chimiques (kg)</li> <li>- Volume (m<sup>3</sup>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consommation d'énergie des procédés de fabrication (kWh) (R&amp;D, équipements et site de production affectés à un produit)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produits chimiques utilisés en fabrication (quantité, toxicité, etc.)</li> <li>- Émissions en fabrication</li> <li>- Matériaux dangereux (à séparer en fin de vie)</li> </ul>

Pour évaluer l'empreinte environnementale d'un produit, les facteurs intervenant aux différentes phases de son cycle de vie peuvent être regroupés dans une matrice MET (Matériaux, Énergie, Toxicité). Le tableau → 4 reprend les facteurs intervenant en phase de fabrication. Cette matrice inclut en général les phases d'extraction et de production des matières premières, d'élaboration des composants, d'utilisation ainsi que de valorisation du produit en fin de vie.

#### Vision d'ensemble

Les déclarations environnementales que les industriels établissent décrivent l'empreinte écologique de leurs produits en cours de fabrication. Or cette approche fait l'impasse sur les performances écologiques du produit à l'usage. La méthode développée par ABB innove en proposant d'établir le retour écologique d'un produit sur sa durée de vie. Dans le cas des variateurs de vitesse, ce retour se limite à quelques jours, voire moins, selon la taille du variateur et l'application.

**Malgré les avantages indéniables de la vitesse variable, 97 % des tous les moteurs inférieurs à 2,2 kW n'en sont pas équipés.**

**Jukka Tolvanen**

**Timo Miettinen**

ABB Automation Products

Helsinki (Finlande)

jukka.tolvanen@fi.abb.com

timo.j.miettinen@fi.abb.com



# Construire écologique, durable et efficace

Visite guidée du nouveau centre de production  
et de logistique sud-africain d'ABB

CHESNEY BRADSHAW, PAULO DAVID – Comptant parmi les grands groupes technologiques du monde, ABB s'engage aux côtés de ses clients pour mieux utiliser l'énergie électrique, accroître la productivité industrielle et réduire durablement l'impact de ses activités sur l'environnement. En fait, les économies d'énergie et les gains de productivité sont d'ores et déjà « gravés dans le marbre » des propres locaux de l'entreprise: en Afrique du Sud, ABB a relevé la totalité des défis de l'écoconstruction pour ériger un siège social et un centre de production faisant la part belle aux hautes technologies, à la préservation des ressources et à l'efficacité énergétique. Cette nouvelle réalisation d'ABB permet de réduire à la fois l'empreinte écologique du site et ses coûts d'exploitation.



**P**lusieurs axes prioritaires ont présidé à la planification et au développement de ce complexe ultramoderne situé à Longmeadow, près de Johannesburg, et surnommé « campus ABB » → 1 : automatiser la conception, la construction et la gestion des installations, préserver et mettre en valeur les ressources naturelles, recycler au maximum et réduire au minimum les effets sur le milieu environnant. ABB voulait faire de ce bâtiment un modèle de maîtrise des ressources naturelles et énergétiques, et de minimisation des impacts sur la santé et l'environnement, dans la droite ligne de sa politique de développement durable.

Près de 18 000 m<sup>2</sup> sont occupés par des bureaux tandis que 23 000 m<sup>2</sup> sont alloués au stockage et à la production. Achievé en 2009, le centre rassemble aujourd'hui plus de 1 000 employés naguère répartis en 4 sites sud-africains différents.

### Écoconstruction

La priorité accordée à l'efficacité énergétique se retrouve dans les multiples aspects de la construction qui se chiffre à 72 millions de dollars (550 millions de rands). Le bâtiment affiche sa volonté environnementale à tous les étages : panneaux thermiques solaires en toiture, recyclage des eaux grises, éclairage éco-efficace, exploitation optimale de la lumière du jour dans les bureaux et l'usine. Les vitrages sont revêtus d'un film anti-UV et les fenêtres sont équipées de persiennes pour créer de l'ombre, contribuant à diminuer les déperditions d'énergie dues à la climatisation. L'isolation thermique du bâtiment et la régulation du climat intérieur par des variateurs de vitesse ABB permettent de réduire encore les besoins de climatisation. ABB emploie aussi ses propres moteurs à haut rendement Eff1 et ses systèmes de gestion technique du

bâtiment (GTB). Côté jardins, des cuves de récupération d'eaux pluviales assurent l'arrosage régulier des espaces verts.

Pour réduire la consommation énergétique, le bâtiment s'appuie sur une panoplie de techniques et d'équipements « verts » : eau chaude sanitaire (ECS) solaire, récupération de l'air chaud de la climatisation, lampes fluocompactes,

**80 % de l'énergie nécessaire au chauffage du bâtiment sont d'origine solaire.**

recyclage intensif des eaux grises, moteurs Eff1 et automatismes du bâtiment ABB → 2.

### Eau chaude sanitaire

En toiture, des panneaux solaires orientés vers le nord chauffent l'eau des douches. Cette source d'énergie naturelle et



gratuite évite le recours au chauffage électrique, sans produire d'émissions carbonées. Le soleil pourvoit ainsi à 80 % de l'énergie nécessaire au chauffage de l'eau ! Ce poste est également réduit par l'emploi d'un échangeur thermique qui récupère l'air chaud de la climatisation pour servir d'appoint aux chaudières du bâtiment. Près de 95 % de la consommation d'ECS sont couverts par l'action conjuguée de la toiture solaire et du récupérateur de chaleur.

#### Eau

Autre poste jouant la carte de l'environnement et de l'économie : la gestion de l'eau. Les eaux pluviales qui ruissellent

L'isolation thermique renforcée permet d'économiser jusqu'à 8 % sur la climatisation en été et 30 % sur le chauffage en hiver.

des toitures sont récupérées dans un collecteur faisant office de plan d'eau décoratif. La toiture plate de l'usine et des entrepôts constitue un bassin-versant de 40 000 m<sup>2</sup>. Lors des fréquents épisodes orageux de l'Afrique du Sud, il peut tomber 100 mm de pluie, ce qui représente un volume total de 4 000 l déversés dans deux bassins de retenue, en permanence

remplis à ras bord ; un système utilise ce trop-plein pour l'arrosage automatique et régulier des jardins, à l'aide de robinets à bille.

À l'intérieur, les eaux usées des douches et des lavabos alimentent les chasses d'eau. Une moyenne journalière de 15 m<sup>3</sup> est ainsi récupérée, filtrée et recyclée avant d'être canalisée vers les systèmes d'alimentation des toilettes.

#### Forme fonctionnelle

Le principe de conception qui veut que la « forme épouse la fonction » a sans conteste joué un rôle dans la réalisation du campus ABB. Son architecture en H participe à la réduction des besoins énergétiques, les postes bureautiques étant installés en périphérie du bâtiment pour tirer le meilleur parti de la lumière du jour. La conception du toit de l'usine a aussi permis de réaliser des économies par un usage optimisé de l'éclairage naturel.

#### Éclairage

Chaque poste de travail est équipé d'une cellule de détection photosensible qui allume la lumière à l'arrivée des employés et l'éteint quand ils quittent les lieux. Tous les luminaires sont à faible consommation et l'ensemble des zones techniques est équipé de luminaires à éclairage vers le bas de 12 V et d'éclairages de secours. L'usine est entièrement éclairée par des ampoules fluocompactes basse consommation. Le réseau d'alimentation électrique des luminaires permet à chaque atelier ou local de l'usine d'allumer ou d'éteindre la lumière en fonction des besoins.

#### Thermique

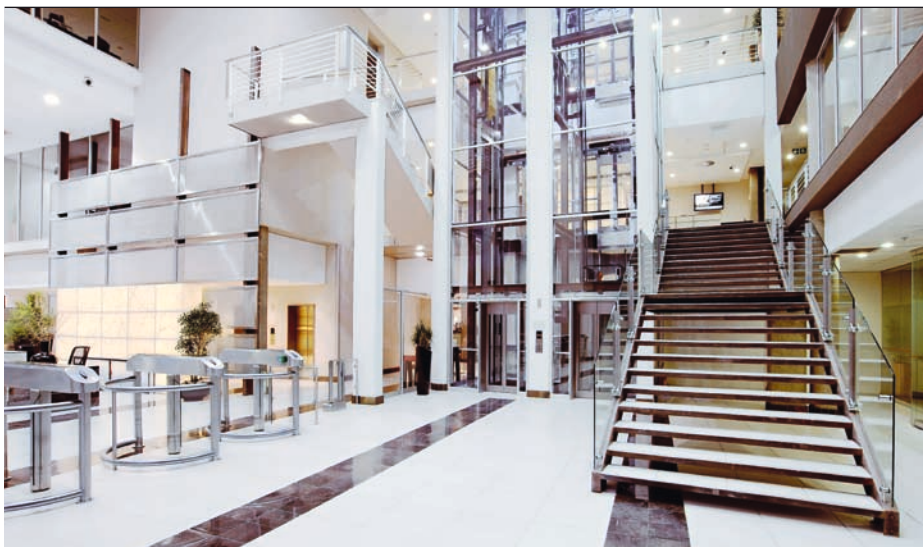
Autre levier d'économie et d'efficacité énergétique : le génie climatique. Le sous-sol est ouvert sur l'extérieur et conçu pour tirer profit de la circulation naturelle de l'air. Les ventilateurs sont

Ventilateurs et climatiseurs sont pilotés par des variateurs de vitesse ABB à basse consommation et haut rendement.

tous équipés de détecteurs de CO<sub>2</sub> qui enclenchent automatiquement l'extraction d'air lorsque la mesure de la pollution par le CO<sub>2</sub> atteint un seuil prédéfini. Ventilateurs et climatiseurs sont pilotés par des variateurs de vitesse ABB à basse consommation et haut rendement, qui adaptent en continu la consommation d'énergie électrique aux stricts besoins de puissance et de vitesse de l'application, éliminant les forts courants de démarrage.

Sachant que la température hivernale au sous-sol peut tomber à 5 °C, le plancher des bureaux au rez-de-chaussée est constitué d'une dalle béton de 200 mm d'épaisseur, isolée par des panneaux de polystyrène extrudé Styrofoam™ de 100 mm. Les cloisons et la couverture

## 2 Le centre de production et de logistique ABB s'appuie sur le meilleur de la technologie pour réaliser un maximum d'économies.



du bâtiment bénéficiant du même traitement. Cette isolation renforce de 20 à 30 % la régulation thermique de la climatisation : de quoi gagner jusqu'à 8 % sur les coûts de rafraîchissement en été et 30 % sur la facture de chauffage en hiver !

### Gestion technique

Ce nouvel édifice est équipé d'une GTB programmée pour automatiser, superviser et gérer tous ses besoins énergéti-

elle permet à la GTB de contrôler leur consommation d'énergie. Une sobriété énergétique et un écoprofil qui profitent à tout l'établissement ! En tournant moins vite, la mécanique des pompes est moins sollicitée et sa maintenance allégée.

### Gestion des déchets et nettoyage

Un effectif de plus de 1 000 personnes représente de gros volumes de déchets qui imposent un plan d'actions écoresponsable ! ABB a choisi d'externaliser leur collecte, leur enlèvement et leur traitement. Tous les déchets font l'objet d'un tri sélectif (papier, métaux, verre, plastique) avant recyclage. Et dans la continuité de la politique ABB de dépollution, le nettoyage du site est

confié à un prestataire utilisant des produits respectueux de l'environnement.

### Sous les sunlights de l'écolabel

En répondant aux normes les plus exigeantes de qualité et de performance environnementales, le campus ABB s'érige en cadre idéal pour organiser des événements mettant à l'honneur les produits et solutions éco-énergétiques.

L'établissement a donc accueilli, en novembre 2009, le plus important rendez-vous des clients ABB de l'automatisation et de l'énergie en Afrique, *Automation and Power World Africa*, qui coïncida avec l'inauguration du site par le président

directeur général d'ABB, Joe Hogan. L'événement s'est notamment illustré par un programme écologique « neutre en carbone », en trois points :

- Stratégies d'achats écoresponsables, gestion durable des déchets, nettoyage écologique, équipements et matériaux de conférence durables ;
- Suivi et calcul de l'empreinte carbone générée par la venue en avion/voiture des conférenciers à Johannesburg, par leur déplacement en voiture à destination et au départ de Longmeadow, par la consommation d'énergie liée à leur hébergement et à l'organisation du salon ;
- Compensation des émissions carbonées sur les deux jours de l'événement par l'achat de droits à émettre et le soutien de projets de développement durable et de prise de conscience environnementale avec WWF-Afrique du Sud.

Ces initiatives ne restent pas dans l'ombre. En Afrique du Sud, ABB fut lauréat du prestigieux concours d'efficacité énergétique « eta », dans la catégorie Industrie. Patronnée par l'entreprise électrique Eskom avec le concours du ministère sud-africain de l'Énergie, cette distinction récompense la performance, la créativité et l'innovation en matière d'efficacité énergétique. Le jury a doublement salué la démarche éco-énergétique d'ABB sur son site de Longmeadow et ses efforts de réduction de l'impact environnemental. ABB a également reçu les félicitations de la *National Energy Efficiency Agency of South Africa* pour son leadership dans la course à l'efficacité énergétique, plus particulièrement à Longmeadow.

### Chesney Bradshaw

ABB Communications  
Modderfontein (Afrique du Sud)  
chesney.bradshaw@za.abb.com

### Paulo David

ABB Holdings (Pty) Ltd.  
Modderfontein (Afrique du Sud)  
paulo.david@za.abb.com

## Le nouveau centre de production et de logistique valut à ABB d'être lauréat d'un prestigieux prix d'efficacité énergétique dans l'industrie.

ques en vue d'une efficacité maximale. Cette GTB assure un large éventail de tâches de contrôle-commande dont la sécurité incendie, la protection des biens et des personnes, la surveillance de l'alimentation en énergie et le pilotage de la climatisation. Des variateurs de vitesse réalisent une régulation continue en vitesse des moteurs de pompes et de ventilateurs, et veillent à optimiser le cadre de travail en adaptant en permanence les valeurs de température et d'hygrométrie intérieures aux aléas de la météo et à l'occupation des lieux. La vitesse variable a aussi sa part dans les économies d'énergie : en ajustant la vitesse de rotation des moteurs selon les besoins,



# Entraînement intensif

La technologie DTC de commande des moteurs choisie pour le nouveau stade des *Dallas Cowboys*

BRAD COBO, KEN GRABER – Le Texas est l'État de tous les superlatifs et le nouveau stade des *Dallas Cowboys*, formation de la ligue nationale de football américain NFL, ne déroge pas à la règle. D'un coût avoisinant 1,3 milliard de dollars, l'énorme structure s'étend sur plus de 280 000 m<sup>2</sup> pour une capacité de 100 000 places. Alors que l'équipe emblématique de football vient de terminer sa première saison dans ses nouveaux murs, le stade se distingue déjà

par quelques records mondiaux : plus grand stade NFL fermé, plus long toit d'un seul tenant et plus grand écran haute définition. S'il est une icône de ce sport très populaire aux États-Unis, c'est également une merveille technologique non moins impressionnante. De la mécanique du toit ouvrant au système de suspension de l'écran géant de 600 tonnes, les variateurs de vitesse ABB occupent une place centrale dans ce projet audacieux.



---

Le toit ouvrant se compose de 2 panneaux de plus de 750 tonnes chacun.

**D**es fonctionnalités de haut vol comme le contrôle direct de couple – ou technologie DTC – et la communication maître/esclaves facile à configurer dans les entraînements de puissance de tels ouvrages sportifs ont été des facteurs décisifs dans le choix des variateurs ABB. Avec ses technologies ultramodernes, notamment d'ABB, le stade des Dallas Cowboys place la barre très haut en matière d'architecture à structures mobiles d'installations destinées à accueillir des millions de personnes.

#### Architecture à structures mobiles

50 ans après la création de l'équipe, les Dallas Cowboys affichent un palmarès impressionnant, remportant 5 fois le titre suprême du *Super Bowls*, 8 fois celui de la ligne NFC (*National Football Conference*) et 19 fois le championnat de division. Dans le même temps, leur stade a toujours été digne de leurs exploits. Le *Texas Stadium*, stade d'origine et premier du genre avec une ouverture dans le toit, fut à l'époque une véritable curio-

sité. Ce concept de stade « à ciel ouvert » a été repris pour le nouveau projet à des fins pratiques : le toit rétractable et les immenses baies vitrées mobiles des deux extrémités permettent au soleil de pénétrer amplement dans le stade et autorisent une circulation naturelle de l'air. Qui plus est, dans ce type d'installations, les supporters ont le sentiment d'assister à un match en plein air, comme au bon vieux temps ! Quand la chaleur devient suffocante, ce qui est souvent le cas en été au Texas, quelques minutes suffisent pour refermer le toit et les baies vitrées. C'est cette souplesse qui confère au bâtiment son caractère véritablement multifonctionnel. La saison du football ne durant

que six mois, le stade accueille d'autres manifestations au cours de la deuxième moitié de l'année pour assurer sa rentabilité.

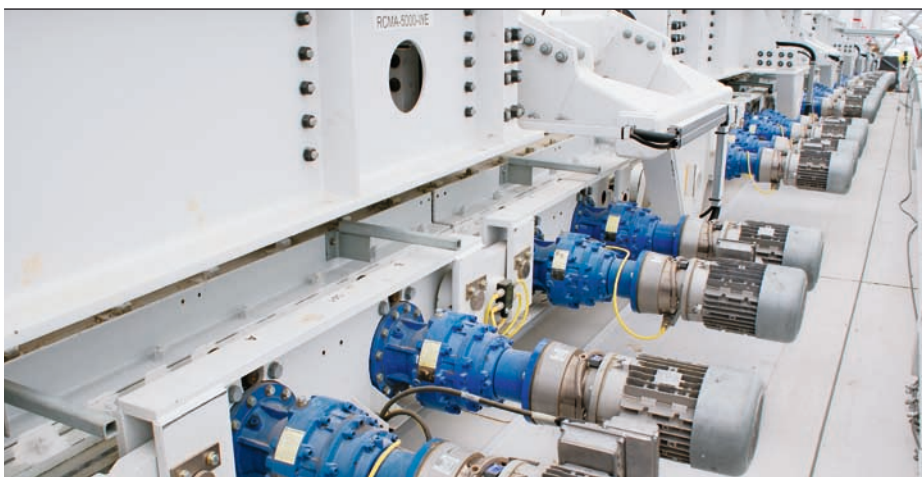
---

Pour ouvrir le toit, l'algorithme DTC des variateurs ABB calcule l'état réel du moteur 40 000 fois par seconde et détermine la meilleure séquence de commutation des semi-conducteurs de puissance IGBT pour produire le couple nécessaire.

#### Toit rétractable

Le toit ouvrant se compose de 2 panneaux de plus de 750 tonnes chacun. Cette partie mobile de la toiture, qui représente 3,5% de sa masse totale, est

1 Le toit ouvrant est actionné par 128 motoréducteurs de 5,6 kW.  
(photo © Uni-Systems)



Le bus de terrain PROFIBUS, qui relie chaque variateur à l'automate véhicule les signaux de commande et de surveillance, et sert à la fonction de sécurité ABB de « confirmation de couple ».

supportée par 2 poutres-caissons qui courent sur toute la longueur du stade (soit plus de 370 m). Sur le haut de chaque poutre, un rail d'acier, semblable à un rail de chemin de fer, permet aux 2 panneaux de coulisser alors qu'un système à crémaillère assure leur ancrage. Cette pièce maîtresse permet aux 128 moteurs de 5,6 kW à engrenages planétaires de remonter les panneaux du toit incliné dont la pente, variable, atteint 24° lorsque les panneaux sont grand ouverts. Des moteurs à engrenages multiples ont été sélectionnés à des fins de redondance et pour pallier tout risque lié à la forte pente du toit. Les freins et les roues dentées des différents moteurs du système à crémaillère interdisent le glissement et la chute des énormes panneaux en cas de défaillance d'un équipement. Cette redondance permet également de déplacer le toit ouvrant avec jusqu'à 5 des 32 moteurs hors tension dans chaque quadrant → 1.

#### Couple optimal à vitesse nulle

La forte pente du toit posait un problème supplémentaire : lorsque les panneaux sont totalement ouverts et que les moteurs reçoivent une commande de fermeture, ceux-ci doivent démarrer sous une charge énorme. Le fort couple de démarrage impose donc un contrôle vectoriel en boucle fermée (avec retour vitesse par codeurs). Or cette solution n'était pas réaliste à la fois pour des raisons de coût et de complexité, au vu du très grand nombre de codeurs requis. Les ingénieurs d'Uni-Systems<sup>1</sup> ont tiré profit de la technologie DTC de commande des moteurs qui offre quasiment les mêmes performances sans les problèmes codeurs. En utilisant un pro-

2 Variateur régénératif ACS800-U11  
(photo © Uni-Systems)



cesseur de traitement numérique du signal (DSP) de 100 MHz, l'algorithme DTC calcule l'état réel du moteur 40 000 fois par seconde et détermine la meilleure séquence de commutation des semi-conducteurs de puissance IGBT<sup>2</sup> pour produire le couple nécessaire. La commande DTC, exclusivité ABB, explique en grande partie le choix de ses variateurs ACS800 plutôt que ceux de la concurrence.

Les ACS800 sont également des variateurs régénératifs → 2, ce qui leur permet de décélérer les moteurs sans recourir à aucune résistance de freinage. À un point du cycle d'ouverture des panneaux, qui passent de la position totalement fermée sur un plan quasi horizontal à la position grande ouverte sur un plan incliné, les moteurs permutent d'un fonctionnement en mode moteur à un fonctionnement en mode freinage. C'est pendant ce freinage que les variateurs interviennent pour ralentir les moteurs et contrôler la vitesse d'ouverture des panneaux. Ce mode de « freinage dynamique » suppose de convertir l'énergie cinétique de rotation du moteur en énergie électrique dans le variateur. En temps normal, le variateur dissipe cette énergie excédentaire sous forme de chaleur dans une résistance de freinage, tout comme les freins d'une voiture chauffent lorsque celle-ci freine dans une descente. Cette chaleur, ou énergie thermique, est dissipée en pure perte. Au lieu de cela, un variateur régénératif va la réinjecter sur le réseau électrique. Si la quantité effective d'énergie

#### Notes

- 1 Voir [www.uni-systems.com](http://www.uni-systems.com).
- 2 *Insulated-Gate Bipolar Transistor* : transistor bipolaire à grille isolée



### 3 Écran haute définition de 600 tonnes (photo © Black Marvin/HKS, Inc.)



récupérée est minime, soit environ 14 dollars par cycle d'ouverture, le surcoût des variateurs régénératifs est pleinement compensé par l'absence de résistances de freinage.

#### Jeu d'équipe

Coordonner le travail des 128 motoréducteurs est une tâche délicate dont les variateurs ACS800 s'acquittent relativement facilement grâce à leur fonction de répartition de charge. Au total, 32 variateurs disposés en 4 groupes de 8 pilotent les 128 motoréducteurs (4 moteurs par variateur). Chaque groupe de 8 entraînements comporte 1 « maître » régulé en vitesse et 7 « esclaves » régulés en couple. Cette configuration maître/esclaves oblige les différents moteurs à travailler en équipe. L'entraînement maître suit une valeur de vitesse qui lui est transmise par l'automate (API) sur le bus de terrain PROFIBUS et, en utilisant l'algorithme DTC, calcule la valeur réelle de couple requise pour maintenir cette vitesse. Cette dernière est ensuite envoyée sur liaison optique aux entraînements esclaves sous la forme d'une référence de couple. Ces esclaves se calent sur la valeur de couple du maître en adaptant leur vitesse (dans une fourchette définie), technique qui garantit une répartition de charge homogène entre tous les moteurs. Avec un temps de rafraîchissement maître/esclaves d'à peine 2 ms, le système réagit très vite aux variations de charge : aucun danger que les panneaux finissent leur course sur les parkings !

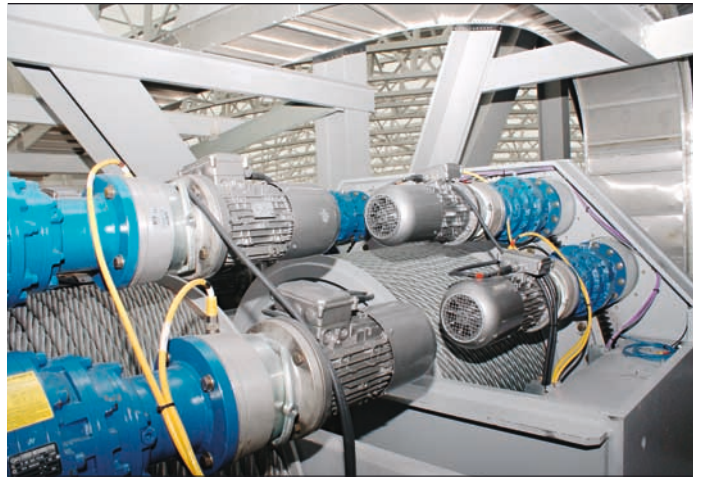
Si PROFIBUS, qui relie chaque variateur à l'API, véhicule à la fois des signaux de commande et de surveillance, il peut également servir à de nombreuses fonc-

tions de sécurité indispensables au système de toit ouvrant. Exemple : la fonction ABB de « confirmation de couple » qui, avant desserrage des freins, vérifie que chaque moteur est sous tension et produit le couple requis. Ainsi, lorsqu'un panneau doit être déplacé, l'API commence par envoyer une commande Marche avec une consigne de vitesse très faible. Les freins n'étant pas encore desserrés, cette commande oblige les variateurs à produire un couple ; chacun transmet sa valeur de couple à l'API qui la compare à une valeur minimale. Après confirmation par l'API que tous les variateurs produisent au moins ce couple minimal, le desserrage des freins est finalement autorisé et les variateurs peuvent commander l'accélération des moteurs. Cette fonction essentielle est un des nombreux maillons de la chaîne de sécurité de la toiture.

#### Un écran géant de 40 millions de dollars

Le point de mire du stade est peut-être le plus grand écran HD au monde, offrant une résolution de 1920 x 1080 au format 16:9 → 3. Fabriqué par Mitsubishi Electric Diamond Vision™, il se compose de deux grands affichages de 22 x 49 m chacun, flanqués de deux plus petits de 8 x 15 m. L'exceptionnelle luminosité conférée par les quelque 30 millions de LED de l'écran n'a d'égalé que son prix : 40 millions de

### 4 Tambours de câble de l'écran géant (photo © Uni-Systems)



dollars, soit plus que le coût total du précédent *Texas Stadium*.

Si, initialement, l'écran devait être placé à une hauteur fixe de 27 m, il devint très vite évident que cette hauteur devait être ajustable selon les besoins. Un concert du groupe de rock U2 imposait de le remonter de 3 m pour installer les équipements scéniques. On fit de nouveau appel à Uni-Systems pour concevoir et installer un système de montée et des-

Les 600 tonnes de l'écran géant sont supportées par un système de 16 tambours de câble avec 4 moteurs par tambour à des fins de redondance et de répartition de charge.

cente de l'écran géant. En utilisant un concept de tambour de câbles déjà mis en œuvre dans d'autres stades, la société apporta une solution à un coût minimal et dans un laps de temps très court. Les 600 tonnes de l'écran sont supportées par un système de 16 tambours de câble avec 4 moteurs par tambour à des fins de redondance et de répartition de charge. Chaque côté de l'écran est maintenu par 8 tambours de câbles fonctionnant de manière indépendante pour bien positionner l'écran à l'horizontale. Actionnés simultanément, ils peuvent ajuster la hauteur de l'écran de 8 m à 35 m au dessus du terrain. Les



4 moteurs de 3,8 kW de chaque tambour sont pilotés par 2 variateurs régénératifs ACS800. Avec 1 maître et 7 esclaves, la fonction de répartition de charge est identique à celle utilisée pour la toiture et, tout comme la fonction de confirmation de couple, s'intègre dans le système de sécurité global.

Huit tambours de câbles supplémentaires assurent la stabilité de l'écran. Ces tambours d'haubanage utilisent des câbles accrochés aux 4 coins de l'écran géant → 4 pour l'empêcher de balancer au vent lorsque le toit et les baies vitrées sont ouverts. Ils sont régulés en couple et maintiennent une tension fixe des câbles d'haubanage lors de la montée ou descente de l'écran. Dans le variateur, une fonction de fenêtre de vitesse est également activée pour limiter la vitesse du moteur tout en maintenant sa consigne de couple. Cette fonctionnalité importante empêche d'enrouler ou de dérouler le câble trop rapidement, assurant ainsi une certaine forme d'amortissement et de résistance à tout mouvement brusque de l'écran géant. Son réglage fut facilité par l'emploi du logiciel ABB *DriveWindow* qui sert à contrôler simultanément la rotation de plusieurs tambours. Vu le grand nombre d'entraînements à synchroniser, cette surveillance temps réel joue un rôle essentiel.

#### Baies vitrées coulissantes

À chaque extrémité du stade, derrière les poteaux de but, d'immenses baies vitrées ouvrantes concourent à la renommée du bâtiment → 5. Chaque baie comprend 7 panneaux de verre de 12 m de large sur 37 m de haut chacun; les 2 panneaux du bout sont fixes alors que les 5 autres sont mobiles. Commandés par des variateurs ACS350 d'ABB, ces panneaux s'ouvrent sur 55 m en 6 min pour estomper la frontière entre l'intérieur et l'extérieur.

#### Les dieux du stade

ABB s'enorgueillit d'avoir pris part au projet grandiose du nouveau stade des Dallas Cowboys. Dans tous les domaines, du convoyeur le plus simple au plus grand toit ouvrant au monde, les variateurs ABB sont très appréciés à la fois pour la commande haute performance des moteurs et pour leur grande simplicité. Grâce à des fonctions pointues comme la commande DTC et au talent des ingénieurs d'Uni-Systems, le stade des Dallas Cowboys illustre à merveille l'alliance de la technologie et du savoir-faire pour résoudre des problèmes extraordinaires et créer l'événement. Si les produits ABB n'occupent pas le devant de la scène, ils veillent en coulisses au bonheur du public et à la tranquillité quotidienne des propriétaires et exploitants de ces installations gigantesques.

Photo p. 14-15 : Brad Cobo

Commandés par des variateurs ACS350 d'ABB, 5 des 7 panneaux de la baie vitrée s'ouvrent sur 55 m en 6 min.

#### Brad Cobo

ABB Discrete Automation and Motion  
Dallas (Texas, États-Unis)  
brad.a.cobo@us.abb.com

#### Ken Graber

ABB Discrete Automation and Motion  
New Berlin (Wisconsin, États-Unis)  
ken.j.graber@us.abb.com



# Larguer les amarres

Les avantages de la propulsion électrique pour les navires remorqueurs releveurs d'ancre

TOR ARNE MYKLEBUST – La propulsion électrique équipe les plates-formes et les navires d'assistance *offshore* depuis le début des années 1990. Les progrès technologiques permettent aujourd'hui d'optimiser le système propulsif selon les objectifs visés : économies de carburant et réduction de l'impact environnemental, simplification de la conception et de la construction, gain de place à bord et amélioration des conditions de travail pour l'équipage. Dans le cas de la

propulsion électrique, le principal ressort des progrès fut la baisse de la consommation de carburant et des coûts d'exploitation avec, à la clé, de substantielles économies. Jusqu'à une date récente, les navires d'assistance offshore constituaient un débouché important pour cette technologie. L'attention se porte désormais sur les navires remorqueurs releveurs d'ancre et sur d'autres bâtiments susceptibles de tirer le meilleur parti de la propulsion électrique.

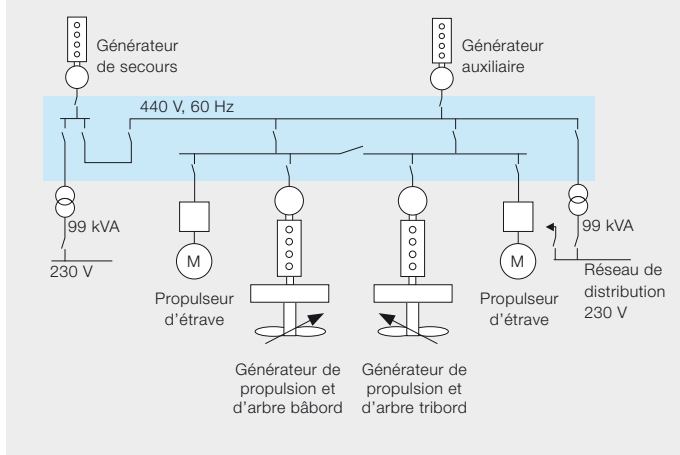
## 1 Systèmes de propulsion pour navires d'assistance offshore

bustion dans les moteurs principaux. Tout compte fait, les pertes totales de la propulsion électrique restent inférieures à celles de la propulsion mécanique classique.

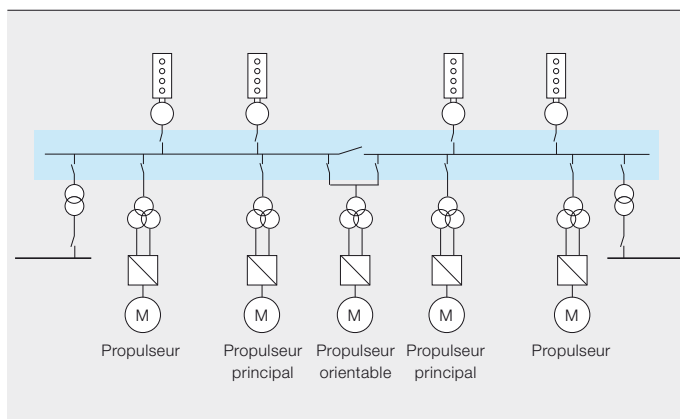
Les économies de carburant apportées par la propulsion électrique résultent de deux facteurs. *Primo*, la commande en vitesse variable des hélices réduit au minimum leurs pertes à vide par rapport aux hélices à pales orientables classiques tournant à vitesse constante. *Secundo*, le démarrage et l'arrêt automatiques des moteurs Diesel permettent de maintenir leur charge aussi près que possible de leur point de fonctionnement optimal, dans les limites d'exploitation.

Les navires d'assistance offshore, y compris les navires remorqueurs releveurs d'ancres, utilisent traditionnellement des hélices à pales orientables et vitesse constante. Comparé à la commande en vitesse variable, ce type de propulsion est très peu performant du fait des pertes à vide élevées des hélices tournant à vitesse constante → 3. Cet aspect à lui seul explique la majorité des économies induites par la propulsion électrique des navires d'assistance offshore. De surcroît, en positionnement dynamique, la puissance de propulsion est très peu utilisée au quotidien, même dans les régions les plus difficiles comme, par exemple, la Mer du Nord.

Autre avantage majeur de la propulsion électrique: l'optimisation de la charge des moteurs Diesel par l'utilisation de plusieurs petits moteurs plutôt que quelques grosses machines. Selon le niveau de charge, le démarrage et l'arrêt auto-



1a Propulsion mécanique directe traditionnelle



1b Propulsion électrique

Pour les navires d'assistance offshore, les avantages de la propulsion électrique sur la propulsion mécanique directe ne sont plus à démontrer. En effet, les économies de carburant se situent entre 15 et 25 % en modes de fonctionnement types et peuvent atteindre 40 à 50 % en modes de positionnement dynamique → 1.

Même si la plupart des centrales électriques et des systèmes propulsifs utilisent les mêmes concepts de base, le marché propose différentes configurations. Pour optimiser les économies, les armateurs, les chantiers navals et les concepteurs se doivent d'analyser toutes les solutions possibles et d'évaluer un certain nombre de critères de choix des produits, systèmes et services → 2.

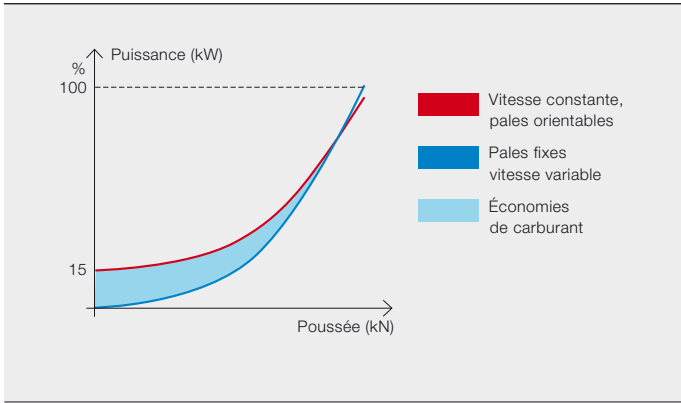
### Économiser le carburant

Le recours à une propulsion électrique impose de remplacer l'arbre entre le moteur principal et l'hélice par un système constitué de générateurs, tableaux électriques, transformateurs, convertisseurs et moteurs. Avec un rendement d'environ 90 %, ce système affiche des pertes supplémentaires qui doivent, d'une manière ou d'une autre, être prises en compte. Si le niveau des pertes électriques des différentes configurations varie peu, elles restent toutefois minimes comparées aux pertes hydrodynamiques des hélices et au rendement de la com-

## 2 Critères d'évaluation des configurations de propulsion électrique

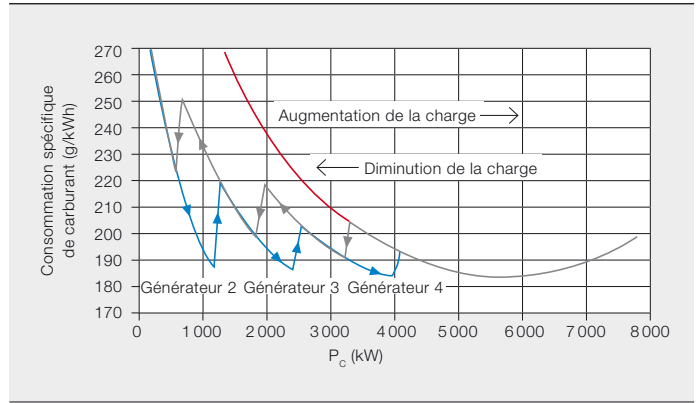
- Construction et installation économiques
- Conception flexible pour un domaine d'emploi plus large
- Sécurité accrue
- Utilisation des systèmes de propulsion et de maintien à poste pour le positionnement dynamique
- Réduction de la consommation de carburant
- Réduction de l'impact environnemental (moins d'émissions)
- Amélioration des conditions de travail de l'équipage
- Baisse des coûts de maintenance
- Maintenance aisée sur tout le cycle de vie du navire
- Maintenance aisée dans la zone géographique d'intervention, souvent le monde entier
- Disponibilité des pièces de rechange
- Assistance à distance et à bord
- Minimisation des contraintes sources de sous-performances
- Minimisation des effets néfastes sur les autres équipements
- Brise-glace : performances supérieures

### 3 Les atouts de la vitesse variable



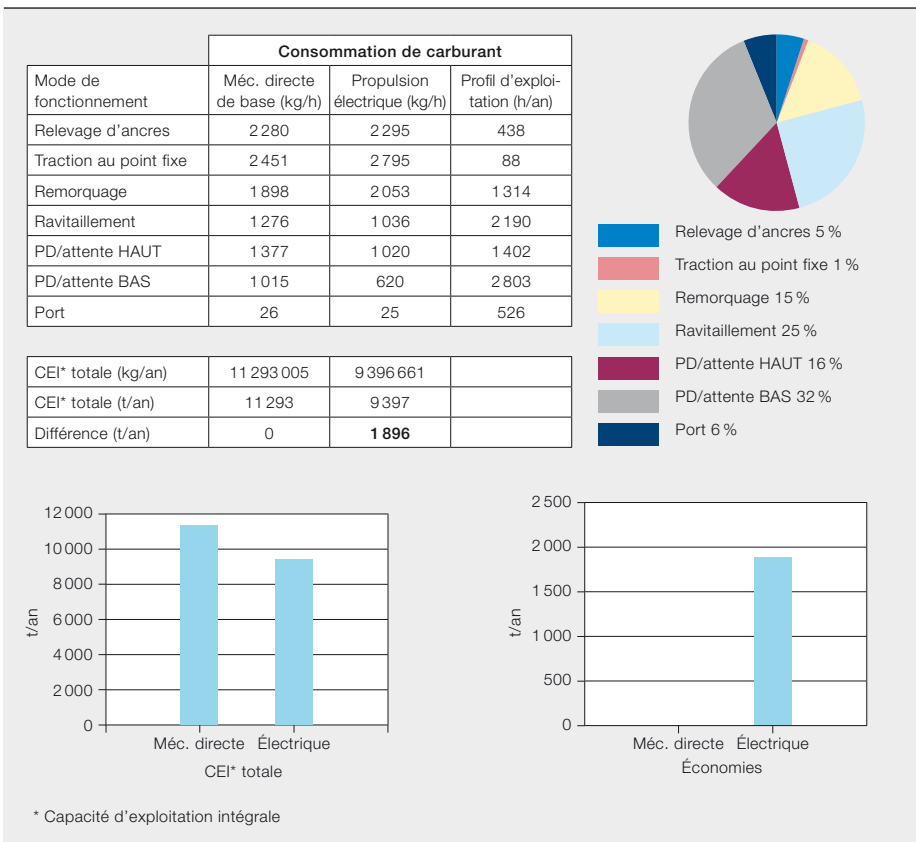
Courbes puissance-poussée d'une hélice à pales orientables tournant à vitesse constante et d'une hélice à pales fixes commandée en vitesse variable.

### 4 Consommation de carburant par kWh produit



Courbes de consommation de 4 moteurs Diesel identiques fonctionnant en parallèle (avec démarrage et arrêt automatiques du système de gestion de puissance) et d'un seul gros moteur Diesel fournissant la même puissance totale (trait rouge).

### 5 Propulsion électrique et propulsion mécanique directe d'un navire remorqueur releveur d'ancre de 200 tonnes de traction au point fixe



La commande en vitesse variable des hélices ainsi que le démarrage et l'arrêt automatiques des moteurs Diesel réduisent la consommation de carburant des navires tout électriques.

matiques des moteurs accroît la puissance utile, réduisant la consommation de carburant → 4.

Dans le cas d'un navire remorqueur releveur d'ancre de plus de 200 tonnes de traction au point fixe, la propulsion électrique fait économiser près de 1 900 tonnes de carburant → 5.

Ce dernier exige plus de puissance propulsive installée qu'un navire d'assistance offshore type. Par conséquent, les systèmes de propulsion et leur installa-

tion coûtent plus cher. Dans les navires remorqueurs releveurs d'ancre classiques, la conception est optimisée pour contenir les coûts de construction et garantir la traction au point fixe. Si, par le passé, les coûts d'exploitation entraient moins en ligne de compte dans la conception et le choix des concepts de propulsion, les choses aujourd'hui évoluent au vu de l'imprévisibilité du prix des carburants et de la pression environnementale. Désormais, les coûts d'exploitation et, en particulier, la facture énergétique dictent la conception de plusieurs navires.

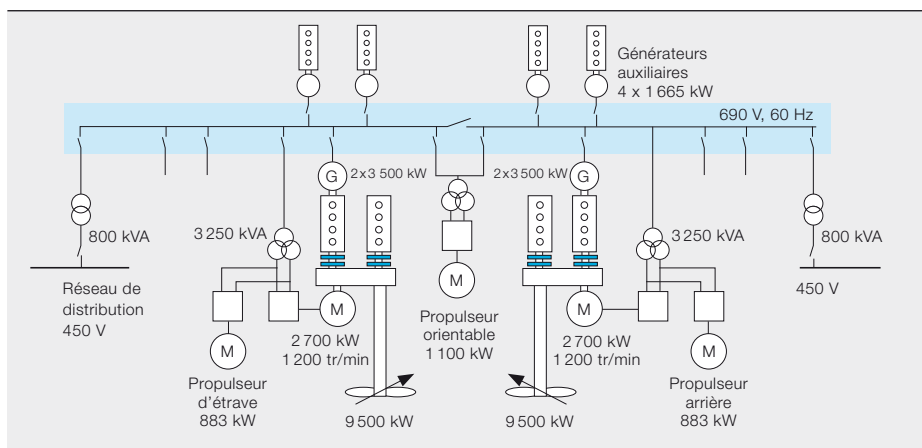
### Propulsion hybride

La propulsion hybride, combinant systèmes mécaniques et électriques, est une alternative au « tout-électrique » → 6.

Dans ce cas, trois modes de fonctionnement sont possibles :

- Propulsion électrique exclusive pour les manœuvres à basse vitesse, la navigation et le positionnement dynamique ;
- Propulsion mécanique exclusive pour le remorquage et la navigation à grande vitesse ;

## 6 Propulsion hybride électrique et mécanique d'un navire remorqueur releveur d'ancre de 200 tonnes de traction au point fixe



– Propulsion hybride en utilisant les équipements électriques pour booster la propulsion mécanique afin de maximiser la traction au point fixe.

En termes de coûts d'installation, les solutions hybrides sont plus économiques que les solutions tout électriques, alors que sur le plan de la consommation de carburant, elles sont assez comparables. C'est pour cette raison que plusieurs navires remorqueurs releveurs d'ancre récents sont équipés de solutions hybrides, notamment ceux offrant une capacité de traction élevée.

Toutefois, il convient de ne pas omettre la complexité mécanique accrue de ces systèmes hybrides, obligeant l'équipage

### Cap sur la sobriété énergétique

La conception des systèmes de propulsion des navires remorqueurs releveurs d'ancre s'est traditionnellement focalisée sur la capacité de traction et les coûts de construction, au prix d'une forte consommation de carburant et d'émissions polluantes importantes, en particulier de CO<sub>2</sub>, par rapport à la propulsion électrique. Or en adoptant cette dernière, les navires d'assistance offshore et, aujourd'hui, les navires remorqueurs releveurs d'ancre ont considérablement réduit leur consommation, leurs émissions et leurs coûts d'exploitation.

Si les mêmes gains sont possibles avec une propulsion hybride pour un coût de construction moindre, celle-ci oblige l'équipage à s'impliquer activement dans l'optimisation de la configuration selon les conditions.

Les économies de carburant procurées par la propulsion électrique sont le fait d'une plus grande souplesse d'exploitation du navire, même si le système lui-même

introduit de nouvelles pertes dans la chaîne énergétique. Certes, des efforts peuvent être consentis pour limiter ces pertes supplémentaires; mais pour tirer le maximum de la propulsion électrique, il faut avant tout concevoir un système simple, fiable et flexible.

## Grâce à la propulsion électrique, un navire remorqueur releveur d'ancre de plus de 200 tonnes de traction au point fixe économise 1 900 tonnes de carburant.

à être davantage « sur le pont » et à optimiser manuellement les modes opératoires selon l'état de la mer. Dans un navire tout électrique, il est beaucoup plus aisé d'optimiser automatiquement la configuration de la centrale électrique et du système propulsif pour un fonctionnement permanent aussi performant que possible, avec un minimum d'intervention humaine, voire aucune.

### Offre ABB en propulsion électrique

ABB est le leader mondial de la propulsion électrique avec une offre complète d'entraînements à vitesse variable pour lignes d'arbre et propulseurs, et un catalogue unique de systèmes de propulsion en nacelle, dont le célèbre Azipod®. Le Groupe équipe les systèmes de propulsion hybride des navires d'assistance offshore et navires remorqueurs releveurs d'ancre de plusieurs constructeurs navals, notamment DOF ASA, Farstad Shipping ASA, Island Offshore AS, REM Offshore AS, Solstad Offshore ASA, Ezra Marine Services et China Oilfield Services Ltd. Les équipements fournis incluent des générateurs basse tension, des transformateurs, des convertisseurs et des moteurs électriques pour la propulsion principale et la manœuvre.

**Tor Arne Myklebust**

ABB Process Automation, Marine Systems  
Ulsteinvik (Norvège)  
tor-arne.myklebust@no.abb.com

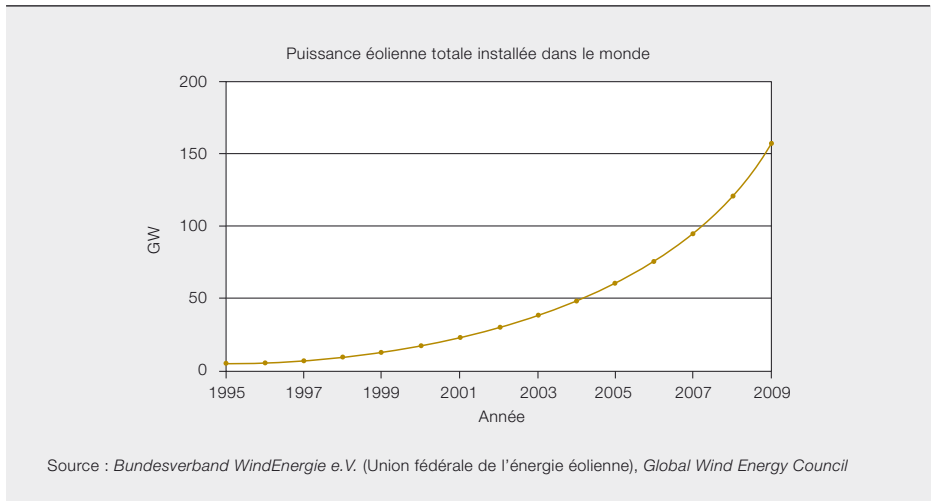


# Face au vent

## ABB et le parc éolien marin *Alpha Ventus*

MELANIE NYFELER, ANDREAS MOGLESTUE – L'homme a toujours cherché à braver la mer en déployant des trésors d'astuces et de ténacité pour dompter les éléments ou, du moins, s'en accommoder. L'époque n'est certes plus à l'exploration de contrées inconnues et les aventureux périples d'hier sont aujourd'hui des itinéraires de commerce balisés et fréquentés. Pourtant, la mer, par nature imprévisi-

ble, continue à défier les plus audacieux... bâtisseurs d'éoliennes *offshore* en tête! Il en est ainsi d'ABB qui participe au projet Alpha Ventus, au large du nord de l'Allemagne, avec ses génératrices, convertisseurs de fréquence et appareillages à isolation gazeuse: une occasion de se frotter aux rudes conditions du monde marin.



L'énergie éolienne a plus que jamais le vent en poupe : pour preuve, sa capacité mondiale de production a bondi de 4,8 gigawatts (GW) en 1995 à 158 GW en 2009 → 1 et suit une courbe exponentielle. Naguère confiné à l'expérimentation et aux applications de niche, l'éolien a aujourd'hui fait sa place dans le mix énergétique des pays et des régions qui ont investi dans la filière. Même si les économies d'échelle et le cumul des savoir-faire ont diminué le prix par mégawatt (MW) et le risque des nouvelles installations, la rentabilité d'un projet éolien reste un objectif majeur. La tendance est donc au gigantisme et à la puissance. L'intérêt croissant pour l'éolien maritime tient à deux grandes raisons : la moindre gêne esthétique, ces moulins à vent des temps modernes étant d'autant mieux acceptés qu'ils sont éloignés des habitations, et leur meilleur rendement énergétique, puisqu'ils sont installés là où le vent est le plus fort et le plus régulier.

Aussi simple que puisse paraître cette logique d'implantation, la construction de parcs en mer se heurte à bien des écueils : installation et ancrage des éoliennes par mer démontée, fiabilité de fonctionnement sur la durée, malgré des conditions hostiles (vents violents, for-

tes houles, humidité, etc.), difficultés d'accès pour réparations et maintenance.

Situé à 45 km au nord de l'île allemande de Borkum → 2, Alpha Ventus est le fruit d'un programme conjoint des énergéticiens E.ON Climate & Renewables, EWE et Vattenfall Europe. Cet aménagement expérimental, dont les résultats bénéficieront à d'autres projets *offshore*, aligne 12 aérogénérateurs d'une puissance unitaire de 5 MW. Pour commencer, 6 aérogénérateurs Multibrid, distants d'environ 800 m, ont quadrillé une surface de 4 km<sup>2</sup>, puis 6 machines RePower sont venues les compléter. Ce sont les plus grosses éoliennes jamais installées au large. Le moyeu de chaque rotor s'élève

**Les opérations en mer exigent une planification méticuleuse ; pas question de revenir en catastrophe au navire d'assistance si l'on a oublié un outil.**

à 90 m au-dessus du niveau de la mer → 4 et son extrémité culmine à 148 m, surpassant de 1 m la pyramide de Khéops. Ancrés par 28 m de fond, ces colosses d'acier pèsent près de 1 000 t, équivalentes à 200 éléphants. Leurs pales

balaient 1 ha (soit la surface de *Trafalgar Square* à Londres), à la vitesse maximale d'une Formule 1 (324 km/h) !

Fournies par ABB, les génératrices de ces éoliennes sont des machines synchrones à aimants permanents<sup>1</sup> d'un haut niveau de fiabilité, ce critère étant prépondérant au vu de leur inaccessibilité. ABB est aussi à l'origine des convertisseurs de fréquence PCS 6000 qui raccordent les aérogénérateurs au réseau électrique → 5. Compacts, ces appareils se logent dans le mât de l'éolienne, sur un seul niveau → 6. Une autre plate-forme dédiée abrite le transformateur, l'appareillage d'interruption, les équipements de contrôle-commande du parc et divers auxiliaires.

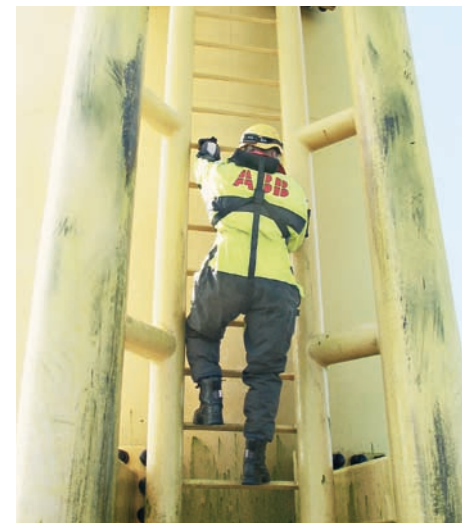
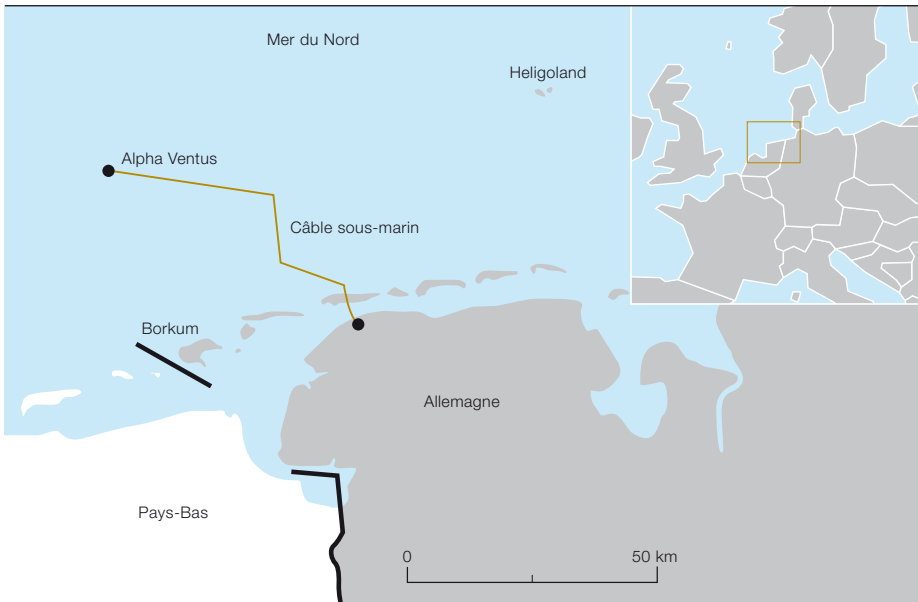
Ce premier chapelet d'aérogénérateurs est opérationnel depuis août 2009, au terme d'une mise en service qui s'est échelonnée de mi-juillet à fin août. Le mât et le rotor de chaque éolienne ont été positionnés à l'aide de grues flottantes, au millimètre près. Pour parer au mauvais temps risquant d'entraver leur installation, un maximum de composants fut assemblé à terre, dont l'essentiel de l'installation électrique. Une précaution qui n'a pourtant pas empêché la météo peu clémente d'interrompre plus d'une fois le travail ! ABB fut le seul fournisseur de Multibrid à assister à la mise en service, ce qui reflète bien l'importance de sa contribution au projet d'ensemble. En fait, jusqu'à quatre intervenants d'ABB

**Note**

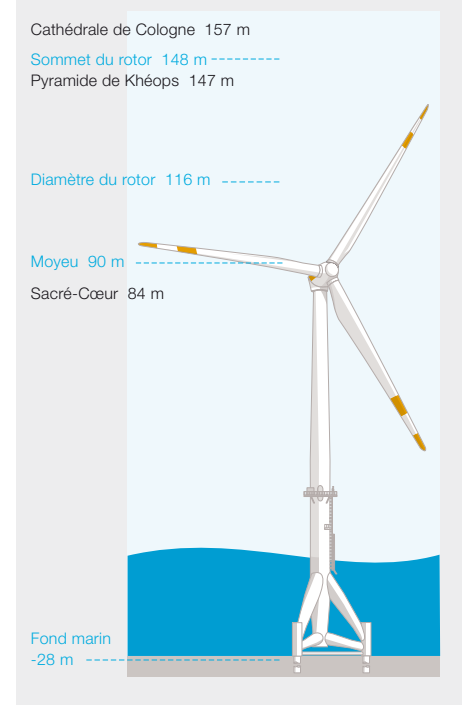
<sup>1</sup> Lire aussi « L'attrait de la simplicité – Des machines à aimants permanents très prometteuses », *Revue ABB*, 2/2009, p. 29–34.



## 2 Le parc éolien marin Alpha Ventus, à 45 km au nord de l'île de Borkum



## 4 Les éoliennes dépassent hauteur de la pyramide de Khéops.



## 3 La mise en service des aérogénérateurs : une mission à hauts risques !



ont « occupé le terrain » de mi-juillet à fin août.

Le technicien d'ABB, Uwe Heydel, ancien professionnel du forage pétrolier, faisait partie de l'équipe de mise en service des convertisseurs de fréquence. De son propre aveu, il fut parfois plus difficile d'amarrer le bateau gonflable par forte houle que de travailler sur les installations électriques du mât. Autre difficulté au montage : une housse de protection restée accrochée à l'une des pâles contraignit l'un des employés de Multi-brid à une périlleuse descente en rappel → 3. Là encore, Uwe Heydel dut prêter main forte pour arrimer la corde au moyeu de l'aérogénérateur, déçu après

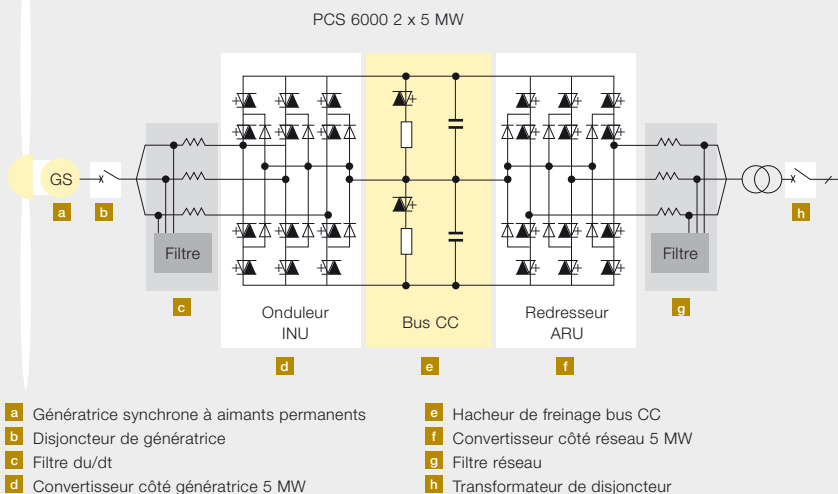
coup de ne pas avoir pu faire ce travail. Ces exploits du quotidien sont le fruit d'un entraînement rigoureux, qui comprend également des exercices de simulation d'accident d'hélicoptère et de survie en mer. Pour autant, Uwe reconnaît que les plus grosses difficultés d'intervention sur un site de haute technologie consistent à régler... des problèmes très peu techniques.

Les opérations en mer exigent une planification méticuleuse ; pas question de revenir en catastrophe au navire d'assistance si l'on a oublié un outil ! La communication fut aussi un défi en soi. Certes, le navire était équipé d'un téléphone par satellite mais il fallait souvent attendre la

Les génératrices ABB du parc éolien marin *Alpha Ventus* sont des machines synchrones à aimants permanents, commandées en vitesse variable; un choix technologique qui se justifie par les faibles besoins de maintenance et les difficultés d'accès du site. La fréquence de sortie de la génératrice étant variable, ABB a développé le PCS 6000 spécialement pour les aérogénérateurs délivrant une puissance supérieure à 3 MW. Il s'agit d'un convertisseur 4 quadrants à thyristors intégrés commutés par la gâchette (IGCT). L'appareil ne fait pas que raccorder les génératrices au réseau; il absorbe ou fournit aussi de la puissance réactive pour soutenir les réseaux fragilisés. Plus précisément, il peut fonctionner en mode 100 % réactif pour assurer un redémarrage après une panne générale. Ce convertisseur 4Q est capable de soutenir l'écoulement de puissance dans les deux sens, même si Alpha Ventus n'a normalement pas besoin de ce flux bidirectionnel, sauf pour positionner les pales. Le PCS 6000 est piloté

par l'automate programmable AC 800PEC\* d'ABB. Parmi les points forts de la solution, citons sa puissance massive, sa faible maintenance et son immunité aux perturbations électromagnétiques et à la condensation, grâce à une protection IP54. Particulièrement compacts, le convertisseur et tous ses auxiliaires se logent dans une plate-forme intégrée au mât de l'éolienne. La grande fiabilité du PCS 6000 est renforcée par ses capacités de télémaintenance. Le système ABB d'analyse des données de diagnostic « DIAS » (*Diagnostic Information Analysis System*) permet d'ausculter et de surveiller à distance le convertisseur pour prêter main forte aux équipes sur site.

\* Lire « Flots de conception – Coconception de la plate-forme de contrôle-commande avancé AC 800PEC », *Revue ABB*, 2/2006, p. 62–65.



nuit pour passer un appel, sur une liaison aussi peu fiable qu'in audible.

L'intervention d'ABB ne s'est pas arrêtée au montage; son équipe a largement contribué à la mise en route et aux derniers réglages des aérogénérateurs pour un fonctionnement optimal.

Depuis son raccordement au réseau électrique, fin août 2009, l'équipement donne satisfaction, relayé par des outils de télédiagnostic et d'accès à distance. À ce jour, aucun technicien d'ABB n'a eu à retourner sur le site. Contre vents et marées, nos génératrices, convertisseurs de fréquence et appareillages tiennent tête aux colères d'Éole!

**Melanie Nyfeler**

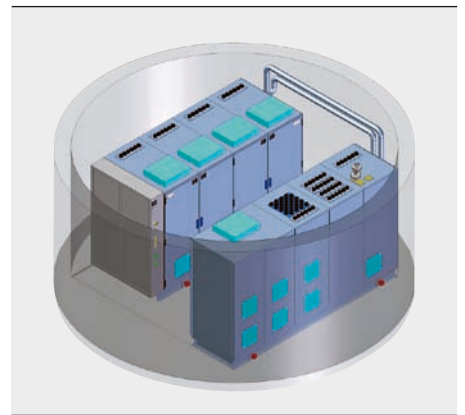
ABB Suisse Communication  
Baden (Suisse)  
melanie.nyfeler@ch.abb.com

**Andreas Moglestue**

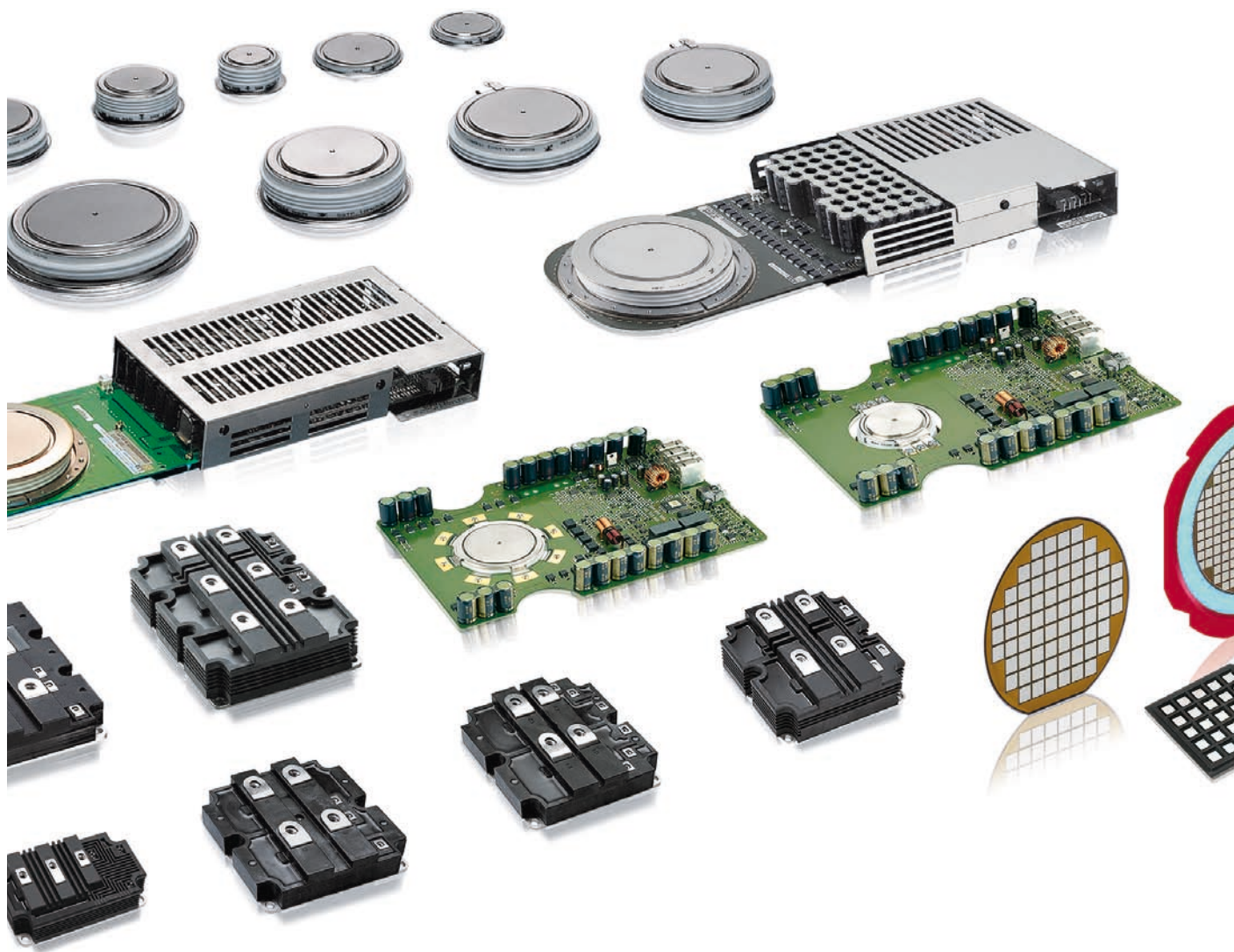
Revue ABB  
Zurich (Suisse)  
andreas.moglestue@ch.abb.com

**Lectures complémentaires**

- Eichler, M., « La tête dans les étoiles et les pieds dans l'eau – Des éoliennes offshore de 5 MW s'équipent du convertisseur de puissance PCS 6000 », *Revue ABB*, 3/2008, p. 56–61.
- Sørensen, E., Nielsen, F., « Un vent d'énergie souffle sur l'océan – Des parcs éoliens en mer se substituent aux nouvelles centrales d'énergie à terre », *Revue ABB*, 2/2007, p. 69–72.
- Kreusel, J., « Souffler n'est pas jouer – L'éolien dicte ses règles à la fourniture électrique », *Revue ABB*, 2/2007, p. 33–38.



L'extrémité des pales balaie 1 ha, soit la surface de Trafalgar Square à Londres, à la vitesse maxi d'une Formule 1 (324 km/h) !



# Semi-conducteurs : inventaire

1<sup>ère</sup> partie : les chevilles ouvrières des réseaux  
électriques du XXI<sup>e</sup> siècle

CLAES RYTOFT, BERNHARD ESCHERMANN, HARMEET BAWA, MARK CURTIS – ABB fabrique des semi-conducteurs de forte puissance depuis des décennies. Ces composants essentiels se retrouvent au cœur de nombreuses technologies pointues d'ABB comme le transport d'électricité en courant continu à haute tension (CCHT) et la variation électronique de vitesse. En investissant dans les installations hyperspécialisées de son site suisse de Lenzbourg, ABB s'est donné les moyens de développer et de fabriquer toute une gamme de semi-conducteurs de puissance perfectionnés, qui profitent directement à son offre de produits en constante évolution.

Née de la découverte des semi-conducteurs, l'électronique de puissance a marqué une réelle rupture technologique en faisant de l'interrupteur statique\* la base de tout équipement destiné à modifier le courant électrique.

Un matériau est qualifié de « semi-conducteur », tel que le silicium, quand il se situe à mi-chemin entre le conducteur électrique (cuivre) et l'isolant (caoutchouc). Placé dans un circuit, c'est un isolant imparfait : le plus souvent, il bloque le flux d'électrons mais certaines conditions (agitation thermique, impuretés ou défauts, exposition aux champs électromagnétiques) peuvent le rendre conducteur. La conductivité d'un semi-conducteur pur, encore appelé « intrinsèque » ou « de type I » → 1a, change du tout au tout si on lui ajoute d'autres éléments ou « impuretés », par un procédé de « dopage ». Les matériaux utilisés pour doper un cristal de silicium sont constitués d'atomes possédant trois ou cinq électrons sur leur couche externe (« valence 3 ou 5 »), soit un de moins ou de plus que le silicium qui en compte quatre.

L'introduction de petites quantités de phosphore (valence 5), par exemple, modifie les propriétés du matériau brut de type I en dotant son orbite externe d'un cinquième électron isolé : on obtient alors un cristal de silicium à charge négative, de « type N » → 1b, qui peut conduire l'électricité. Ces électrons libres se déplacent relativement sans entrave à travers le réseau cristallin et facilitent la conduction en présence d'un champ électrique. Les propriétés d'un semi-conducteur de type I sont aussi modifiées en le dopant avec un peu de bore (valence 3) mais cette fois, au lieu de donner un électron libre supplémentaire comme le faisait l'atome de phosphore, chaque atome de bore crée une absence d'électron dans la structure cristalline du silicium, dont le quatrième électron

reste privé de liaison. Ces manques sont comblés par les électrons des atomes voisins, laissant des « trous » considérés comme des charges positives dans le semi-conducteur : on obtient un cristal de « type P » → 1c. Comme les électrons libres, ces trous positifs peuvent se déplacer dans la structure cristalline. Ce phénomène à répétition crée un flux d'électricité dans le semi-conducteur de type P. La conduction s'explique donc par le mouvement d'électrons libres (négatifs) ou la présence de trous (positifs). Les semi-conducteurs de type N et de type P se comportent comme des isolants qui bloquent le courant en-dessous d'une tension de seuil ; au-dessus, ils deviennent conducteurs. Ce seuil est fonction de la proportion d'atomes dopants dans le silicium : il est d'autant plus bas que le dopage est important. Si l'on veut contrôler le sens et l'intensité du courant nécessaire pour faire passer le semi-conducteur de l'état isolant à l'état conducteur, il faut juxtaposer deux cristaux, l'un de type P, l'autre de type N. La ligne de séparation entre ces zones forme une « jonction » dans laquelle les électrons négatifs du semi-conducteur N remplissent les trous positifs du semi-conducteur P. On obtient ainsi, à la frontière entre les régions P et N, une mince couche de type I, dépourvue d'électrons libres et de trous, que l'application d'une source de tension externe rend conductrice. C'est en modulant le potentiel appliqué à cette jonction P-N que l'on joue sur les propriétés électriques du composant. Les caractéristiques et la structure de ces semi-conducteurs dopés sont à l'origine du transistor qui constitue encore aujourd'hui les fondements de tout appareil électronique moderne.

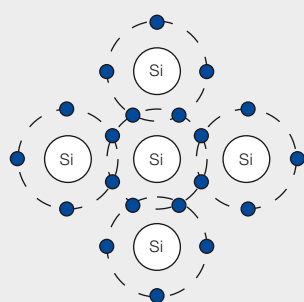
**Note**

\* Circuit ou équipement entièrement réalisé en matériau semi-conducteur, sans pièces mécaniques mobiles.

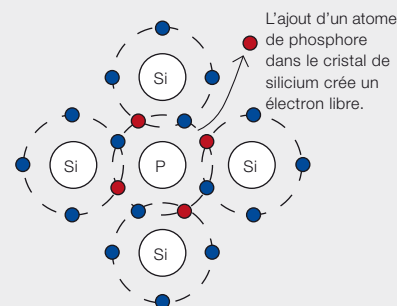
L'électronique de puissance se charge de maîtriser, d'adapter et de convertir l'énergie électrique, à l'aide de composants de commutation à semi-conducteurs, encore appelés « interrupteurs statiques » → 1. Les récents progrès de la discipline ont débouché sur un nombre toujours croissant d'applications. Les conséquences du réchauffement planétaire dû à la combustion des énergies fossiles jouent un rôle majeur dans le recours accru aux semi-conducteurs de puissance pour optimiser la production des énergies renouvelables (EnR) et améliorer la performance énergétique.

Même aux premières heures de l'électricité, le critère de l'efficacité du transport a dicté le choix du courant continu (CC) ou alternatif (CA). À l'origine, les systèmes électriques étaient majoritairement bâtis sur des circuits CC, malgré l'impossibilité d'en modifier les niveaux de tension, qui en limitait l'usage. On construisit alors des générateurs permettant de répondre aux besoins de la charge sur le circuit en adaptant, par exemple, le niveau de tension à l'éclairage, aux moteurs, etc. Pour autant, l'inefficacité du transport à ces basses tensions obligeait à installer ces générateurs à proximité des consommateurs.

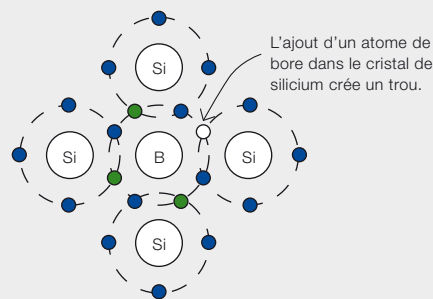
Le développement ultérieur des alternateurs et des transformateurs fut décisif pour porter cette tension à 110 kV ou plus,



1a Semi-conducteur de type I, non dopé

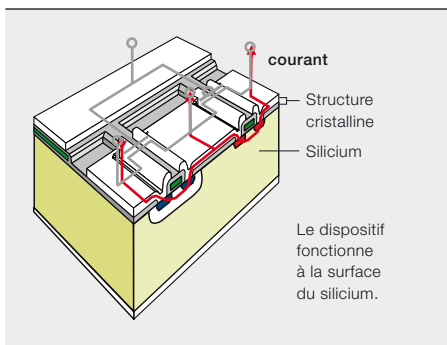


1b Semi-conducteur de type N, dopé au phosphore (charges négatives)



1c Semi-conducteur de type P, dopé au bore (charges positives)

## 2 Semi-conducteurs employés dans l'électronique grand public



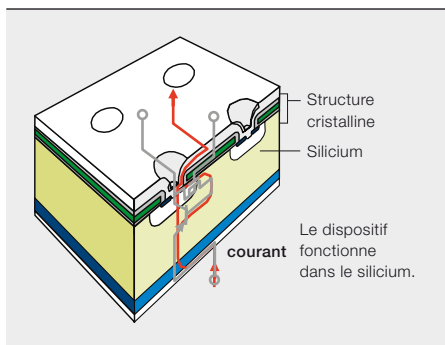
et améliorer ainsi le transport électrique sur de longues distances. Les générateurs pouvaient s'éloigner des lieux de consommation et s'affranchir de l'obligation d'adapter leurs niveaux de tension à la charge raccordée, des transformateurs « abaisseurs » accomplissant cette tâche. Ces premières avancées ont joué un rôle central dans le choix de la nature et de la topologie des réseaux de transport et de distribution.

## Les progrès de ces dernières décennies dans le domaine des semi-conducteurs ont considérablement influencé l'architecture des systèmes électriques du monde entier.

Si les systèmes électriques se heurtent aujourd'hui à de nouvelles contraintes (rendement énergétique, écocompatibilité, etc.), la technologie reste le principal moteur de leur évolution.

Ces dernières décennies, les progrès accomplis dans le domaine des semi-conducteurs ont considérablement influencé l'architecture des systèmes électriques du monde entier. Parmi les innovations qui en ont bénéficié, citons le transit massif d'électricité sur CCHT, l'introduction de la vitesse variable dans la motorisation d'une chaîne cinématique (source d'économies d'énergie), le passage d'une fréquence à l'autre en cou-

## 3 Semi-conducteurs employés dans l'électronique de puissance



rant alternatif (50/60 Hz ou  $50/16^{2/3}$  Hz) et l'avènement des systèmes de transport flexibles en courant alternatif « FACTS » (*Flexible AC Transmission Systems*) pour stabiliser le réseau et en accroître la capacité de transfert.

### Domaines d'application

La grande majorité des dispositifs à semi-conducteur a fait de l'électronique grand public son domaine de prédilection : ordinateurs, lecteurs de DVD, téléphones mobiles, électroménager, consoles vidéo... autant de produits qui fonctionnent généralement à des puissances de la gamme des milliwatts et des nanowatts. Leur course à la miniaturisation s'accompagne d'une complexité accrue qui oblige à loger sur des « micro-puces » des centaines de millions d'interrupteurs commutant au niveau du nanowatt. La fonction de ces composants est habituellement gravée en surface du matériau semi-conducteur → 2.

De plus, de nombreux semi-conducteurs de faible puissance servent aujourd'hui à modifier la forme du courant électrique, c'est-à-dire sa tension ou sa fréquence :

- Convertisseurs continu-continu généralisés dans la plupart des appareils nomades (mobiles, MP3, etc.) dont ils maintiennent la tension à une valeur fixe, quel que soit le niveau de charge de la batterie ;
- Convertisseurs alternatif-continu (« redresseurs ») pour raccorder un appareil électronique au secteur (ordinateurs, téléviseurs, consoles de jeu, etc.) ;
- Convertisseurs alternatif-alternatif, que l'on retrouve dans les adaptateurs de courant, les variateurs d'éclairage... pour modifier le niveau de tension ou la fréquence ;
- Convertisseurs continu-alternatif (« onduleurs ») permettant d'alimenter

les équipements CA d'une voiture, par exemple, à partir d'une batterie CC.

De nos jours, ces composants commutent des mégawatts (MW) ! Généralement au silicium, ils ont pour fonction de bloquer ou de conduire le courant électrique en utilisant les trois dimensions du semi-conducteur → 3. Souvent moins emblématiques que leurs minuscules cousins de l'électronique grand public, ils s'appuient sur les mêmes principes pour modifier la tension et la fréquence, mais à une échelle industrielle. Ils constituent les robustes interrupteurs de grande puissance à deux états stables, « passant » ou « bloqué ».

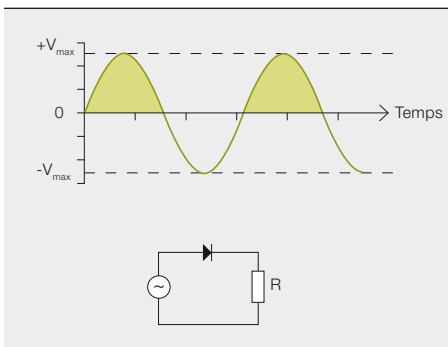
Même si l'électronique de puissance se contente d'un segment relativement modeste du marché des semi-conducteurs, l'explosion de la demande en composants de forte puissance, ces cinq dernières années, lui a permis de grignoter des parts pour répondre à de nouvelles applications aujourd'hui bien établies. ABB compte parmi les grands producteurs et développeurs mondiaux de semi-conducteurs de forte puissance. Cette position de choix lui permet d'élargir leur champ d'application, grâce à une gamme de produits visant à doper l'efficacité énergétique.

### Principaux composants

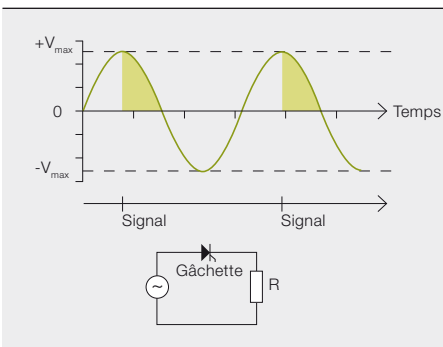
Le premier semi-conducteur de puissance – une diode de 7 kW – voit le jour au début des années 1950. Ce dispositif a pour particularité de ne laisser circuler le courant que dans le sens « direct » → 4. Les sociétés mères du Groupe ABB, ASEA et BBC, ont tout de suite décelé le potentiel des semi-conducteurs en électronique de puissance et joué un rôle de premier plan dans leur développement et leur fabrication depuis le milieu des années 50. Les diodes à semi-conducteurs ont d'ailleurs équipé les premiers redresseurs statiques. Au tout début, les diodes haute tension produites par les devancières d'ABB servaient à redresser le courant alternatif dans l'électrometallurgie de l'aluminium. Ces travaux précurseurs ont contribué à hisser ABB au premier rang des fournisseurs mondiaux de semi-conducteurs de forte puissance.

La fin des années 1950 voit l'avènement d'un nouveau semi-conducteur bipolaire, le thyristor. Il s'apparente à la diode puisqu'il bloque le courant dans le sens

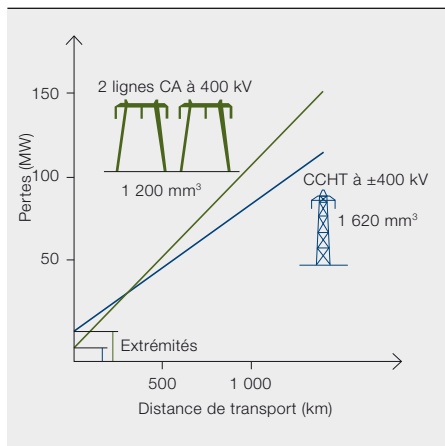
#### 4 Diode de redressement



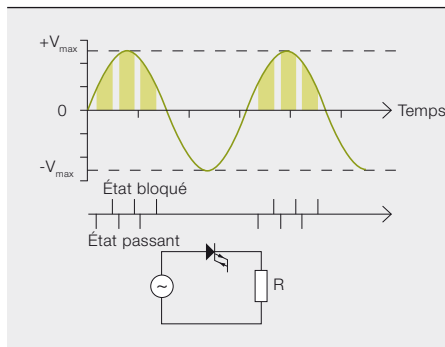
#### 5 Thyristor amorcé par un signal de gâchette et bloqué au zéro de courant.



#### 6 Comparaison des pertes de transport sur lignes aériennes CA et liaison CCHT



#### 7 Thyristor GTO commandable à l'amorçage/extinction par un signal HF.



inverse, mais il empêche aussi le flux d'électrons dans le sens direct, tant qu'il n'a pas reçu d'impulsion de commande. Ainsi la puissance ou le courant fournis à une charge peuvent-ils être contrôlés en déclenchant la conduction à un instant donné d'une période, en un point de la forme d'onde. Une fois amorcé (fermeture du contact), le thyristor reste conducteur

diode. Capable de commuter plusieurs MW, il peut convertir le courant alternatif en continu et vice-versa pour le transport CCHT. En 1954, ASEA installe la première liaison CCHT au monde; longue de 96 km et d'une puissance de 20 MW, elle alimente l'île de Gotland en 100 kV. Même si, à l'origine, ce système utilise exclusivement des redresseurs à vapeur de mercure,

en 1970, les stations de conversion sont complétées de valves à thyristors que l'on raccorde en série aux valves à vapeur de mercure pour porter la tension à 150 kV et la puissance de transport à 30 MW. Les systèmes CCHT actuels, équipés de thyristors en série, sont capables d'acheminer

6 400 MW sur plusieurs milliers de kilomètres, constituant des méthodes de transport efficaces de l'énergie électrique, des groupes de production distants aux grands centres de consommation. Autre

avantage: pour une même capacité de transit, les liaisons CCHT présentent des pertes inférieures à celles des lignes CA optimisées. Il faut bien sûr ajouter à cela les pertes dans les stations de conversion. Pour autant, celles-ci ne dépassant guère 0,7% de la puissance transitée dans chaque station, les pertes totales du CCHT s'avèrent globalement inférieures à celles de l'alternatif, au-delà d'une certaine distance (environ 500 km pour les lignes aériennes) → 6. De plus, le CCHT est l'unique solution viable pour les liaisons sous-marines de plus de 70 km.

Même si les thyristors connectés en série peuvent commuter des puissances de plusieurs milliers de MW, il suffit d'un dispositif de ce type, à 10 MW, pour modifier la fourniture de tension et de courant, par l'intermédiaire d'un variateur moyenne tension, et réguler efficacement la vitesse d'un moteur industriel. Selon les estimations, les applications pilotées par des moteurs électriques absorbent 65% de l'énergie utilisée dans l'industrie, dont une part considérable est consommée en pure perte par les méthodes traditionnelles de régulation de la vitesse des moteurs. Or, en utilisant des

**Les sociétés mères du Groupe ABB, ASEA et BBC, ont décelé le potentiel des semi-conducteurs en électronique de puissance et joué un rôle de premier plan dans leur développement et leur fabrication depuis le milieu des années 50.**

et ne revient à l'état bloqué (ouverture du contact) qu'une fois par cycle, par extinction naturelle, au passage à zéro suivant du courant → 5. À l'état passant, il se comporte fondamentalement comme une



## Semi-conducteurs de puissance ABB

Dispositifs	Assemblages	Applications
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- CCHT</li> <li>- Dispositifs FACTS</li> <li>- Convertisseurs éoliens</li> <li>- Variateurs</li> <li>- Redresseurs</li> <li>- Convertisseurs ferroviaires</li> <li>- Systèmes d'excitation</li> <li>- Électromobilité</li> </ul>

### 8 L'usine ABB de semi-conducteurs à Lenzbourg



Usine	Début production : 1978 (bipolaire) Ajout BiMOS : 1997 Achèvement extension : 2010/2011 Effectif : env. 500 employés
Fabrication	Composants bipolaires Tranches BiMOS Modules BiMOS
Spécialisation	Composants bipolaires (PCT [ <i>phase controlled thyristors</i> ], IGCT, diodes, GTO), plage 1,6 kV–8,5 kV Tranches BiMOS (diodes, IGBT), plage 1,2 kV–6,5 kV Modules IGBT (boîtiers HiPak™ et StakPak™), plage 1,7 kV–6,5 kV Modules de puissance

semi-conducteurs de puissance pour moduler la tension et la fréquence, on peut adapter la vitesse d'un moteur à courant alternatif tout en diminuant fortement ses pertes. La vitesse variable

L'avènement du transistor bipolaire à grille isolée « IGBT » marque un tournant dans les progrès de l'électronique de puissance. Réputé pour sa rapidité de commutation, il peut contrôler le courant électrique et modifier efficacement sa forme d'onde et sa fréquence.

permet de réduire en moyenne de 30 à 50 % la consommation d'énergie.

Les progrès accomplis dans le domaine des semi-conducteurs ont débouché sur le thyristor blocable par la gâchette « GTO » (*Gate Turn-Off thyristor*) qui, contrairement au thyristor simple, peut

être commandé à l'ouverture en un point arbitraire de la forme d'onde pour mieux contrôler la fourniture de puissance → 7. Le GTO est aujourd'hui courant dans les convertisseurs qui adaptent la fréquence du réseau électrique national à celle de la traction ferroviaire (trains et métros). Les deux premiers convertisseurs de fréquence utilisant des GTO, d'une puissance unitaire de 25 MVA, furent mis en service en 1994, à Giubiasco (Suisse). Ces appareils ont essaimé dans le monde entier pour adapter l'électricité fournie par le réseau aux besoins du rail.

Le GTO ne tarda pas être concurrencé par le thyristor intégré commuté par la gâchette « IGCT » (*Integrated Gate-Commutated Thyristor*). Comme le GTO, l'IGCT peut basculer à l'état passant ou bloqué, mais son extinction beaucoup plus rapide lui permet de commuter à des fréquences bien supérieures à celles de son prédécesseur. Il peut gérer de rapides élévations de tension en affichant des pertes par conduction plus faibles. Aujourd'hui, des milliers de variateurs de vitesse embarquent des IGCT. L'IGCT peut à lui seul commuter des puissances à de hauts niveaux de tension, ce qui lui vaut d'être un composant essentiel du compensateur statique de puissance réactive<sup>1</sup> et d'autres constituants du réseau électrique.

Il y a une vingtaine d'années, une variante en apparence simple du MOSFET (*Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor*) de puissance au silicium amorçait



un tournant dans l'électronique de puissance avec la création du transistor bipolaire à grille isolée « IGBT » (*Insulated-Gate Bipolar Transistor*). En 1997, ABB commence à investir dans la production de tranches pour IGBT, à Lenzbourg → 8. Basé sur la technologie BiMOS (*Bipolar-Metal-Oxide-Semiconductor*), l'IGBT est réputé pour ses performances et sa rapidité de commutation, basculant de l'état passant à l'état bloqué et inversement, plusieurs fois par cycle. Assemblés de multiples façons, les IGBT modifient la tension ou la fréquence pour une kyrielle d'applications, du transport en courant continu à haute tension HVDC Light® → 9 à la vitesse variable basse tension → 10. Ces deux domaines font certes appel à des redresseurs et des convertisseurs. Néanmoins, comme dans toute application, c'est le mode d'assemblage de ces composants à semi-conducteurs qui conditionne leur puissance de fonctionnement.

Les différentes familles de semi-conducteurs et leur assemblage déterminent leur adéquation à une application donnée. L'encapsulation de chaque composant vise non seulement à préserver son intégrité et ses performances, mais aussi à garantir sa sécurité de fonctionnement et sa longévité en environnements difficiles. Les modules HiPak™ d'ABB, par exemple, se destinent aux rudes milieux de la traction électrique et de l'industrie. Ils sont appelés à fonctionner dans une vaste plage de température et d'hygrométrie, ou dans des conditions de vibra-

tions ou de chocs intenses. Ils doivent aussi endurer de forts cycles thermiques. Les modules HiPak équipent des engins de traction, variateurs et aérogénérateurs. Autre type de boîtier, le StakPak™, exclusivité ABB, convient tout particulièrement au raccordement en série fiable des nombreux modules d'IGBT nécessaires aux applications haute tension.

Les semi-conducteurs de puissance sont indissociables d'un nombre croissant de produits et systèmes ABB investissant la quasi-totalité des applications électriques. Ils assurent la commande en vitesse variable de moteurs de 10 W à plusieurs centaines de MW et le transport de fortes puissances (jusqu'à 6 GW) sur des lignes CCHT à 800 kV. Ils permettent aux trains, engins de levage et ascenseurs de fonctionner sans à-coups, et aux énergies renouvelables, comme l'éolien et l'hydroélectrique, de se raccorder au réseau. Sans oublier les systèmes radar des aéroports qui en font les infailibles « pilotes » de la navigation aérienne. La prépondérance d'ABB dans la conception, le développement et la fabrication de semi-conducteurs lui a permis de conserver son rang de numéro un mondial des convertisseurs à électronique de puissance pour quantité d'applications. Le déploiement continu de son usine suisse, de même que l'acquisition du Tchèque Polovodice a.s., confortent son *leadership* et son implication dans la course à l'efficacité énergétique et à la productivité, dans un large éventail de secteurs industriels.



Cet article est le premier d'une série consacrée au rôle primordial des composants semi-conducteurs, au bénéfice d'ABB et de la filière énergétique.

#### Claes Ryttoft

Responsable Technologies des systèmes d'énergie  
ABB Power Systems  
Zurich (Suisse)  
claes.ryttoft@ch.abb.com

#### Bernhard Eschermann

Responsable Semi-conducteurs de puissance  
ABB Power Systems  
Lenzburg (Suisse)  
bernhard.eschermann@ch.abb.com

#### Harmeet Bawa

Responsable Communication  
Power Products and Power Systems  
Zurich (Suisse)  
harmeet.bawa@ch.abb.com

#### Mark Curtis

Rédacteur technique  
Revue ABB  
Zurich (Suisse)  
mark.curtis@ch.abb.com

#### Note

- 1 Dispositif basé sur la technologie des condensateurs commutés par thyristors, des inductances commandées par thyristors et des filtres d'harmoniques, capable de fournir et d'absorber du réactif pour améliorer la stabilité de la tension.





# Toujours plus haut

Un nouveau centre ABB pour tester le transport en courant continu à très haute tension

RALF HARTINGS, THOMAS K. LARSSON – Nombreux sont les pays à devoir relever un nouveau défi: le transport efficace, sur de longues distances, de l'électricité produite à partir des énergies renouvelables. La technologie du courant continu à haute tension (CCHT), à 800 kV, est l'une des solutions en lice qu'ont notamment adoptée la Chine, l'Inde et le Brésil. Néanmoins, l'augmentation continue de la demande d'électricité mondiale oblige à faire feu de tout bois pour acheminer plus d'énergie depuis ces sources «vertes», diffuses et difficiles d'accès, tout en se pliant aux contraintes environnementales.



Le centre d'essais haute tension (HT) d'ABB, à Ludvika (Suède), a depuis longtemps ouvert la voie du déploiement du transport électrique HT. Les tests HT étant un passage obligé pour qualifier tout nouvel équipement, de lourds investissements ont été consentis pour mettre en place les installations adéquates. Pourtant, l'année 2007 débuta sur un constat d'urgence: il fallait impérativement accroître les capacités d'essais du site en très haute tension (THT). Le développement réussi d'un nouveau transformateur et de traversées murales 800 kV CC touchait à sa fin tandis que se dessinaient des projets chinois et indiens de transport en courant continu à très haute tension (CCTHT), auxquels s'ajoutait un intérêt croissant pour le courant alternatif en THT. Les capacités d'essais des traversées CCTHT et des valves CCHT<sup>1</sup> s'avéraient alors insuffisantes, tant en

termes de tension maximale que de distances d'isolement. Le temps manquait aussi pour tester ces équipements.

La nouvelle installation d'essais devait répondre aux futures attentes du transport électrique à 1 200 kV en alternatif et 1 000 kV en continu. Ces tensions réseau exigent une marge de sécurité aussi bien pour les essais de type que pour les essais aux limites. Même s'ils ne sont pas une obligation formelle, ces derniers aident à déterminer le risque de défaillance en régimes de tension nominale et de surtension de façon à prendre les mesures permettant de minimiser ce danger. En effet, une défaillance du transport THT a des conséquences désastreuses sur la disponibilité du système électrique et sa capacité à approvisionner des millions de personnes.

Ces exigences conditionnent les tensions d'essai maximales requises :

- CC : 2 000 kV
- CA : 1 700 kV
- Choc de manœuvre : 2 500 kV
- Choc de foudre : 3 600 kV

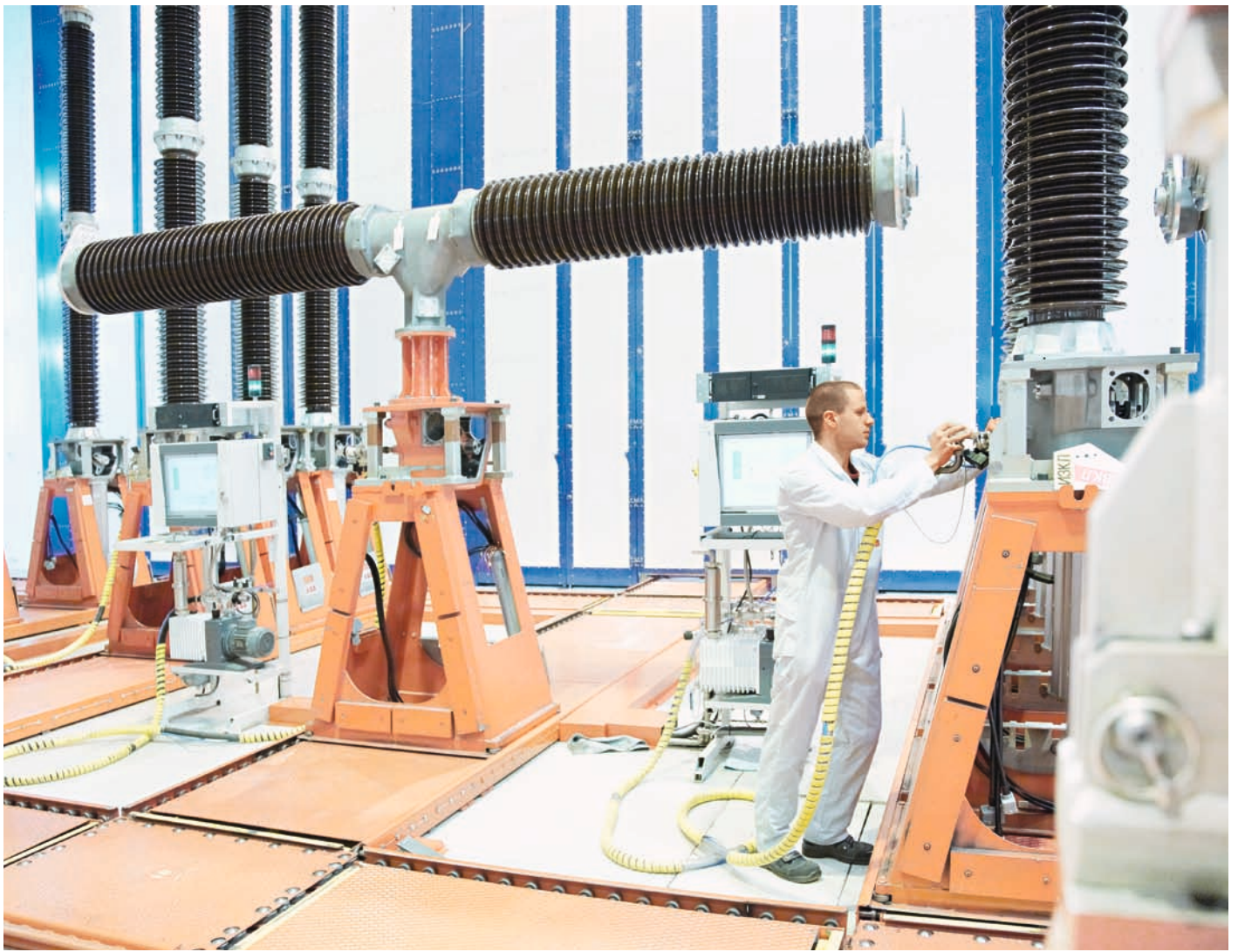
Compte tenu de ces valeurs, les caractéristiques dimensionnelles de l'installation furent données par :

- le type de contrainte diélectrique, la tension de tenue au choc de manœuvre ;
- la taille maximale escomptée d'une traversée murale de 1 000 kV CC ;
- les propriétés de tenue dans l'air, telles que définies par plusieurs experts dans le monde et compilées par le CIGRÉ.

Haut de 35 m, large de 40 m et long de 60 m, le centre « UHVen<sup>2</sup> » d'ABB est aujourd'hui l'installation d'essais CCTHT

---

Les essais HT, indispensables pour qualifier tout nouvel équipement, nécessitent des installations adéquates.



Une installation d'essais THT doit garantir que ses tests ne perturbent pas l'approvisionnement en électricité des clients, ni ne sont affectés par des défaillances externes au site.

la plus moderne au monde. Il peut aussi servir aux essais diélectriques des traversées CA et CC ainsi qu'au test des valves CCHT pour les systèmes électriques transportant les puissances assignées les plus élevées.

À ces niveaux de tension, un blindage adéquat est fondamental pour tout site d'essais THT ; les tests ne doivent pas

entraver la desserte des particuliers et des industriels de la région ni, en retour, être perturbés par des défaillances électriques externes à l'installation.

Les traversées soumises aux tests nécessitent un niveau de perturbation électrique ambiante d'environ 1 à 2 picocoulombs (pC) : il faut en effet vérifier qu'une traversée ne produit pas de décharges internes supérieures à 5 pC. Or cette condition est extrêmement difficile à satisfaire en configuration d'essai et à de tels niveaux de THT, sans blindage électrique approprié. Un blindage déficient ou insuffisant engendrera des couplages entre l'objet soumis à l'essai et les sources de tension qui agissent comme d'énormes antennes captant la moindre perturbation électrique de l'extérieur. Pour y remédier, une cage de Faraday est construite à l'intérieur du bâtiment externe. Bien que simple en théorie, le montage est délicat à réaliser pour un centre d'essais industriel de cette taille, abritant 3 engins de levage et quantité d'ouvertures. Ce hall faradisé est isolé électriquement de l'enveloppe du bâtiment par des

milliers de petits isolateurs et mis à la terre séparément à l'aide d'un treillis de pieux de 16 m de long, solidement ancrés dans le sous-sol rocheux du site. Opérationnel depuis mars 2009, le centre a été inauguré en juin 2009.

**Ralf Hartings**

**Thomas K. Larsson**

ABB Components

Ludvika (Suède)

ralf.hartings@se.abb.com

thomas.k.larsson@se.abb.com

#### Notes

- 1 Traversées et valves sont développées et fabriquées à Ludvika même ; les traversées CCTHT sont réalisées par ABB Components et les valves par ABB Power System, Grids. Sans cette nouvelle installation d'essais dédiée au CCTHT, ABB n'aurait pas été en mesure de remédier aux problèmes posés par le transport en courant continu à des tensions supérieures ou égales à 800 kV.
- 2 Contraction de l'anglais *UHV (Ultra High Voltage)* pour « très haute tension » et du suédois *uven* désignant le hibou, oiseau familier de la région de Dalarna où est implanté le centre.



# Arc Guard System™

Un garde-fou pour vos collaborateurs et votre activité

AHMED H. HASSAN, RICHARD PETERSSON WIGH – Chaque jour, les arcs électriques sont responsables de centaines de blessures ou de décès dans le monde. Or ces accidents ne sont pas le lot de pays dont les normes de sécurité sont insuffisantes; même les plus sévères en la matière n'y échappent pas. Selon les statistiques, en Amérique du Nord, un décès et plusieurs blessures par jour sont imputables aux accidents d'arc. En diminuant ce risque, le nouveau dispositif Arc Guard System™ TVOC-2 d'ABB protège vies et appareils dans le monde entier.



1a Sans protection



1b Avec Arc Guard System™ d'ABB

### Sécurité

La sécurité a toujours été primordiale pour les producteurs et distributeurs d'électricité. Le durcissement de la législation et de la réglementation a récemment mis en exergue son importance, poussant ABB à proposer le TVOC-2 et à encourager l'adoption de pratiques de travail sûres. Le TVOC-2 n'empêchera pas à lui seul les accidents mais en réduira significativement les conséquences.

Même si l'ancien système Arc Guard était déjà simple et fiable, les nouvelles fonctions du TVOC-2 offrent un supplément de flexibilité, sans sacrifier la fiabilité ni la simplicité.

Lorsqu'il s'agit de réduire les conséquences d'un défaut d'arc, chaque milliseconde compte : le TVOC-2 réagit en à

## Le nouvel Arc Guard TVOC-2 d'ABB, en réduisant les conséquences d'un arc, protège vies et appareils.

peine une milliseconde et ouvre les disjoncteurs avant la fin de la temporisation des protections classiques → 3.

D'une conception conforme au niveau d'intégrité de la sécurité SIL2, le système Arc Guard TVOC-2 est bien armé pour les applications d'aujourd'hui et de demain.

### Risques

Il n'est pas de jour sans que des défauts d'arc provoquent des centaines d'accidents graves, voire mortels.

Dans une usine, le choix des caractéristiques mécaniques et électriques du système, tout comme le respect de bons principes de manœuvre des équipements électriques, réduisent le risque d'accident. L'importance de la sécurité a conduit ABB à développer des appareillages de coupure anti-arc dont les caractéristiques mécaniques et les composants électriques diminuent à la fois le risque d'arc et ses conséquences.

Malheureusement, ces précautions ne suffisent pas à protéger le personnel, pour deux raisons :

- Les accidents se produisent majoritairement lorsque la porte de l'appareillage est ouverte, ce qui réduit l'efficacité de la protection mécanique ;
- La protection assurée par les disjoncteurs se base sur la détection des surintensités et réagit souvent avec un temps de retard.

### Avantages

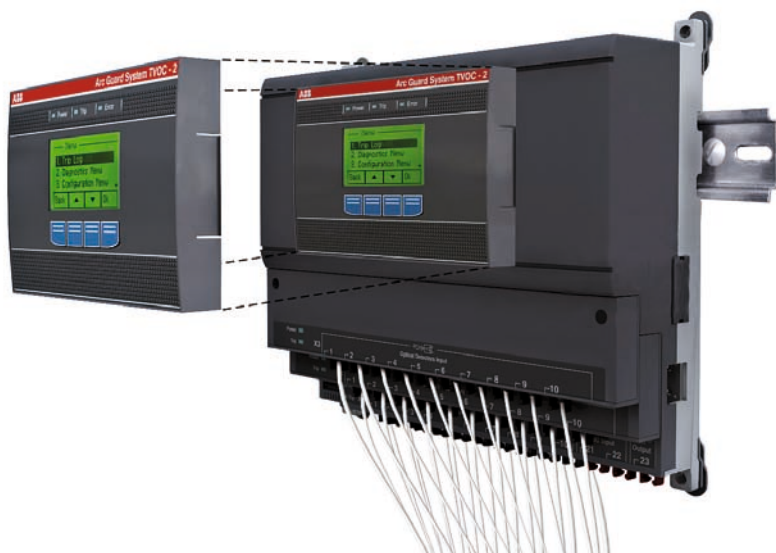
1 Le renforcement de la sécurité de l'appareillage sauve des vies et réduit les dommages matériels car le déclenchement de la protection est plus rapide et plus fiable ; les arrêts techniques sont aussi réduits au minimum, d'où un gain de temps et d'argent.

2 Le capteur ponctuel simplifie et accélère la localisation du défaut et le redémarrage de la production après accident.

**E**n plus de 35 ans d'existence, le système Arc Guard™ d'ABB est devenu le numéro un de la sécurité des appareillages de coupure. Il fait aujourd'hui partie intégrante de l'appareillage de coupure standard en Europe du Nord. Arc Guard System™ n'empêche pas le défaut d'arc mais réduit le danger pour l'opérateur et le matériel. Des facteurs externes comme la négligence ou l'erreur humaine sont la cause habituelle des défauts d'arc qu'il est impossible de prévoir ou d'éradiquer complètement. On peut par contre en limiter les dégâts. L'arc est habituellement amorcé par un court-circuit entre deux contacts ou plus ; en quelques centaines de millisecondes, la température interne peut atteindre 20000 °C et constituer une sérieuse menace pour le personnel et l'appareillage à proximité → 1a.

Cet appareillage étant utilisé partout (industrie, réseaux d'énergie, locaux commerciaux, hôpitaux, bateaux, etc.), ABB a voulu proposer une protection anti-arc qui se distingue tant par ses caractéristiques mécaniques que par le choix des composants électriques. Couplées au nouveau système Arc Guard TVOC-2, ces innovations réduiront le risque d'accidents liés à un arc et leurs conséquences → 1b.

## 2 TVOC-2 avec interface homme-machine montée sur la porte de l'armoire



3 Le TVOC-2 est guidé par un menu convivial et tous ses raccordements sont en face avant : l'accès à l'information est donc facile. Il affiche un journal des déclenchements horodatés, l'ouverture des disjoncteurs et bien d'autres fonctionnalités.

### Sécurité fonctionnelle

- Déclenchement plus rapide et plus fiable que la protection contre les courts-circuits ;
- Conception modulaire et évolutive de l'unité, facile à loger dans un espace réduit ;
- Interface homme-machine (IHM) sur la porte, plus pratique que le montage encastré et plus riche en informations → 2 ;
- Détection d'arc fiable ;
- Sécurité fonctionnelle SIL2 pour un produit fiable et à l'épreuve du temps.

### Points forts

- Capteurs à fibres optiques éliminant les perturbations électromagnétiques (CEM) provoquées par les câbles de détection ;
- Capteurs préfabriqués et étalonnés, de différentes longueurs, évitant les risques d'erreur de montage ;
- 10 capteurs en standard : la modularité de l'appareil permet d'aller jusqu'à 30 capteurs pour s'adapter aux besoins du client ;
- Simplicité et flexibilité du montage mural/sur profilé DIN ;
- Jusqu'à 2 IHM sur l'appareil et/ou externes, habituellement montées sur

la porte de l'armoire (facilité d'installation et d'accès) ;

- Architecture modulaire pour une extension aisée ;
- Détection du courant, si nécessaire ;
- Déclenchement sélectif avec possibilité d'ouvrir différents disjoncteurs selon les capteurs : limite le nombre de détecteurs d'arc nécessaires et simplifie l'exécution de l'appareil.

### Mission accomplie

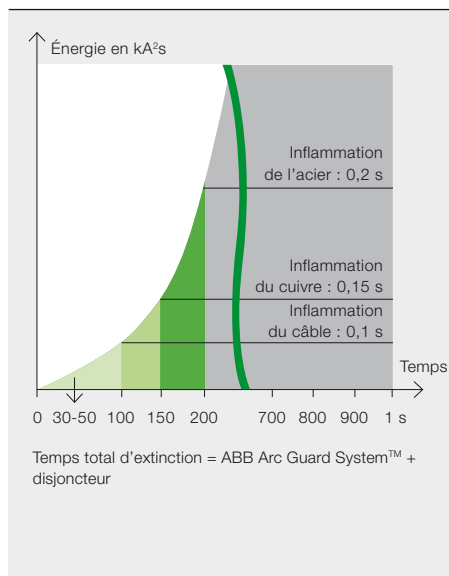
L'obtention de la certification SIL2 fut l'un des plus grands défis.

ABB dut revoir son concept d'origine ; toutes les tâches de sécurité sont maintenant réalisées par électronique classique, sans logiciel. Les microcontrôleurs remplissent la double fonction de diagnostic et de dialogue homme-machine.

Ces spécifications ont été déterminées à la suite d'entretiens avec des clients et des prospects, pour hiérarchiser les fonctions critiques et offrir une valeur ajoutée par rapport à la concurrence et au produit ABB d'ancienne génération.

Zaijun Hu, responsable sécurité au Centre de recherche d'ABB en Allemagne, a supervisé tout le travail sur la sécurité fonctionnelle.

## 3 Le TVOC-2 réagit en quelques millisecondes.



Le système Arc Guard™ d'ABB est devenu un acteur incontournable de la sécurité des appareillages de coupure.

## Dans le mille

### Fiabilité

- Certification SIL2
- Plus de 35 ans d'expérience avec les systèmes Arc Guard
- Capteurs optiques pré-étalonnés

### Flexibilité

- Possibilité de montage de l'IHM sur la porte
- Extension jusqu'à 30 capteurs optiques
- Configuration sur mesure

### Simplicité

- Menu de démarrage convivial
- Montage mural ou sur profilé DIN
- Facilité d'évolution en cas d'extension de l'appareillage

Les concepteurs du TVOC-2 ont mis l'accent sur la fiabilité, sans en négliger aucun aspect : pré-étalonnage des capteurs en usine, autosurveillance de la détection d'arc, etc.

Le niveau d'intégrité de la sécurité SIL2 du TVOC-2 ne laisse rien au hasard : cette conformité garantit en effet que le défaut d'un composant n'entraînera pas la défaillance d'une fonction de sécurité. Par exemple, certains condensateurs intègrent une redondance en cas de claquage d'un composant. De même, les fonctions vitales du système s'autosurveillent et signalent tout dysfonctionnement. Point

Les normes harmonisées fournissent des outils pour vérifier le respect de ces exigences ; la sécurité fonctionnelle est l'un d'eux, qui porte aussi sur la fiabilité. L'utilisation du TVOC-2, certifié SIL2 au titre des normes CEI 61508 et CEI 62061, garantit que la couverture du diagnostic répond aux exigences du niveau de sécurité, à savoir le degré de performance « d » de la norme EN ISO 13849-1. Arc Guard System élimine l'arc en un temps extrêmement bref et diminue son énergie de façon à minimiser les dégâts pour le personnel et l'équipement. L'emploi du TVOC-2 garantit aux clients la conformité aux exigences de sécurité les plus strictes. Par exemple, la norme américaine NFPA70E relative à l'installation sans danger des câbles et matériels électriques stipule qu'une analyse du risque d'amorçage est obligatoire pour protéger le personnel des risques de blessure causée par un amorçage d'arc ; elle doit déterminer la zone de protection anti-arc et l'équipement de protection individuelle que le personnel doit porter à l'intérieur de cette limite. Avec Arc Guard System, les calculs montrent que l'énergie de l'arc est ramenée à un niveau qui limite les besoins de protection supplémentaire. Notons que les exigences de sécurité fonctionnelle garantissent la fiabilité des valeurs utilisées dans ces analyses.

### Flexibilité

Par sa souplesse de conception, le TVOC-2 s'adapte à différentes tailles d'appareillages et de systèmes. L'objectif d'ABB est de fournir à ses clients ce dont ils ont réellement besoin. La configuration type à 10 capteurs convient à un appareillage de taille standard ; si le système évolue ou exige des capteurs supplémentaires, le client peut la porter à 30 capteurs en ajoutant simplement 2 modules d'extension à l'appareil. Le TVOC-2 se monte sur profilé DIN ou directement sur une paroi de l'armoire. De plus, l'IHM de paramétrage et d'exploitation peut être montée sur l'appareil lui-même ou sur la porte, voire sur les deux si nécessaire. Pour les besoins d'une application client, ABB a ajouté une fonctionnalité permettant de déclencher jusqu'à 3 disjoncteurs ; il est en effet possible de configurer le systè-

me pour qu'il déclenche des disjoncteurs différents selon l'endroit de l'appareillage où se produit l'arc.

### Simplicité

Les concepteurs du TVOC-2 ont surtout voulu en faire un appareil simple pour le client d'ABB et l'utilisateur final, en visant deux objectifs : faciliter la construction et l'installation du système, et minimiser le risque d'erreur. ABB a conçu le TVOC-2 comme une seule unité (à laquelle le client peut ajouter des capteurs), avec le moins de pièces possibles. Lors de l'installation, toutes les entrées/sorties, les capteurs et les réglages sont accessibles en face avant, pour une visibilité maximale et un risque d'erreur minimal. Le menu de l'IHM, convivial, guide l'utilisateur qui peut, par exemple, consulter le journal des déclenchements pour savoir quel capteur s'est déclenché à quel moment. Inutile d'ouvrir l'appareillage puisque l'IHM peut se monter sur la porte. Le TVOC-2 évolue avec les activités du client, qui bénéficie d'une souplesse inégalée : augmenter le nombre de modules de capteurs ou ajouter des composants ne prend que quelques minutes.

---

## Aujourd'hui, Arc Guard System™ fait partie intégrante de l'appareillage de coupure standard en Europe du Nord.

crucial : un microprocesseur gère la plupart des fonctionnalités supplémentaires mais aucune des fonctions de sécurité.

### Sécurité omniprésente

Notre monde veut des appareils sûrs et fiables ; cette évolution est aussi rapide qu'irréversible. La nouvelle directive Machines 2006/42/CE de l'Union européenne, par exemple, impose aux constructeurs de supprimer tous les risques sur la durée de vie prévisible de la machine, même en cas de mauvais usage.

Ahmed H. Hassan

Richard Petersson Wigh

ABB Low Voltage Products

Västerås (Suède)

ahmed.h.hassan@se.abb.com

richard.petersson-wigh@se.abb.com



# Le disjoncteur devient sectionneur

Les disjoncteurs-sectionneurs maximisent la disponibilité des postes à coupure dans l'air pour une moindre emprise au sol

HANS-ERIK OLOVSSON, CARL EJNAR SÖLVER, RICHARD THOMAS – Les progrès des disjoncteurs ont fait évoluer l'architecture des postes électriques. Auparavant, les disjoncteurs exigeant beaucoup de maintenance, on les entourait de sectionneurs pour pouvoir intervenir sans perturber les circuits voisins. Aujourd'hui, l'intervalle de maintenance de ces appareils dépasse 15 ans et la priorité est davantage donnée à la maintenance des lignes aériennes, transformateurs, induc-

tances, etc. Cette évolution a permis d'intégrer la fonction de sectionnement au disjoncteur, créant ainsi le « disjoncteur-sectionneur » (DS). Avec leurs contacts principaux dans le SF<sub>6</sub>, milieu protégé et non pollué, la fonction de sectionnement est extrêmement fiable, d'où une augmentation de l'intervalle de maintenance, une meilleure disponibilité du poste et une réduction de son emprise au sol d'environ 50 %.





---

Les progrès des disjoncteurs ont fait évoluer l'architecture des postes électriques.

Les progrès des disjoncteurs ont beaucoup simplifié leur maintenance tout en augmentant leur fiabilité. Pour des disjoncteurs modernes au SF<sub>6</sub>, l'intervalle entre deux opérations de maintenance nécessitant la mise hors tension du circuit primaire atteint désormais 15 ans, voire plus. Par contre, les sectionneurs à construction ouverte n'ont connu aucune évolution significative en matière de maintenance et de fiabilité pendant cette même période, l'accent ayant porté sur la réduction des coûts par l'optimisation des matériaux ; l'intervalle de maintenance de leurs contacts principaux est de l'ordre de 2 à 6 ans, selon l'usage et le niveau de pollution industrielle et/ou le milieu environnant (sable, salinité, etc.).

La fiabilité accrue des disjoncteurs découle des progrès de la coupure primaire : le disjoncteur à air comprimé, à petit volume d'huile ou au SF<sub>6</sub> à double pression a laissé place au SF<sub>6</sub> à simple pression. Dans le même temps, le nombre de chambres de coupure en série a dimi-

nué, si bien qu'il existe aujourd'hui des disjoncteurs à cuve sous tension de 300 kV à une seule chambre par pôle. La suppression des condensateurs de répartition de tension pour les disjoncteurs à deux chambres a encore simplifié le circuit primaire et donc amélioré la disponibilité. De nos jours, on trouve des disjoncteurs de tension jusqu'à 550 kV, sans condensateurs, ce qui autorise l'utilisation de DS jusqu'à ce niveau de tension. Les organes de manœuvre des disjoncteurs ont également progressé, les commandes à ressort, plus fiables et moins gourmandes en maintenance remplaçant leurs aînées pneumatiques ou hydrauliques → 1.

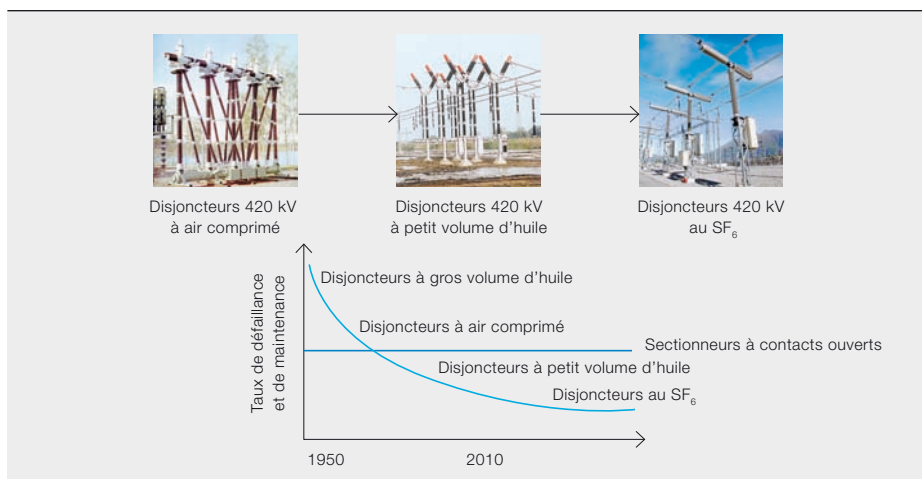
Traditionnellement, les postes étaient construits en « ceinturant » les disjonc-

teurs de sectionneurs pour permettre leur maintenance fréquente. Avec la forte réduction des taux de défaillance et de

---

L'évolution de la conception a permis d'intégrer la fonction de sectionnement au disjoncteur pour créer un nouveau dispositif : le disjoncteur-sectionneur.

maintenance des disjoncteurs, la fonction de sectionnement sert davantage aujourd'hui à la maintenance des lignes aériennes, des transformateurs de puissance, etc. Ce progrès, couplé aux problèmes de fiabilité que plusieurs grands comptes d'ABB rencontraient avec les sectionneurs à construction ouverte, a incité au développement conjoint du disjoncteur-sectionneur [1, 2, 3]. Cet appareil, qui combine les fonctions de cou-



## Le disjoncteur-sectionneur diminue nettement la maintenance des postes à coupure dans l'air et le risque de défaillance causée par la pollution.

pure et de sectionnement, diminue l'encombrement du poste électrique et renforce sa disponibilité [4]. Le premier DS a été installé en 2000; il existe aujourd'hui pour des niveaux de tension de 72,5 à 550 kV.

### Principes de conception

Dans un DS, les contacts de la chambre de coupure remplissent aussi, en position ouverte, la fonction de sectionneur. Le système de contacts s'apparente à celui d'un disjoncteur classique, sans tiges ni contacts supplémentaires → 2. Le DS est équipé d'isolateurs en caoutchouc de silicone et hydrophobes: à leur surface, l'eau condense en gouttelettes. Ils sont donc très performants en environnement pollué et le courant de fuite par les pôles en position ouverte est minime.

Le DS diminue significativement la maintenance des postes à coupure dans l'air et le risque de défaillance causée par la pollution. Le remplacement du tandem disjoncteur/sectionneur à construction ouverte par le DS améliore beaucoup la disponibilité des postes.

Le DS doit satisfaire aux normes en vigueur sur les disjoncteurs et les sectionneurs. En 2005, la CEI a publié une norme spécifique aux disjoncteurs-sectionneurs [5], dont un des chapitres est consacré aux essais des fonctions combinées. Il s'agit de vérifier que le DS conserve ses propriétés de sectionnement pendant toute sa durée de vie, malgré l'usure des contacts et les éventuels sous-produits de la dégradation causée par l'extinction de l'arc. Pour cela, le dispositif est d'abord soumis à



tous les essais mécaniques et de coupure, puis on s'assure qu'il répond aux exigences diélectriques d'un sectionneur.

Le DS existe pour des tensions assignées de 72,5 à 550 kV → 4. Environ 900 DS triphasés ont été commandés ou installés.

### Tous à terre!

Avant toute intervention de maintenance ou de réparation sur une partie d'un poste ou d'un réseau, il faut ouvrir un ou plusieurs sectionneurs pour l'isoler du reste du système. Les équipements isolés sont mis à la terre pour assurer la sécurité du personnel, suivant plusieurs méthodes:

- Emploi de sectionneurs traditionnels à coupure dans l'air: l'ouverture visible des contacts garantit la mise hors tension de ce tronçon de réseau isolé, qui est ensuite mis à la terre;
- Double verrouillage des DS en position ouverte avec fonction de sécurité intrinsèque: blocage électrique de la commande et verrouillage mécanique du système de couplage avec les contacts principaux. Le sectionneur de terre adjacent est ensuite fermé. La fermeture visible garantit que cette portion de réseau est hors tension et le personnel, hors de danger → 3.

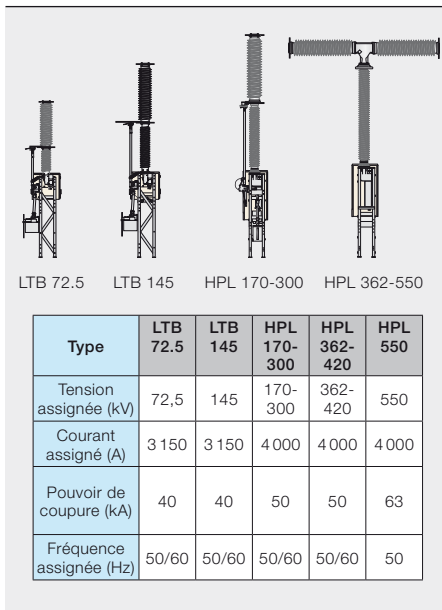
### Maintenance

Autrefois, la complexité des disjoncteurs exigeait une maintenance lourde, privilégiant l'isolement de ces appareils et le maintien en service des autres parties du poste. Et c'est précisément pour permettre la maintenance des disjoncteurs que les sectionneurs ont été introduits, il

### 3 DS de 145 kV avec transformateurs de courant intégrés et sectionneur de terre fermé



### 4 Gamme de disjoncteurs-sectionneurs

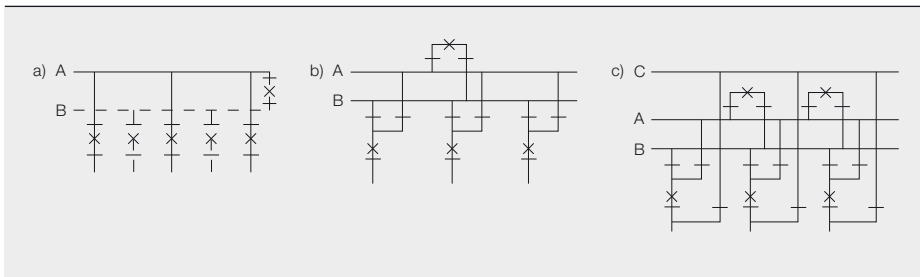


primaire entre le DS et le jeu de barres. Lorsque le DS est ainsi sectionné, il est possible de remettre sous tension les autres parties du poste tout en poursuivant l'intervention.

#### Défaillances

La fiabilité croissante du matériel électrique n'a pas fait totalement disparaître les défauts, même si la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF) augmente. Les défauts sont un processus stochastique : même avec un MTBF très long, ils peuvent survenir à n'importe quel moment et les clients d'ABB doivent intégrer cette éventualité à la conception du poste. L'élimination d'un défaut s'accompagne aussi d'un risque, certes faible, qu'un disjoncteur ne s'ouvre pas : des disjoncteurs de secours sont donc nécessaires.

### 5 Différents types de schémas unifilaires reposant sur l'exigence (aujourd'hui obsolète) d'une maintenance fréquente des disjoncteurs.



ya près d'un siècle. D'où le schéma unifilaire → 5 dans lequel les disjoncteurs étaient entourés de sectionneurs.

La figure → 6 présente une solution classique à double jeu de barres avec disjoncteurs et sectionneurs séparés, comparée à une solution à jeu de barres tronçonné avec DS, pour un poste de 132 kV doté de quatre lignes aériennes, deux transformateurs de puissance et un disjoncteur de couplage ou de tronçonnement. La seconde solution diminue de plus de 40 % la surface au sol de l'appareillage. Les durées d'indisponibilité d'une arrivée ou d'un départ pour maintenance de l'appareillage d'interruption sont données en → 7. Les intervalles de maintenance théoriques sont ceux recommandés par le constructeur, à savoir 5 ans pour les sectionneurs à construction ouverte et 15 ans pour les disjoncteurs et DS.

L'introduction du DS réduit ainsi la durée moyenne d'arrêt pour maintenance de 3,1 heures à 1,2 heure par an.

Cette réduction offre de nombreux avantages :

- Plus grande satisfaction des clients (la maintenance risquant d'entraîner chez certains une coupure d'alimentation, selon l'architecture du poste ou la topologie du réseau) ;
- Moindres menaces de perturbations du système électrique (pannes générales), le risque de défauts primaires étant plus important en maintenance (présence de personnel dans le poste) qu'en fonctionnement normal. Le réseau est en outre « fragilisé » puisque certains éléments ne fonctionnent pas ;
- Moindre coût de main d'œuvre de la maintenance sur site ;
- Sécurité renforcée du personnel (toute intervention sur le réseau haute tension du poste entraînant un risque potentiel de choc électrique, chute, etc.).

Le dispositif de sectionnement est un élément de l'appareillage prévu pour assurer l'ouverture rapide du raccordement

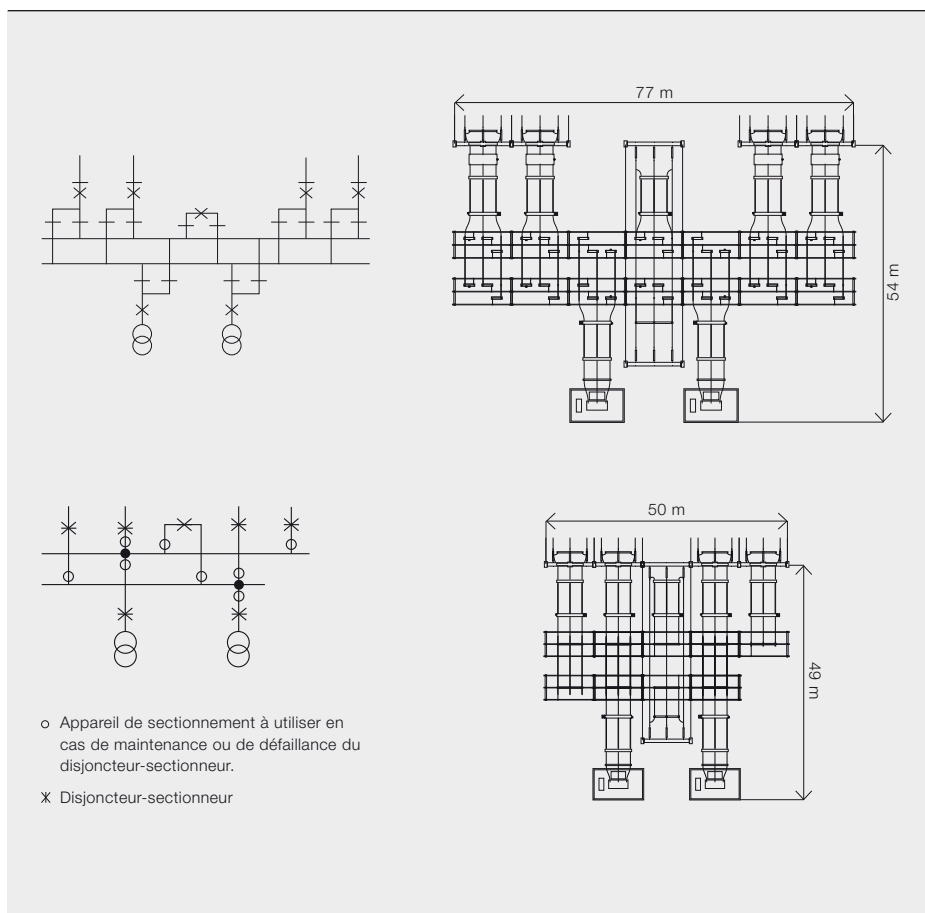
Sur le schéma unifilaire en → 6, un défaut primaire de l'un des éléments du départ, aggravé par la défaillance d'un disjoncteur de cette travée, mettrait hors tension un tronçon de jeu de barres ; une défaillance du disjoncteur de tronçonnement ou de couplage affecterait l'ensemble du poste. Si celui-ci est crucial, le risque de sa perte totale sur défaut primaire pourrait être inacceptable sous l'angle de la sécurité du réseau. Il est possible d'utiliser une configuration à 1½ disjoncteur (→ 8 haut) ou à 2 disjoncteurs

## Le disjoncteur-sectionneur réduit la surface au sol de l'appareillage de plus de 40 %.

(→ 8 bas) pour « immuniser » le poste contre les défauts sur le jeu de barres et minimiser les perturbations au cas où un disjoncteur ne s'ouvrirait pas sur un défaut primaire.

La figure → 9 compare le schéma unifilaire et les distances de dégagement d'une solution classique à disjoncteurs et sectionneurs, et d'une solution à DS, pour un poste type de 420 kV à trois lignes aériennes, deux transformateurs de puissance et une inductance shunt. L'utilisation de DS permet de réduire de

## 6 Schéma unifilaire et agencement des postes classiques 132 kV par rapport à ceux équipés de disjoncteurs-sectionneurs.



près de moitié la surface occupée par l'appareillage extérieur.

La figure → 10 présente les interruptions de service dans une travée d'arrivée ou de départ dues à des défauts de l'appareillage. La fréquence des défaillances est reprise des statistiques d'organismes internationaux comme le CIGRÉ ou le CEA qui collectent les données du maté-

entraîner des coupures d'alimentation que les clients jugent intolérables.

### Utilisation des disjoncteurs-sectionneurs

Les DS s'intègrent à la plupart des schémas classiques de poste et remplacent directement l'association disjoncteur/sectionneur. Ils diminuent nettement l'emprise au sol des postes, les besoins

de maintenance et les arrêts pour entretien ou travaux. Bref, ils améliorent la disponibilité, autorisant un schéma unifilaire plus simple avec le même niveau de disponibilité.

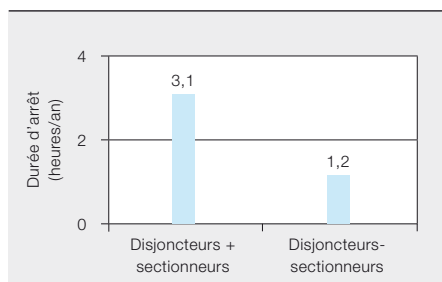
Les DS permettent aussi de réduire le

coût total d'investissement d'un poste (préparation du terrain, fondations, remblayage, etc.), variable d'un cas à l'autre. Les coûts d'exploitation baisseront également, grâce à la réduction des dépenses dues aux arrêts (généralement les plus élevées) et à la maintenance.

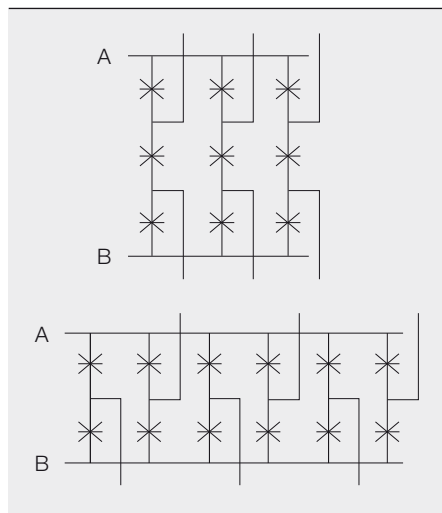
## Les disjoncteurs-sectionneurs réduisent la fréquence de maintenance et l'indisponibilité des postes, abaissant significativement leur coût d'investissement.

riel en service. Le DS étant très proche d'un disjoncteur classique, on suppose ces statistiques identiques pour les deux appareils. Il en ressort que l'introduction de DS diminue les temps d'indisponibilité de 50 %. Les défaillances intempestives peuvent être très problématiques et

## 7 Durée d'arrêt pour maintenance de l'appareillage 132 kV



## 8 Configurations unifilaires « immunisées » contre les défauts de jeu de barres.



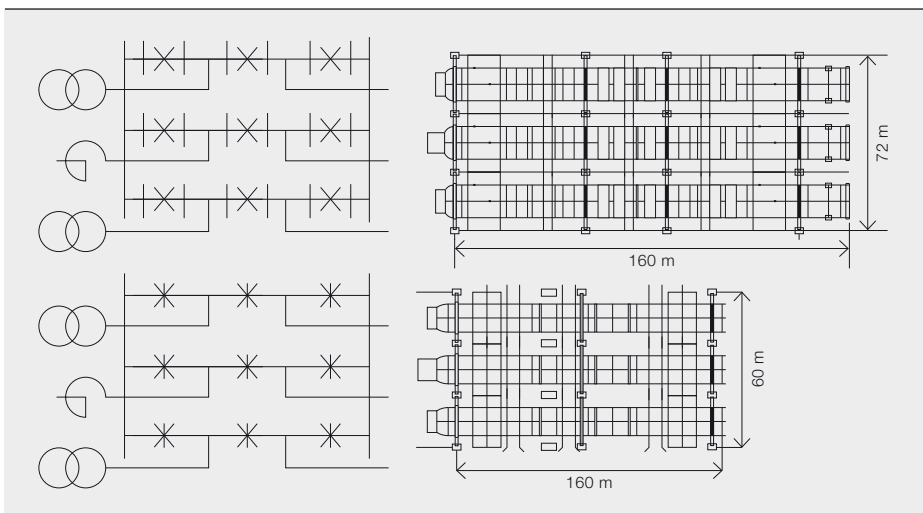
### Exemple 1 – Postes de 420 kV en Suède

Svenska Kraftnät (SvK) est le gestionnaire des réseaux de transport suédois 420 kV et 245 kV. Dans les années 1950, le réseau de 420 kV fut le premier au monde à atteindre ce niveau de tension. Aujourd'hui, il compte environ 70 postes électriques, la plupart en bout de course; SvK rénove donc complètement quelque 3 postes par an.

Cette modernisation implique le remplacement de la totalité du matériel primaire et secondaire, avec les avantages technico-économiques suivants :

- Tout l'équipement est du même « millésime », ce qui simplifie les interventions futures ;
- La configuration unifilaire peut s'adapter à l'évolution du matériel haute tension ainsi qu'à celle de l'importance du poste dans le réseau depuis sa construction ;
- Le temps d'arrêt peut être minimisé en utilisant le matériel existant pour assurer le fonctionnement du poste pendant la rénovation ;
- Le personnel de SvK peut se concentrer sur un petit nombre de projets de plus grande ampleur puisqu'il n'aura

## 9 Schéma unifilaire et agencement des postes classiques 420 kV par rapport aux postes à disjoncteurs-sectionneurs



pas à intervenir sur les postes modernisés pendant de nombreuses années.

Dès la fin des années 1970, il était clair que les sectionneurs à construction ouverte exigeaient beaucoup de maintenance par rapport aux disjoncteurs ; SvK avait d'ailleurs commencé à réduire leur nombre → 11b. Avec l'introduction des DS en 2000, SvK réalisa la première installation dans un poste de 245 kV pour tester le concept. Les premières modernisations de postes 420 kV avec DS ont

## Le disjoncteur-sectionneur est équipé d'isolateurs en caoutchouc de silicone.

débuté en 2001 ; depuis, les grands postes vitaux du réseau, en configuration à deux disjoncteurs, sont exclusivement équipés de DS → 11c. La configuration à un jeu de barres est aussi utilisée pour les plus petits postes de 245 kV. SvK enregistre de bons retours d'expérience avec les DS. Le passage d'une solution classique disjoncteur/sectionneur à celle avec DS diminue de près de moitié l'emprise au sol du poste, ce qui est un avantage aussi bien pour les postes neufs que rénovés → 12. Pendant les travaux, l'ancien matériel (rose) et l'ancien jeu de barres (rouge) continuent de fonctionner pendant que le nouveau matériel (vert) – notamment un second jeu de barres –,

est juxtaposé à l'ancien jeu de barres. Le faible encombrement des nouveaux éléments primaires permet de maintenir les trois pylônes existants (bleu) en place, d'où une réduction des coûts, des arrêts et des risques.

Après installation et essais, le nouveau matériel est mis en service. La modernisation du poste aura demandé moins d'une semaine !

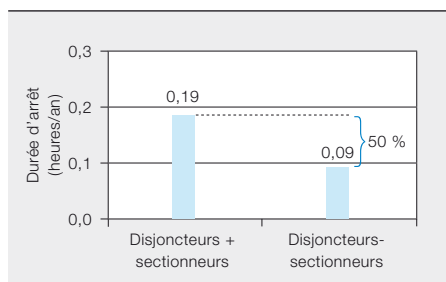
### Exemple 2 – Poste de 132 kV à Grytten

Le poste de Grytten, construit vers 1970, appartient au réseau régional du gestionnaire norvégien Statnett. Il présente une architecture classique à double jeu de barres → 5a et → 5b et jeu de barres de transfert → 5c.

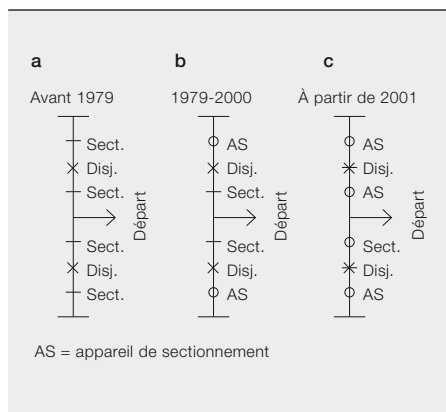
Le grand nombre de sectionneurs du poste compliquait les permutations. De plus, la maintenance des sectionneurs exigeant l'arrêt de portions entières du poste, la capacité de service était périodiquement réduite. Sur le calendrier de maintenance de Statnett, les sectionneurs avaient une durée de vie de 35 ans ; ceux de Grytten devaient donc être remplacés. Statnett en profita pour changer également l'équipement de contrôle-commande du poste.

Pour en simplifier l'agencement, Statnett introduisit des DS à un seul jeu de barres tronçonné. Il s'avéra que le jeu de barres de transfert existant pouvait servir de jeu de barres au nouveau poste : de bonne longueur, il occupait le meilleur emplacement qui soit ; il restait même assez de place pour le disjoncteur de tronçonnement. Le jeu de barres de transfert

## 10 Durée d'arrêt pour défauts primaires dans l'appareillage 400 kV



## 11 Évolution de la configuration à 2 disjoncteurs du réseau de transport suédois

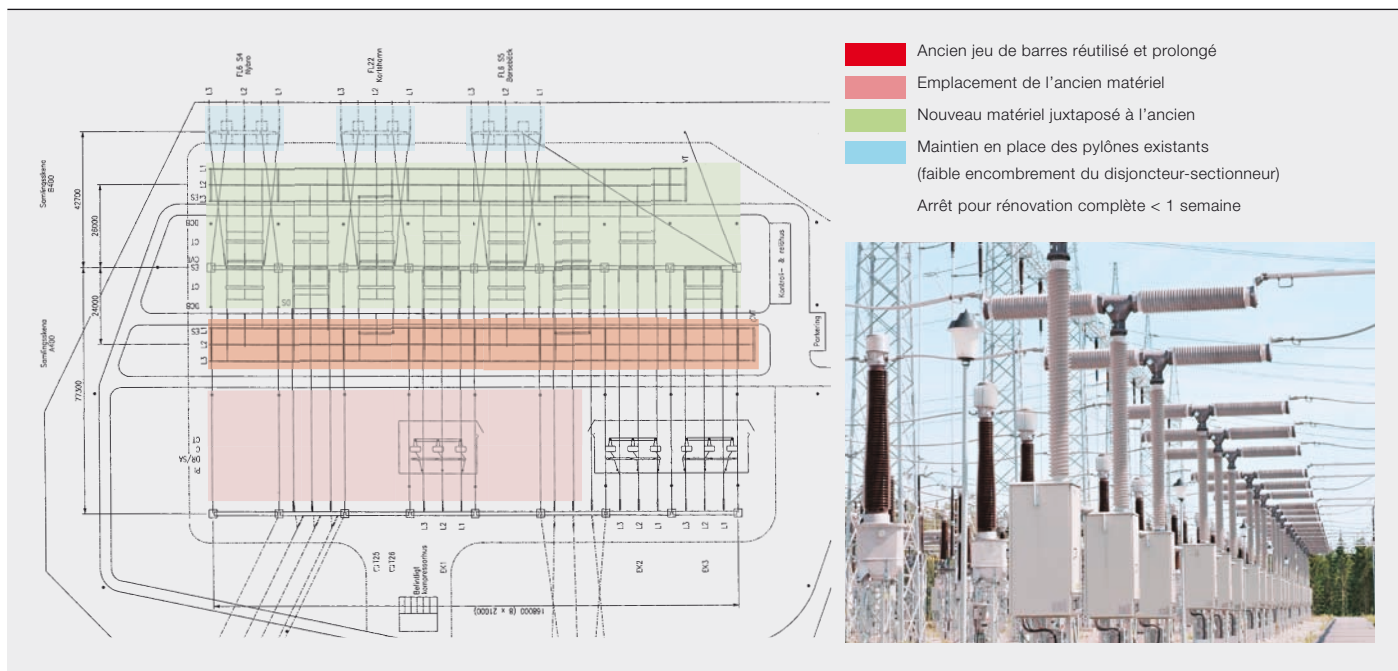


11a Solution avec appareillage traditionnel

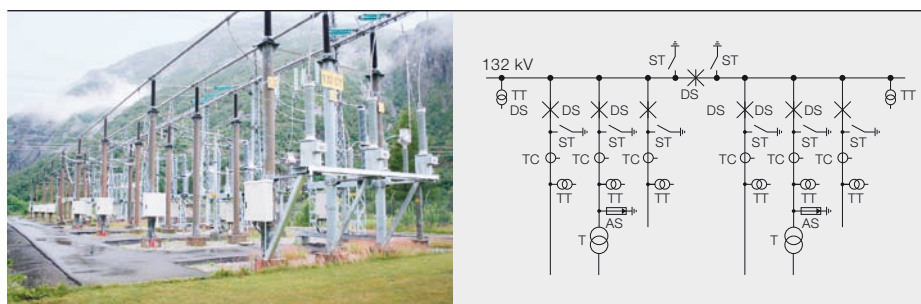
11b Version modifiée : sectionneur de jeu de barres retiré

11c Solution avec disjoncteur-sectionneur

Les contacts principaux des DS étant dans le SF<sub>6</sub> (environnement protégé et non pollué), le sectionnement est extrêmement fiable, d'où une augmentation de l'intervalle de maintenance et une plus grande disponibilité du poste.



13 Le poste de Grytten après rénovation



n'étant utilisé que pendant la maintenance du disjoncteur, son sectionnement du reste du poste n'affectait pas le fonctionnement. Les nouveaux dispositifs furent alors totalement assemblés, le raccordement des lignes et des transformateurs pouvant être planifié de manière à éviter toute interruption de service. La modernisation du poste s'est achevée en 2007.

**Hans-Erik Olovsson**  
 ABB Substations  
 Västerås (Suède)  
 hans-erik.olvsson@se.abb.com

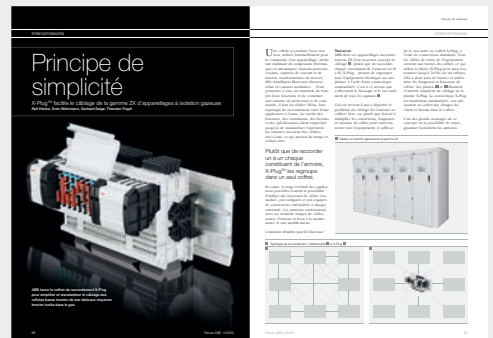
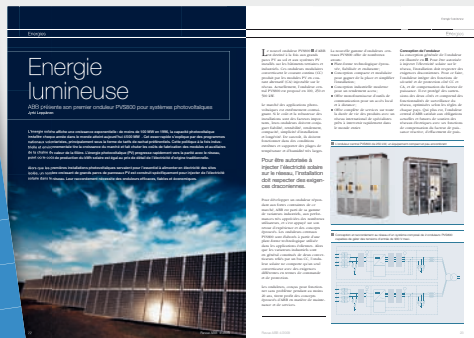
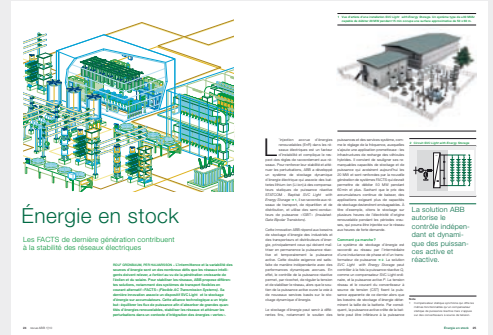
**Carl Ejnar Sölver**  
**Richard Thomas**  
 ABB Power Products  
 Ludvika (Suède)  
 carl-ejnar.solver@se.abb.com  
 richard.thomas@se.abb.com

**Bibliographie**

- [1] Wahlström, B., Aoshima, Y., Mino, Y., Lajoie-Mazenc, C., Torgerson, D. R., Zomers, A. N., « The Future Substation: a reflective approach », *Rapport 23-207*, Session CIGRÉ, Paris, 1996.
- [2] Norberg, P., Tapper, M., Lord, W., Engqvist, A., « The Future Substation – Reflection About Design », *Rapport 23-105*, Session CIGRÉ, Paris, 1998.
- [3] Sölver, C.-E., Olovsson, H.-E., Lord, W., Norberg, P., Lundquist, J., « Innovative Substations with High Availability using Switching Modules and Disconnecting Circuit-breakers », *Rapport 23-102*, Session CIGRÉ, Paris, 2000.
- [4] Jing, L., Olovsson, H.-E., Fan, J., Thomas, R., « Small footprint, high performance », *ABB Review Special Report Dancing with the Dragon*, 2008.
- [5] CEI 62271-108, *Disjoncteurs-sectionneurs à courant alternatif à haute tension, de tensions assignées supérieures ou égales à 72,5 kV*, 2005.
- [6] Andersson, P.-O., Olovsson, H.-E., Franzén, B., Lager, U., Lundquist, J., « Applications of disconnecting circuit-breakers », *Rapport A3-201*, Session CIGRÉ, Paris, 2004.

La fiabilité accrue des disjoncteurs est due aux progrès de la coupure primaire : le disjoncteur à air comprimé, à petit volume d'huile ou au SF<sub>6</sub> à double pression a laissé place au SF<sub>6</sub> à simple pression.

# Aidez-nous à améliorer la *Revue ABB* !



Vous n'êtes pas sans avoir remarqué que la *Revue ABB* avait été relookée pour mieux refléter la stratégie de marque du Groupe. Mais au-delà de la forme, nous sommes aussi très soucieux du fond. Réactions, critiques, suggestions... La *Revue ABB* donne la parole à ses lecteurs. Rendez-vous sur notre site [www.abb.com/abbreview](http://www.abb.com/abbreview) pour répondre à un court questionnaire en ligne. Vous avez jusqu'au 30 novembre pour gagner l'un des cinq prix symboliques de notre tirage au sort.





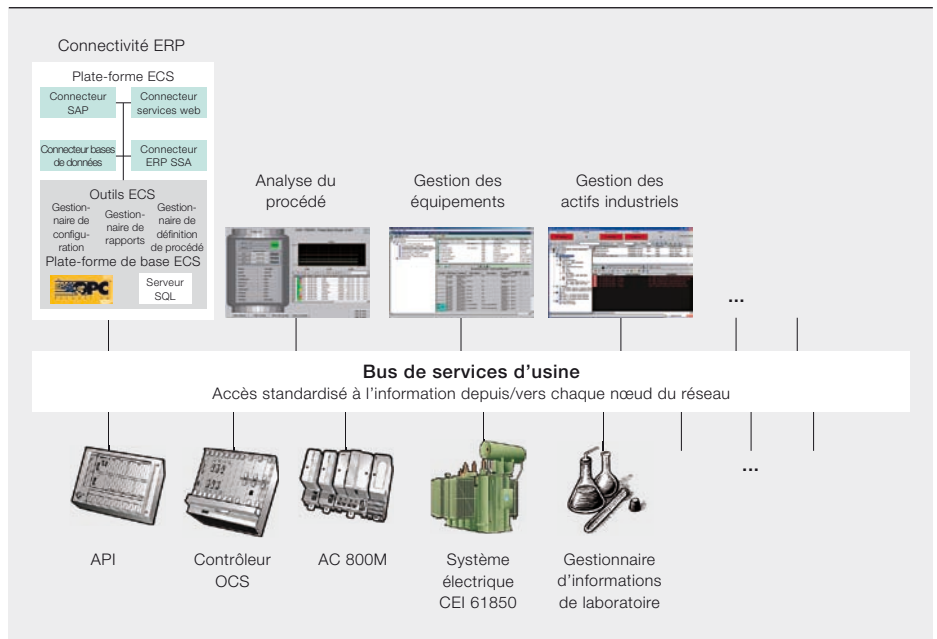




# Systemes collaboratifs d'automatisation des procedés

Systeme 800xA d'ABB :  
l'exemple parfait

MARTIN HOLLENDER, IIRO HARJUNKOSKI, ALEXANDER HORCH, ALF ISAKSSON, CHRISTIAN ZEIDLER – Les systemes de controle-commande qui automatisent et gèrent la production sont au cœur des industries de transformation. Ces reseaux interconnectent des capteurs, actionneurs, automates et calculateurs, souvent disséminés sur de vastes sites, pour aider les industriels à respecter les objectifs de sécurité, de rentabilité, de réduction des pertes et de stabilité de la qualité des produits. Ces trente dernières années, les innovations d'ABB ont considérablement amélioré la productivité industrielle en élargissant le périmètre des automatismes pour bâtir une plate-forme commune à toutes les tâches de l'usine, de l'ingénierie à l'optimisation des procédés en passant par la gestion des actifs.



Dans notre économie mondialisée, les sites industriels se livrent une concurrence planétaire. À terme, ne resteront dans la course que les unités aptes à optimiser en simultané la qualité, la disponibilité, la flexibilité et les coûts. La production doit en outre se plier à des réglementations de plus en plus complexes et omniprésentes. Or il suffit d'un incident pour entailler la réputation d'une entreprise incapable d'afficher une gestion proactive et systématique de la sécurité.

Un système collaboratif d'automatisation des procédés « CPAS » (*Collaborative Process Automation System*) se définit souvent comme un levier permettant d'unifier des systèmes naguère hétérogènes en vue d'atteindre l'excellence opérationnelle. Il affranchit le personnel de l'entreprise, de l'opérateur à la direction, des complexes flux, procédures et processus d'interaction avec de multiples systèmes pour évaluer la situation et accomplir ses tâches. Cet environnement de travail unifié favorise la collaboration et fédère les différents rôles fonctionnels pour cerner leurs exigences spécifiques au sein de la vision globale de l'usine. Le partage des données, des connaissances et des vues fonctionnelles permet à chaque processus métier de comprendre l'état opérationnel de l'atelier, les interdépendances

des différents acteurs et le rôle de chacun dans la démarche d'amélioration. C'est dans cette intégration que résident les fondements de l'« automatisation collaborative des procédés ».

L'automatisation industrielle, relayée par l'informatique, a près de 50 ans. Au fil des décennies, trois concepts ont façonné le contrôle-commande automatique de la production :

- Le « contrôle distribué », forgé par les procédés continus comme les raffineries ;
- L'« automate programmable industriel » (API), héritier de l'automatisation manufacturière ;
- La supervision et la conduite (SCADA), réservées aux procédés ou installations occupant de vastes étendues géographiques, tels les oléoducs et les réseaux d'énergie.

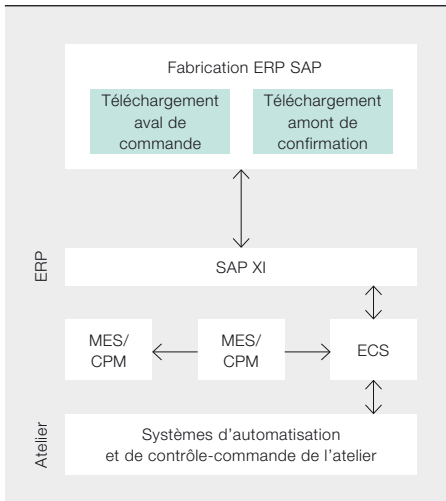
Hélas, faute de consensus, aucun de ces termes n'a pu prétendre à une définition consacrée ni à un usage cohérent. Ces dernières décennies ont vu ces systèmes progresser à un rythme soutenu et élargir leur champ d'action, au point que leurs versions *high tech* ne se contentent plus de cette terminologie désuète. Il faut de nouveaux vocables pour mieux caractériser et classer ces systèmes de pointe.

C'est au cabinet américain spécialiste de l'automatisation ARC Advisory Group, établi à Boston (Massachusetts), que l'on doit, en 2002, la « vision CPAS » [1] pour guider la planification, la sélection, le dé-

veloppement et l'exploitation de systèmes d'automatisation des procédés. Depuis, de nombreux fournisseurs d'automatismes ont commercialisé leurs systèmes de gestion collaborative de la production sous l'égide CPAS. Le CPAS d'ARC repose sur quatre piliers :

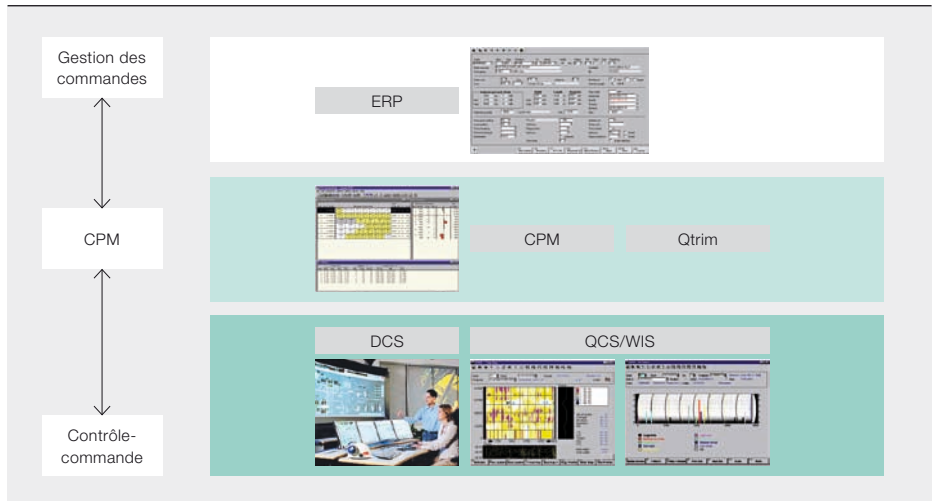
- l'amélioration continue de la performance industrielle ;
- une plate-forme commune manipulable ;
- une vérité universelle ;
- une infrastructure commune normalisée.

Une architecture CPAS doit soutenir ces principes. Un élément majeur du CPAS est son modèle objet unifié, support de solutions génériques réutilisables, qui permet l'intégration poussée des automatismes de marques et générations différentes, des appareils de terrain, des composants électriques (CEI 61850) et des interactions amont avec les systèmes de pilotage et de suivi temps réel « MES » (*Manufacturing Execution System*) ou de gestion intégrée « ERP » (*Enterprise Resource Planning*) de la production. La totalité de l'information pertinente en interne est mise à la disposition de l'ensemble des opérationnels. Tout l'édifice 800xA d'ABB, pour sa part, repose sur la très puissante technologie *Aspect Object™*. L'une des raisons qui poussa ABB à créer une architecture formelle débouchant sur un modèle objet commun fut la nécessité d'intégrer plusieurs lignes d'automates issues de différents segments et activités du Groupe. La plate-forme Aspect Object organise l'accès standardisé à l'information à destination ou en provenance de



chaque nœud du réseau. Elle s'apparente à un « bus de services d'usine » → 1, par analogie avec le « bus de services d'entreprise ESB » (*Enterprise Service Bus*) des architectures d'intégration d'applications informatiques. Elle constitue la base des capacités d'évolution transparente du système 800xA et permet la convergence d'univers jusque-là hétérogènes (automatisation du *process* et de l'énergie), sur fond de CEI 61850. Chaque fournisseur s'est focalisé sur des aspects différents de ce concept, certains ayant mieux réussi sa mise en œuvre que d'autres.

Les industriels ont dû optimiser la production pour satisfaire aux nouvelles règles de réduction de leur empreinte carbone. De nombreuses entreprises visionnaires veulent reproduire les meilleures pratiques sectorielles sur l'ensemble de leurs sites de production. De grands groupes sont allés loin dans la mise en



tion de solutions éprouvées recèle un fort potentiel d'économies tout en garantissant l'homogénéité et la qualité du produit.

Ainsi, un CPAS comme le 800xA dope effectivement et efficacement l'intégration verticale et horizontale de l'accès aux données et des fonctionnalités du système pour répondre à l'inflation des exigences. Après une présentation de cette plate-forme commune d'échange et de partage d'informations, nous évoquerons quatre exemples, parmi tant d'autres [2], de fonctionnalités indissociables du CPAS.

**Une infrastructure commune**

Les systèmes CPAS se caractérisent par une infrastructure commune, une transparence fonctionnelle, une concision logique et des bases normalisées ; des référentiels comme Ethernet, l'ISA 88 et l'ISA 95, ainsi que la CEI 61131 devraient être solidement intégrés au CPAS. De même, de

(l'un des créateurs du concept CPAS) avec ses « cinq fondamentaux » de la communication industrielle [1].

Dans le système 800xA d'ABB, chaque information échangée (mesure ou programme de production) peut être éditée sous la forme d'une propriété Aspect Object, accessible à tout le système, à partir de n'importe quelle application concernée, de manière uniforme, quelle qu'en soit l'origine. Il existe ainsi des fonctions de consultation autorisant un accès générique à l'information et l'emploi de solutions réutilisables. Le système 800xA fournit un environnement de diffusion automatique de l'information à tous les utilisateurs du système. Un serveur OPC externe, par exemple, peut être interrogé par tous les nœuds sans avoir besoin de savoir sur quelle machine il est implanté.

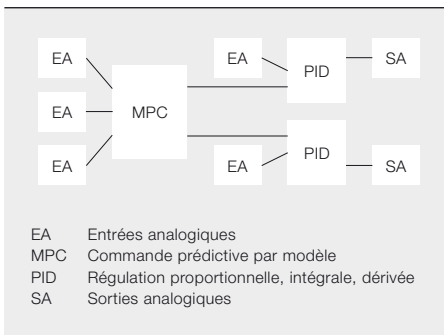
La technologie Aspect Object, inhérente au 800xA, est le socle de cette plate-forme unifiée ; elle permet à chaque processus de conserver les données dans son application source tout en l'associant à un actif de production. Il est ainsi possible d'accéder aux données directement à partir de leur source, dans le contexte de l'actif de production, sans se soucier de leur origine ni de leur intégrité et concordance. 800xA gère la méthode de « liaison tardive » ou *late binding* (interrogation de l'objet pour savoir s'il possède telle ou telle propriété au moment du chargement ou de l'exécution du programme, et non à la production du fichier exécutable) ; les données peuvent être référencées de façon abstraite et générique, sans obliger l'ingénieur à coder physiquement des noms de serveur spécifiques ou des emplacements d'entrées/sorties. Gage

## L'automatisation collaborative des procédés (CPAS) se définit comme une méthode permettant d'unifier des systèmes hétérogènes en vue d'atteindre l'excellence opérationnelle.

place d'une architecture CPAS qui permet la création de solutions indépendantes du contexte et applicables à un très large éventail de cas de figure. Cette réutilisa-

données, à savoir la possibilité de consulter toute l'information, dans toute l'entreprise, en toutes circonstances et de façon opportune, comme le prône Dave Woll

#### 4 Commande prédictive par modèle



de flexibilité, cette abstraction facilite la maintenance en cas de modification et constitue une base primordiale pour les solutions génériques, réutilisables dans de nombreux contextes distincts. Les concepts de « classe » de la programmation en C++ ou Java permettent de bâtir ces solutions génériques.

#### Intégration CPAS-ERP

La solution de connectivité d'entreprise *cpmPlus* de l'offre Industrial IT d'ABB rapproche les mondes de la gestion et de la production. Totalement évolutive, cette « ECS » (*Enterprise Connectivity Solution*) inclut la gestion des événements et des transactions, l'aide à l'enregistrement des erreurs et des applications, et au basculement des données, sans interruption de service, du composant informatique où elles se trouvent à un composant de secours. Les principales briques de cette architecture et leurs interactions sont résumées en → 2. ECS est en quelque sorte le courtier en information qui met en relation MES, contrôle-commande et ERP, via l'interface externe SAP XI de SAP<sup>1</sup>.

Cette intégration totale autorise plusieurs applications novatrices. L'une d'elles, associant données de qualité en ligne et données de planification/commandes clients hors ligne, est la solution transversale *qtrim* d'ABB, qui complète sa gestion de production totalement intégrée pour l'industrie papetière. Cette suite logicielle inclut le dernier cri du contrôle qualité « QCS » (*Quality Control Systems*) et de l'imagerie des défauts papetiers « WIS » (*Web Imaging Systems*).

La solution *qtrim* comprend un modèle mathématique [3] qui tient compte des profils de qualité de la bobine de papier

en continu (bobine mère) et des contraintes de la commande client associée à chaque bobineau (bobine fille) à découper. Elle fournit une représentation géométrique complète du problème de minimisation des chutes. Ce modèle peut produire des plans de découpe qui diminuent considérablement les pertes financières résultant de la non-qualité ; leur amélioration se traduit par une moindre consommation d'énergie et de matière avec diminution de l'empreinte environnementale, une plus grande fiabilité pour le client et, au final, une rentabilité accrue du fait de la baisse des coûts totaux de production.

La disponibilité des données est au centre de la solution. Lors de la fabrication du papier, les données de qualité sont collectées par le contrôle QCS qui balaye en continu la feuille. Des propriétés comme l'humidité, l'épaisseur et la blancheur sont fréquemment mesurées ; même une petite machine à papier peut compter plusieurs dizaines de milliers de points de mesure pour chaque paramètre de qualité de la bobine mère.

Les caméras haute vitesse du WIS traquent tous les défauts visuels (trous, fissures, plis) ; leurs images sont très bien analysées à l'aide de méthodes s'inspirant des réseaux neuronaux. Ces techniques rapides et fiables permettent de détecter et de classer précisément les défauts papetiers. La difficulté est dans la manipulation de masses de données dont il faut extraire l'information utile.

Ces systèmes très spécialisés étant totalement intégrés, la solution opère silencieusement, en arrière-plan, au plus grand bénéfice des clients. Il importe de rassembler le tout dans un environnement robuste et uniforme qui donnera les meilleurs résultats. Les composantes fonctionnelles de la solution et leur intégration sont schématisées en → 3. Les mesures des systèmes qualité QCS/WIS sont fournies avec les informations géométriques du contrôle-commande et les spécifications du client sont récupérées de la gestion des commandes et comparées à la qualité effectivement obtenue. Les positions potentielles de la bobine client sont calquées sur la bobine produite ; cette projection sert ensuite de « donnée brute » pour optimiser la découpe. L'information peut circuler dans tous les sens, au travers d'interfaces bien définies,

l'intelligence de la solution garantissant que la planification en cours est toujours en phase avec les données de qualité connues. Bref, cette solution inter-applicative intègre en continu tous les niveaux (ERP, gestion collaborative de la production « CPM », DCS) et contribue à l'optimisation, tant économique qu'écologique, de la production.

#### Commande avancée

Dans la hiérarchie des automatismes industriels normalisée ISA 95 [4], la commande avancée se définit comme la conduite coordonnée et optimisée d'une unité, d'un atelier ou d'un *process*.

En principe, elle englobe toutes les régulations en boucle fermée exploitant le retour automatique des signaux de mesure du procédé piloté ; plus élaborée et performante que la commande PID (à actions Proportionnelle, Intégrale et Dérivée) décentralisée, elle se confond plus ou moins, depuis quelques années, avec la commande prédictive par modèle « MPC » (*Model Predictive Control*).

La commande MPC est une régulation multivariable qui optimise la production à chaque nouvelle prise de mesures sur le procédé, le modèle servant de contrainte d'égalité. Son succès tient à une panoplie de propriétés inégalables ; en cours d'optimisation, la MPC prend en compte :

- les contraintes à la fois sur les variables manipulées et les variables prédites ;
- l'évolution anticipée des consignes.

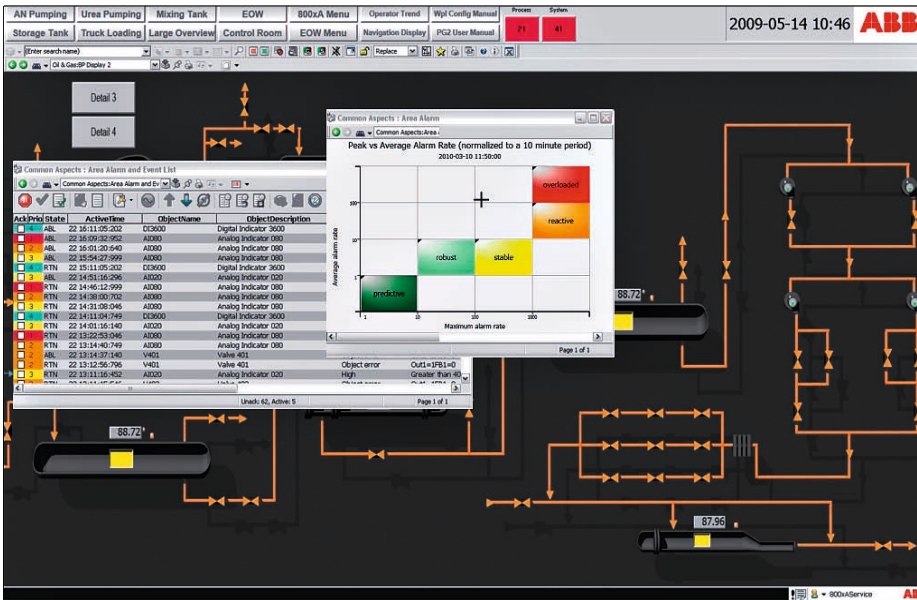
La MPC a toujours été implantée dans un ordinateur séparé du système de contrôle-commande mais communiquant avec ce dernier par OPC, par exemple. La sortie MPC est habituellement reliée à la consigne des régulateurs PID sous-jacents. Pourtant, on a beaucoup à gagner de l'intégration MPC-CPAS, surtout si la configuration peut s'effectuer par glisser-déposer, dans un éditeur CEI 61131. Une commande prédictive à trois variables de procédé délivrant deux variables manipulées à deux PID est schématisée en → 4.

Pour saisir l'intérêt du rapprochement MPC-CPAS, il faut savoir qu'une ligne de cette figure peut représenter un échange bidirectionnel d'informations : celle reliant la commande MPC à un régulateur PID, par exemple, transmet certes la consigne

#### Note

1 Numéro un mondial des éditeurs de progiciels de gestion intégrés

## 5 Un système d'alarmes toujours en progrès



au PID mais rapatrie aussi les informations suivantes à la MPC :

- Indicateurs logiques signalant la saturation ou non de la sortie PID (dépassement de seuil haut/bas) ;
- Mode de fonctionnement du PID (manuel/automatique) ;
- Utilisation par le PID d'une consigne externe (de la MPC, par ex.) ou interne (de l'opérateur, par ex.) ;
- Transmission de consigne interne au PID comme à la MPC.

Toutes ces informations sont indispensables pour bien prendre en compte l'état du PID lors de l'optimisation.

En intégrant ce pilotage temps réel au CPAS, la conduite peut bénéficier de secours automatiques, de reprise automatique sur redémarrage du CPAS, de possibilité de redondance, etc. L'optimisation peut toutefois rester sur un serveur PC appartenant au CPAS. L'exécution de la solution dans un automate programmable a aussi ses avantages, dont une plus grande rapidité et sécurité de transmission.

### Gestion des actifs

La gestion des actifs industriels «PAM» (*Plant Asset Management*) est une tâche pluridisciplinaire qui englobe processus organisationnels et structurels, et touche à plusieurs aspects de la gestion des opérations, de la maintenance et de la production.

De récentes recommandations NAMUR et VDI/VDE (GMA) [5, 6] ont établi une dé-

finition largement partagée et intelligible de la gestion des actifs de production PAM. Les fonctions correspondantes ont été décrites dans une plate-forme modélisée commune, qui repose sur trois principaux éléments : la surveillance des actifs, le traitement de l'information et sa gestion. Chacun de ces domaines peut représenter des fonctionnalités complexes selon que l'on vise un système PAM complet ou une seule fonction.

La mise en œuvre de la PAM au sein du CPAS bénéficie de propriétés collaboratives évidentes, déjà évoquées dans cet article. L'un des grands atouts du CPAS est sa facilité de connexion avec une grande variété de sources de données. La gestion PAM s'appuie beaucoup sur cette connectivité pour recevoir quantité d'informations : données process en temps réel, historiques des actifs, topologie de l'usine, données économiques, interventions de maintenance, etc.

Ces informations, mises à disposition de la PAM, forment le bagage de connaissances nécessaire à la surveillance des actifs, c'est-à-dire à la supervision et à l'analyse des équipements vitaux pour la production (réacteurs, échangeurs thermiques, etc.). Cette fonction doit héberger des algorithmes à la fois simples et complexes pour faire face au grand nombre varié d'actifs à contrôler, tant sous l'angle de la performance (hausse de la consommation d'énergie et de matière du fait de la dégradation ou contre-performance de certains actifs en production) que du suivi d'état (identification des

mauvaises conditions d'exploitation, diagnostic et prédiction des défauts correspondants).

La gestion des actifs industriels a souvent déçu car elle tend à générer un grand nombre d'alertes imputables à des actifs non critiques. Pour produire des informations utiles, il faut une puissante agrégation et consolidation des données élémentaires de la surveillance d'actifs ; un objectif réalisable uniquement si les données topologiques de l'usine sont utilisées conjointement avec les résultats de la surveillance d'actifs et l'historique de maintenance. Cette procédure est bien supportée par une architecture CPAS permettant un accès simple et souple à différentes sortes d'informations multi-sources.

Le troisième volet de la gestion PAM est la fourniture d'informations spécifiques à l'utilisateur. Compte tenu de l'unicité et de l'accessibilité de l'information, différents utilisateurs peuvent exploiter le système à leur avantage, en fonction de leurs exigences. Les impératifs de l'opérateur ne sont pas ceux de l'agent de maintenance ; chaque information répond donc à des besoins particuliers. L'intégration de la PAM dans des applications couvrant toute l'entreprise, comme la gestion de la maintenance assistée par ordinateur, passe par l'usage cohérent des normes d'intégration verticale. N'importe quelle information de maintenance peut ainsi efficacement remonter tous les échelons de la pyramide industrielle, de l'atelier à la direction.

### Gestion d'alarmes

À l'origine, le terme « alarme » désignait un événement important exigeant une réaction urgente. Pour autant, dans les usines modernes, nombreuses sont les présumées alarmes à ne plus rien signifier pour l'exploitant. Cette dernière décennie, il est devenu clair que la multiplication des systèmes automatisés engendre une telle surabondance d'alarmes parasites que l'opérateur, saturé, n'est plus capable d'y répondre. Dans la plupart des cas, cette perte de sens entraîne une baisse de la vigilance et de la confiance dans le système d'alerte. Même des alarmes importantes sont ignorées ou négligées dans le flot de signaux parasites. Résultat : bien des systèmes d'alarmes de mauvaise qualité ne sont pas d'un grand secours pour l'opérateur. Les recommandations



EEMUA 191 et ISA 18.2 formalisent la conception des systèmes d'alarmes. Les médiocres performances de nombreux systèmes d'automatisation en matière d'alarme sont en grande partie dues au fait qu'une bonne configuration des alertes nécessite beaucoup d'expérience et d'effort. Le coût élevé de l'investissement en amont a dans certains cas empêché l'amélioration de ces configurations. Parfois, faute d'expérience acquise sur le terrain, l'information nécessaire à une configuration parfaite n'est pas au rendez-vous.

Certaines entreprises affichent de bons résultats dans leur démarche d'amélioration continue avec un personnel opérationnel surveillant en continu la qualité du système d'alarme. 800xA soutient cette démarche de progrès en procurant des outils de surveillance faciles à configurer et pleinement intégrés dans l'environnement de l'opérateur. Lors de réunions régulières, les équipes de production ont accès à des rapports préconfigurés de gestion d'alarmes, qui les aident à pointer les problèmes les plus urgents. Dans cette optique, une alarme est toujours un appel à régler un dysfonctionnement, réparer un composant défectueux ou encore reconfigurer une alarme qui ne donne pas satisfaction. En fait, une usine en parfait état de marche ne devrait déclencher aucune alarme! → 5.

Ce type de gestion *non stop* des alarmes assure une « veille sanitaire » du site. C'est une bonne illustration des apports du 800xA à la culture d'amélioration continue du CPAS.

### Nouveaux défis

Les solutions CPAS modernes, comme le système 800xA d'ABB, aident les industriels à conforter leur compétitivité avec le meilleur de l'automatisation de process. Les ambitions du CPAS étant très vastes, il reste encore beaucoup de chemin à parcourir pour voir les systèmes d'automatisation porter à 100 % cette vision. L'ISA a publié sur le sujet un ouvrage (cf. <http://isa.org/cpas>) dont l'auteur, Martin Hollender, est un collaborateur d'ABB → 6. Il aborde les aspects modernes du CPAS comme la sécurité, la programmation de la logique de conduite, l'efficacité opérationnelle, etc. Dave Woll a aussi contribué à un chapitre décrivant la vision originale du CPAS d'ARC.

ARC développe aujourd'hui une nouvelle version CPAS numérotée 2.0 [7], qui fait la part belle à la technologie OPC-UA [8]. Dans un premier temps, OPC-UA se substituera aux standards classiques OPC. Fini le cauchemar de certains systèmes achoppant sur DCOM; OPC pourra équiper des systèmes dépourvus de Microsoft Windows, comme les nombreux appareils de terrain communicants. Dans un deuxième temps, l'emploi de modèles d'information normalisés – spécification DI (*Device Integration*) pour les équipements –, jettera les bases de fonctionnalités plus génériques, sans avoir à spécifier différemment le moindre petit détail de chaque système. Le processus complet des systèmes d'automatisation manufacturière peut encore être mieux spécifié avec *AutomationML* [9], et leurs interactions et échanges décrits avec un langage XML spécifique au domaine. Citons l'exemple des fonctions de supervision de boucles et de gestion d'actifs dont la description, à un niveau d'abstraction élevé, vaut ensuite pour tous les systèmes connectés, quel que soit le fournisseur ou la génération technologique. Avec la baisse de prix des matériels et la montée en puissance des bus de terrain numériques, il y a de moins en moins de raisons de centraliser l'exécution des algorithmes de régulation. En complétant la norme CEI 61131 avec la programmation objet distribuée et événementielle des procédés, la CEI 61499 est une sérieuse postu-

lante aux scénarios de contrôle-commande véritablement décentralisés. De même, le projet FDI [10] harmonisera et unifiera l'outil FDT (*Field Device Tool*) d'exploitation des fichiers numériques d'équipements et les langages universels de description comme EDDL (*Electronic Device Description Language*). Cette architecture commune facilitera l'accès aux fonctionnalités évoluées de l'instrumentation de process moderne, comme l'étalonnage et le diagnostic. Mais l'avenir du CPAS ne s'arrête pas là; d'autres fonctions sont prévues comme l'intégration forte des systèmes de télécommunication, de gestion des flux de travail et de surveillance vidéo.

**Martin Hollender**

**Jiro Harjunoski**

**Alexander Horch**

**Christian Zeidler**

ABB Corporate Research

Ladenburg (Allemagne)

[martin.hollender@de.abb.com](mailto:martin.hollender@de.abb.com)

[jiro.harjunoski@de.abb.com](mailto:jiro.harjunoski@de.abb.com)

[alexander.horch@de.abb.com](mailto:alexander.horch@de.abb.com)

[christian.zeidler@de.abb.com](mailto:christian.zeidler@de.abb.com)

**Alf Isaksson**

ABB Corporate Research

Västerås (Suède)

[alf.isaksson@se.abb.com](mailto:alf.isaksson@se.abb.com)

### Bibliographie

- [1] Woll, D., Caro, D., Hill, D., *Collaborative process automation systems of the future*, Automation Research Corporation, Boston, [arcweb.com](http://arcweb.com), 2002.
- [2] Hollender, M., *Collaborative process automation systems*, ISA, North Carolina, 2009.
- [3] Harjunoski, J., Sännevirta, S., « Coupe franche – Optimiser la découpe des bobines de papier pour gagner en rentabilité », *Revue ABB*, 4/2006, p. 53–58.
- [4] ANSI/ISA-95.00.01, *Enterprise-control system integration Part I: Models and Terminology*, American National Standard, 2000.
- [5] VDI/VDE, *Plant Asset Management (PAM) in the process industry – Definition, model, task, benefit*, VDI/VDE Guideline No. 2651, 2008.
- [6] NAMUR, *Recommendation NE 129, Plant Asset Management*, 2009.
- [7] Woll, D., « Time to Rethink Process Automation Systems (CPAS 2.0) », *ARC Forum 2010*, Orlando, Floride, 2009.
- [8] [11] Mahnke, W., Leitner, S.-H., Damm, M., *OPC Unified Architecture*, Springer, Berlin, 2009.
- [9] Drath, R., « Three-View-Concept for modeling process or manufacturing plants with AutomationML », *ETFA 2009*, Majorque, Espagne, 2010.
- [10] Grossmann D., John, D., Laubenstein, A. *EDDL Harmonisierung*, ATP-edition, 2009.

## Rédaction

### Peter Terwiesch

Chief Technology Officer  
Group R&D and Technology

### Clarissa Haller

Head of Corporate Communications

### Ron Popper

Manager of Sustainability Affairs

### Axel Kuhr

Head of Group Account Management

### Friedrich Pinnekamp

Vice President, Corporate Strategy

### Andreas Moglestue

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

## Édition

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

ABB Asea Brown Boveri Ltd.

ABB Review/REV

CH-8050 Zürich

Suisse

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

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

Édition et droits d'auteur ©2010

ABB Asea Brown Boveri Ltd.

Zurich (Suisse)

## Impression

Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH  
AT-6850 Dornbirn (Autriche)

## Maquette

DAVILLA Werbeagentur GmbH  
AT-6900 Bregenz (Autriche)

## Traduction française

Dominique Helies  
dhelies@wanadoo.fr

## Avertissement

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

ISSN: 1013-3119

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



Dans le numéro 4/2010

# Productivité : parée pour la manœuvre

Pour l'utilisateur, la meilleure technologie est celle qui sait se faire oublier à l'usage : elle accomplit les tâches qui lui sont dévolues sans qu'on y prête gare. Et quand il faut intervenir, elle privilégie le préventif au curatif.

La robustesse d'une installation peut être accrue en améliorant sa « tolérance » aux perturbations, erreurs et imprévus. On peut agir sur la conception globale du système pour le rendre à la fois plus souple et résilient, mais aussi le doter d'un supplément d'« intelligence ». Des fonctions d'autodiagnostic et de télé-diagnostic nous renseignent sur l'état d'un équipement : de réactive, la maintenance devient proactive.

L'interface homme-machine est un autre facteur de productivité. Les systèmes de contrôle-commande et d'automatisation collectent et traitent une quantité impressionnante de données. Reste qu'il ne faut pas confondre donnée *brute* et information *exploitable*. Permettre à l'opérateur de prendre la meilleure décision, en toutes circonstances, impose de lui fournir une information de qualité.

Autre évolution : jusqu'à présent, la 4<sup>ème</sup> Revue ABB de l'année faisait le point sur les innovations marquantes du Groupe. Ce sera désormais la trame du 1<sup>er</sup> numéro de l'année. En attendant, nous clôturerons 2010 avec les domaines et applications dans lesquels ABB fait levier de productivité.



## Accroître l'efficacité énergétique de 25 % ?

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

Absolument.