

review

Performance
à toute épreuve

04|2017 fr



-
- 06–25 Performance à toute épreuve
 - 26–49 L'ingéniosité en action
 - 50–65 Mouvement perpétuel



14

Échangeur de chaleur à thermosiphon (COTHEX)



Cinquante ans de recherche ABB en Suisse



36

AEP gère ses actifs avec le centre de services AHC d'ABB

Convertisseur modulaire multiniveau

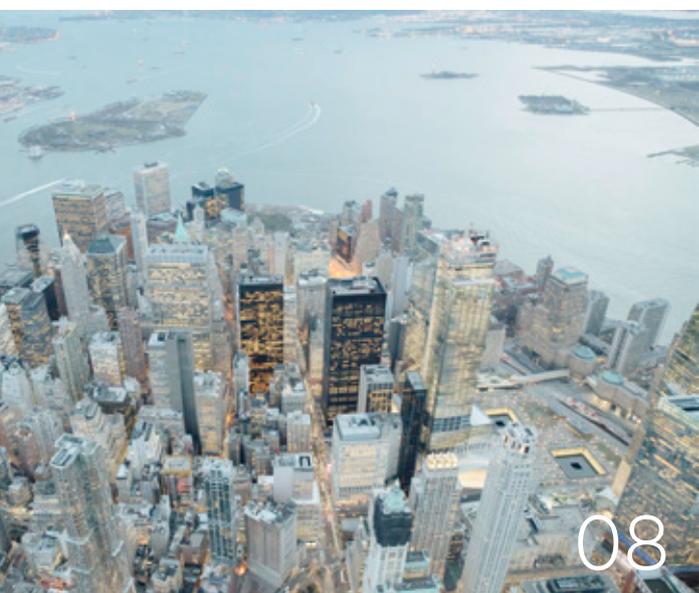


42





Poste numérique ABB Ability™



05 **Éditorial**

Performance à toute épreuve

- 08 Poste numérique ABB Ability™
- 14 Échangeur de chaleur à thermosiphon
- 22 Unipack-G, poste de l'extrême

L'ingéniosité en action

- 28 Automatisation industrielle
- 36 Centre de services AHC
- 42 Convertisseur modulaire multiniveau

Mouvement perpétuel

- 52 Cinquante ans de recherche en Suisse
- 64 Un sans-fil d'avance
- 65 La physique atomique en 1941

Le mot du moment

- 66 Intelligence artificielle

-
- 67 Publication ABB

-
- 68 Index 2017

Qu'elles découlent de conditions structurelles (site isolé ou soumis à de fortes contraintes) ou ponctuelles (pic de demande ou aléa météo), les situations extrêmes constituent la meilleure mise à l'épreuve de la fiabilité d'un équipement essentiel. ABB fournit du matériel, de l'expertise et des solutions connectées à même de garantir la performance du système, en toutes circonstances. Ce numéro d'ABB Review met en lumière quelques-uns de ces projets et s'intéresse à la façon dont ils peuvent aider les clients du Groupe au quotidien.

Nous restons à l'écoute de vos suggestions sur abb.com/abbreview.

ÉDITORIAL

Performance à toute épreuve



Chers lecteurs,

Le bilan de l'ouragan Sandy qui s'est abattu sur New York en 2012 a été particulièrement lourd : des centaines de victimes et plusieurs dizaines de milliards de dommages. La crue a notamment endommagé les équipements de l'énergéticien Con Edison qui a fait appel à ABB pour non seulement rétablir à l'identique la configuration antérieure, mais aussi augmenter la résilience de ses infrastructures aux futurs changements climatiques. ABB a proposé une approche en deux volets, avec amélioration de la conception matérielle et numérisation des postes électriques. Des fonctionnalités de connectivité et de diagnostic pointues assurent la supervision en temps normal ; en cas d'événement exceptionnel, elles autorisent la reconfiguration de l'équipement et l'envoi d'équipes d'intervention.

Ce numéro d'ABB Review s'intéresse aux produits et solutions ABB conçus pour fonctionner en situation extrême, dont le poste numérique de Con Edison est un excellent exemple.

Bonne lecture,

A handwritten signature in red ink, appearing to read 'Bazmi Husain', written in a cursive style.

Bazmi Husain
Directeur des technologies



Performan

à toute ép





Lorsqu'un ouragan menace ou met à mal la fourniture électrique, il ne s'agit pas seulement de prévoir mais de comprendre ce à quoi s'attendre. ABB dispose des technologies physiques et numériques qui lui permettent d'anticiper les événements et d'assurer une performance optimale quelle que soit la situation.

- 08 Poste numérique ABB Ability™
- 14 Échangeur de chaleur à thermosiphon (COTHEX)
- 22 Unipack-G, poste de l'extrême

reuve



PERFORMANCE À TOUTE ÉPREUVE

Braver la tempête avec le poste numérique ABB Ability™

Quand la météo se déchaîne, il faut des réseaux de distribution électrique suffisamment résistants pour permettre aux forces d'intervention de rétablir le courant et l'activité au plus vite. C'est pour assurer cette « résilience » que l'énergéticien américain Con Edison a décidé de remplacer ses appareillages par des postes numériques de technologie ABB Ability.



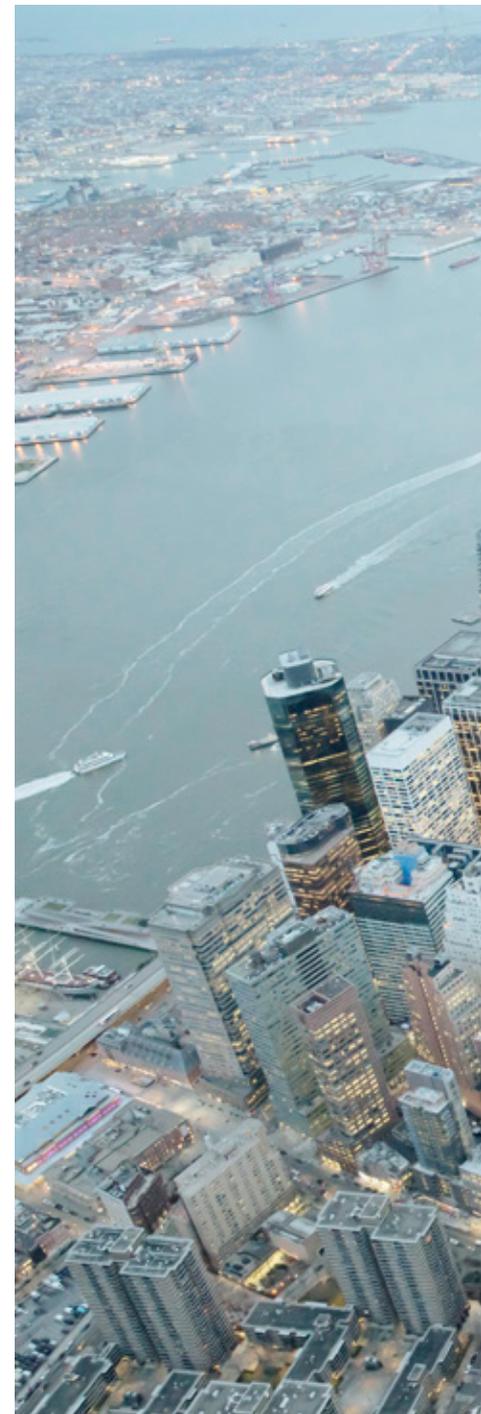
Gerhard Salge
ABB Power Grids
Zurich (Suisse)

gerhard.salge@ch.abb.com

L'ouragan Sandy qui s'est abattu sur New York en 2012 a provoqué une montée des eaux de 3,38 mètres, un événement climatique exceptionnel censé se produire tous les 260 ans [1] et un record de houle cyclonique depuis les premiers relevés datant de 1700 →1.

En frappant de plein fouet New York en 2012, l'ouragan Sandy a provoqué une crue exceptionnelle, censée se produire tous les 260 ans.

Au-delà de la mégapole, la baie de New York compte trois autres pôles urbains, Newark, Jersey City et Hoboken, ainsi qu'un chapelet de petites villes côtières. Ce sont ainsi quelque 21 millions de citoyens qui disposent d'infrastructures à la hauteur d'une agglomération constituant le cœur économique et culturel du Nord-est des États-Unis.



— 01 Les infrastructures et populations du bas Manhattan sont particulièrement vulnérables aux catastrophes naturelles comme l'ouragan Sandy.

Outre un lourd bilan humain, le passage de Sandy s'est soldé par plus de 60 milliards de dommages matériels : habitations détruites, rues, tunnels et stations de métro inondés, installations dégradées par l'eau de mer. Par ricochet, des pans entiers de la ville ont été privés d'électricité, d'eau, de communications et de services d'assainissement pendant plusieurs jours.

Consolidated Edison, Inc., ou « Con Edison », est l'une des plus grandes sociétés par actions du secteur de l'énergie aux États-Unis, avec des actifs dépassant 47 milliards de dollars.

L'énergéticien exploite l'un des plus gros postes électriques du pays pour alimenter les centaines de milliers de clients que compte le quartier du bas Manhattan, dont Wall Street. Son personnel

d'intervention a encore en mémoire les effets dévastateurs de l'ouragan Sandy. La forte marée de tempête qui a envahi le poste a gravement endommagé le câblage cuivre et les armoires

—
La facture des dommages causés par l'ouragan a dépassé 60 milliards de dollars.

électriques. Il n'a fallu que quelques heures pour que la corrosion gagne certains systèmes de contrôle-commande des appareillages, fileries et borniers, donnant l'impression d'être installée depuis plusieurs décennies.





02

Depuis, Con Edison a investi 1 milliard de dollars dans un plan de protection des postes électriques (renforcement des murs de confinement et des ouvertures, endiguement →2,3) visant à augmenter la résilience climatique des systèmes de distribution tant aériens que souterrains. Autre volet central de ce programme de sécurisation de

—
La crue a gravement endommagé le câblage cuivre et les armoires de commande du poste.

l'alimentation électrique dans le bas Manhattan : le remplacement de plusieurs équipements de poste classiques par la technologie numérique ABB Ability [2].

Vague numérique

Grâce aux signaux de contrôle-commande binaires transmis par la fibre optique (FO), qui vient se substituer à la paire de cuivre classique, le poste numérique ABB Ability est l'une des composantes majeures du réseau électrique du futur. Plus précisément, toutes les commandes, signalisations et mesures issues des relais transitent désormais sur un bus de communication FO extrêmement fiable. L'énergéticien gagne ainsi en sécurité, en flexibilité et en disponibilité, bref en résilience, tout en réduisant les coûts d'exploitation et de maintenance, les risques d'intervention et les vulnérabilités du réseau aux extrêmes climatiques.

Les données de suivi d'état des actifs, par exemple, sont collectées par l'Internet des objets industriel et mises à profit pour optimiser les performances et l'efficacité économique du poste, réduisant le temps d'immobilisation des appareils (transformateurs, disjoncteurs) jusqu'à 50 %.

La faculté de partager toutes les informations disponibles sur un bus numérique permet de développer d'autres applications capables de fiabiliser le réseau et de prolonger la durée de vie des actifs. Cela vaut notamment pour les transformateurs, disjoncteurs et autres équipements de poste dont la maintenance était auparavant totalement dissociée des activités de protection et de contrôle-commande.





—
02 Vue aérienne du poste de Con Edison, ceinturé par un mur de confinement anti-inondation

—
03 La surélévation des murs, des canalisations et des chemins de câbles participe à la prévention des inondations.

—
04 Par sa simplicité d'exploitation, la salle de conduite de Con Edison facilite le quotidien des opérateurs.

En fédérant toutes les informations utiles sur le bus numérique, ces sous-ensembles peuvent être aujourd'hui mutualisés.

Ainsi, le détenteur des actifs peut non seulement accroître la fiabilité du poste mais aussi lier les pratiques d'exploitation et de maintenance au niveau du poste à celles mises en œuvre à l'échelle de l'entreprise.

Le nouveau poste numérique ABB Ability permet également à l'énergéticien de tirer parti de la collecte massive de données ou « Big data » pour, en situation de crise par exemple, extraire les

informations spécifiques aux actifs sensibles et nécessaires au pilotage stratégique et opérationnel du réseau afin d'accélérer la prise de décisions. C'est aussi un moyen d'analyser les données, d'identifier les tendances et de prédire les dysfonctionnements potentiels. En somme, une nouvelle mine d'informations qui facilite le passage d'une maintenance traditionnelle, à échéance fixe, à une maintenance conditionnelle, en fonction des besoins réels.

Des commandes simplifiées

Le processus de numérisation a en partie consisté à unifier les multiples strates du contrôle-commande en place, dont certaines composantes ont souffert des inondations causées par Sandy, en un seul système automatisé. Cette approche a énormément simplifié les tâches accomplies par le personnel, au profit d'une sécurité et d'une fiabilité accrues →4.

En privilégiant un dialogue permanent avec l'équipe ABB tout au long des étapes de conception, d'essai et d'installation, les ingénieurs de Con Edison ont réussi à mettre en exploitation la première phase du projet dans le respect des délais et du budget, sans dommage matériel ni corporel.

Le référentiel international de communication dans les postes électriques CEI 61850 a encore facilité la démarche : le nouveau système de contrôle-commande et de protection des automatismes de poste utilise la messagerie GOOSE, normalisée CEI 61850, pour piloter les disjoncteurs. Con Edison est ainsi en mesure de mettre en œuvre une solution de protection et de contrôle-commande multiconstructeur inter-opérable. La communication entre disjoncteurs et relais de protection, ainsi que la téléexploitation, se font sur réseaux optiques.

03



04





05

Place à l'hybride

Pièce maîtresse du nouveau poste numérique ABB Ability, le module de coupure et de connexion hybride PASS (Plug And Switch System) 420 kV d'ABB a été surélevé de plus de 10 m par rapport au poste d'origine pour se prémunir des crues, renforçant d'autant la fiabilité de l'installation et limitant les interruptions de service →5, 6.

Cette innovation permet de gagner 50 % de place tout en pourvoyant à l'ensemble des fonctionnalités d'un appareillage haute tension (HT) dans un encombrement réduit. On peut ainsi ajouter de nouvelles cellules à un poste déjà bondé sans augmenter la surface au sol : un avantage décisif à New York où le foncier est rare et cher. Les équipements du PASS sont faciles à transporter et s'installent rapidement sans avoir à assembler les parties actives ou à mener des essais HT sur site.

06



—
Con Edison a pu réduire ses coûts d'exploitation et de maintenance, mais aussi améliorer la résilience et la fiabilité du réseau électrique.

Autre atout qui participe à la simplicité, à la sécurité et à l'efficacité de l'installation et de sa mise en route sur site : la rotation rapide des traversées de la position de transport à celle de service →7.

—
05 Le PASS surplombe de plus de 10 m le poste d'origine.

—
06 Module de coupure et de connexion hybride PASS 420 kV d'ABB

—
07 Sur site, un système de rotation des traversées permet de basculer de la position abaissée de transport à la position redressée de service.

Bibliographie

[1] Orton, P. M., et al., « A validated tropical-extratropical flood hazard assessment for New York Harbor », Journal of Geophysical Research: Oceans, disponible en ligne sur : <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2016JC011679/epdf>, 31 décembre 2016.

[2] Vidéo ABB « Digital substation helps New York guard against storm chaos », disponible en ligne sur : <https://www.youtube.com/watch?v=8AduBjK7lic>, 10 juillet 2017

Économie de cuivre

Conséquence de ce virage au numérique : quelques liaisons FO remplacent aujourd'hui près de 80 % du câblage cuivre. Or qui dit moins de cuivre, dit moins de risques électriques pour le personnel d'intervention et donc plus de sécurité.

—
Les liaisons cuivre analogiques du poste cèdent la place aux transmissions numériques par fibre optique.

À l'épreuve du temps

La numérisation de la distribution électrique est un jalon essentiel de la transition vers un monde ultra-connecté. Les postes numériques ABB Ability sont les briques de réseaux plus fiables, plus communicants et plus sûrs, tant pour les agents de Con Edison que ses clients.

Cette transformation numérique d'un des postes stratégiques de l'énergéticien à New York, ainsi que les mesures de protection et de renforcement des infrastructures, s'inscrivent dans une passionnante quête de résilience aux caprices de la météo. La souplesse apportée par la numérisation ouvre de nouveaux horizons aux projets d'extension du réseau, même multiconstructeurs, grâce des postes électriques à l'abri des tempêtes mais aussi des outrages du temps. ●

07



PERFORMANCE À TOUTE ÉPREUVE

Un échangeur de chaleur à thermosiphon pour la conversion de puissance

Les composants d'électronique de puissance dégagent beaucoup de chaleur. Le refroidissement par eau étant souvent complexe ou inadapté, ABB a mis au point un échangeur de chaleur à thermosiphon compact dont le fonctionnement simple et passif garantit une très grande fiabilité. La même technologie a été mise à profit pour refroidir l'enveloppe.

Bruno Agostini
Daniele Torresin
ABB Corporate Research
Baden-Dättwil (Suisse)

bruno.agostini@
ch.abb.com
daniele.torresin@
ch.abb.com

Timo Koivuluoma
ABB Oy
Helsinki (Finlande)

timo.koivuluoma@
fi.abb.com

Yong X. Wang
ABB AG
Birlon (Allemagne)

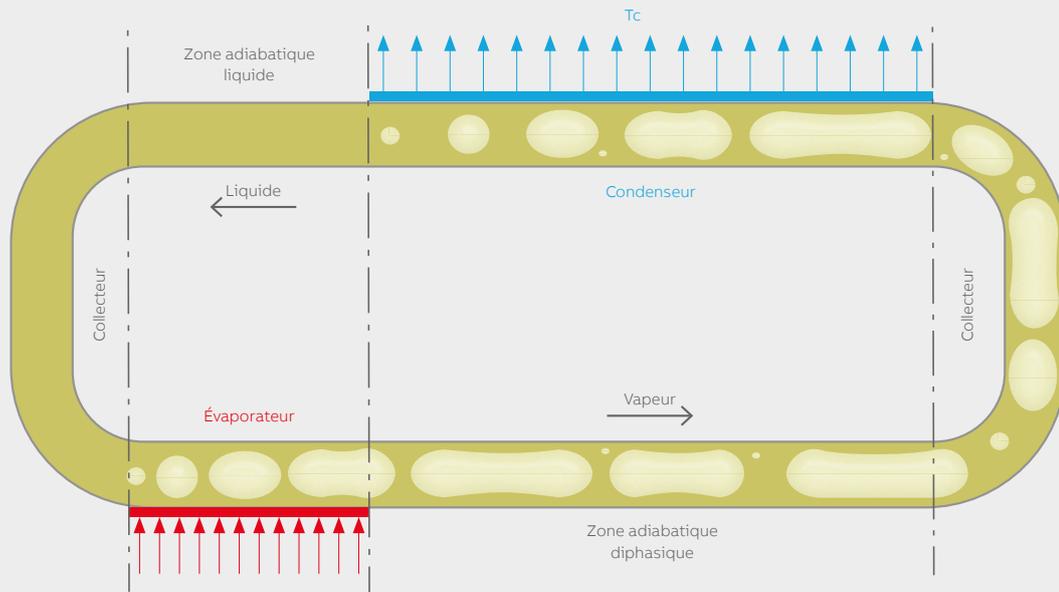
yong.x.wang@de.abb.com

Les pertes thermiques surfaciques des composants d'électronique de puissance actuels, déjà supérieures à 100 W/cm² au niveau du circuit et 30 W/cm² à la base du radiateur, augmenteront inévitablement à l'avenir. L'eau est un fluide de refroidissement très efficace mais n'est pas toujours compatible avec l'électronique de puissance. Par contre, le refroidissement diphasique ouvre des perspectives prometteuses.

Le thermosiphon, dont la passivité et la simplicité sont gages de fiabilité, est une méthode de refroidissement diphasique extrêmement intéressante.

La circulation passive de deux fluides diélectriques, principe de base du refroidissement diphasique, offre d'excellents coefficients de transfert thermique. Le thermosiphon, dont la passivité et la simplicité sont gages de fiabilité, en est une application extrêmement intéressante.

À partir d'une technologie automobile, ABB a développé un échangeur de chaleur à thermosiphon compact (COTHEX), formé d'un grand nombre de tubes extrudés à orifices multiples (MPE) et canaux à structure capillaire disposés en parallèle et brasés sur le support des modules d'électronique de puissance. L'échangeur de chaleur se distingue par sa compacité, son refroidissement performant et sa faible chute de pression. ABB a également mis au point un échangeur air-air tout aussi compact, basé sur cette technologie, pour refroidir l'enveloppe. Ces deux produits combinent la performance du refroidissement par eau et la simplicité du refroidissement par air.



01

— 01 Schéma de principe d'un thermosiphon en tube fermé

— 02 Transfert de chaleur support-air (à gauche) et air-air (à droite)

La réalisation de ce système de refroidissement en circuit fermé a obligé ABB à approfondir ses études sur les méthodes de fabrication, les fluides caloporteurs, les règles de sécurité et de conception, mais

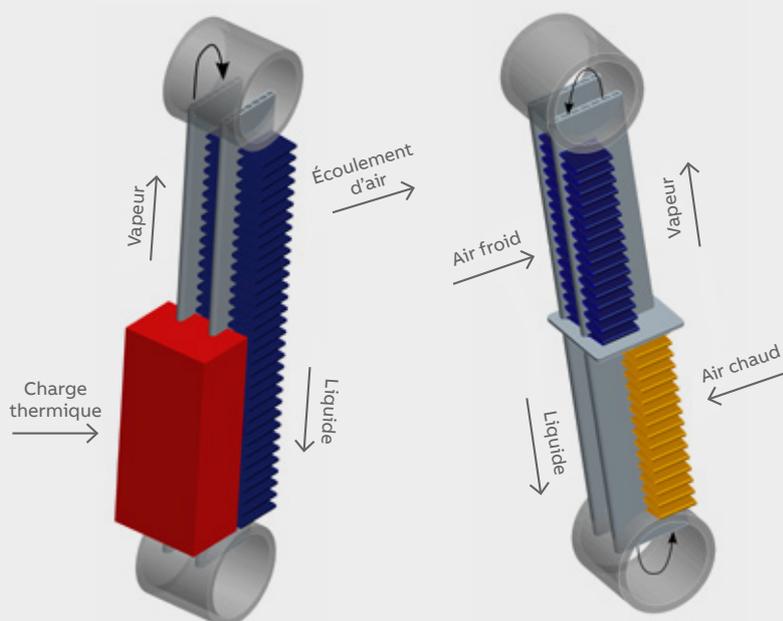
— **Refroidissement performant et faible chute de pression sont les principaux atouts de l'échangeur de chaleur COTHEX d'ABB.**

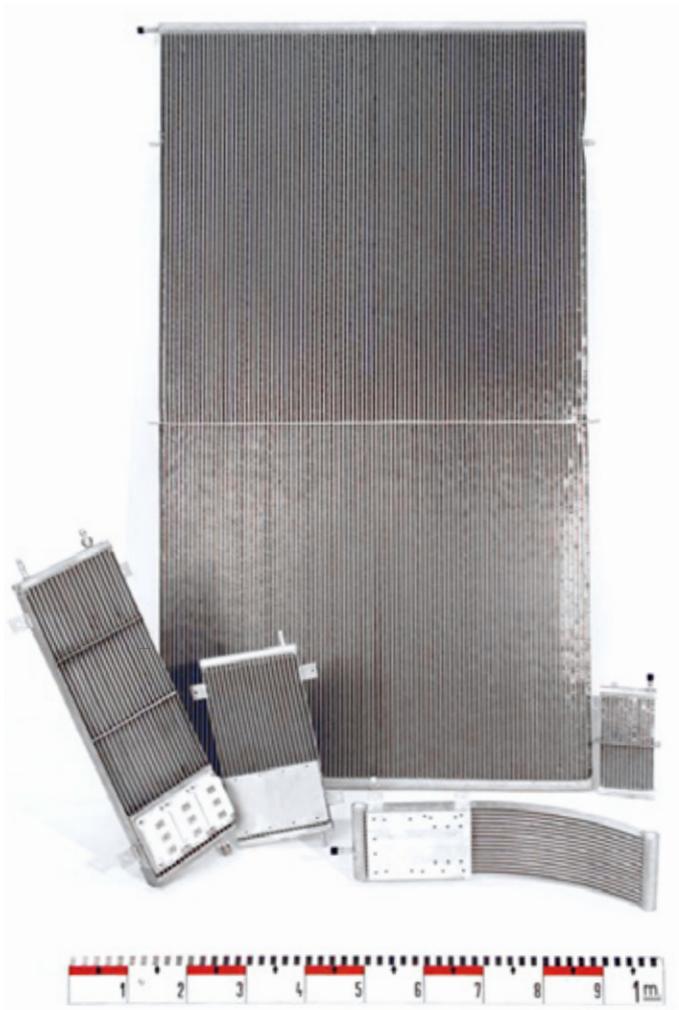
aussi ses recherches sur les exigences de performance, de sécurité et de fiabilité. La technologie a été soigneusement testée, tant en laboratoires ABB qu'en conditions réelles.

Principe de fonctionnement

L'échangeur de chaleur COTHEX d'ABB permet de remplacer les actuels radiateurs en aluminium refroidis à l'air par un thermosiphon compact et performant, qui offre de nombreux avantages : diminution de l'encombrement et du bruit, augmentation de la densité de puissance et amélioration des caractéristiques mécaniques. Les figures →1, 2 illustrent le principe de fonctionnement et l'architecture d'un refroidisseur support-air et air-air (brevet EP2031332).

02





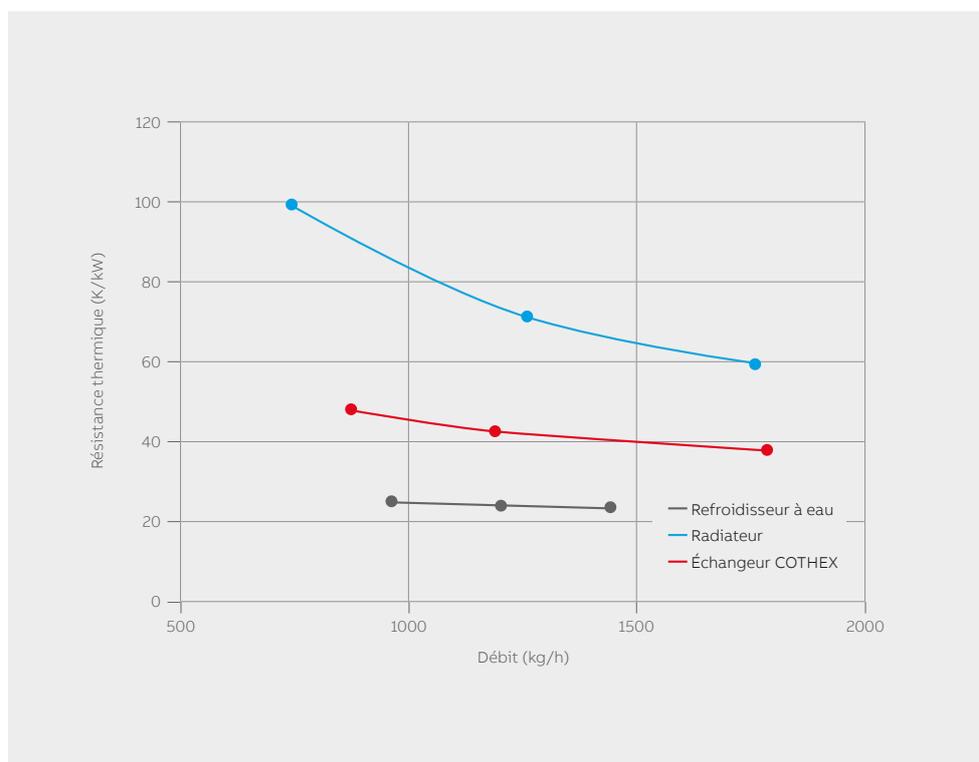
03

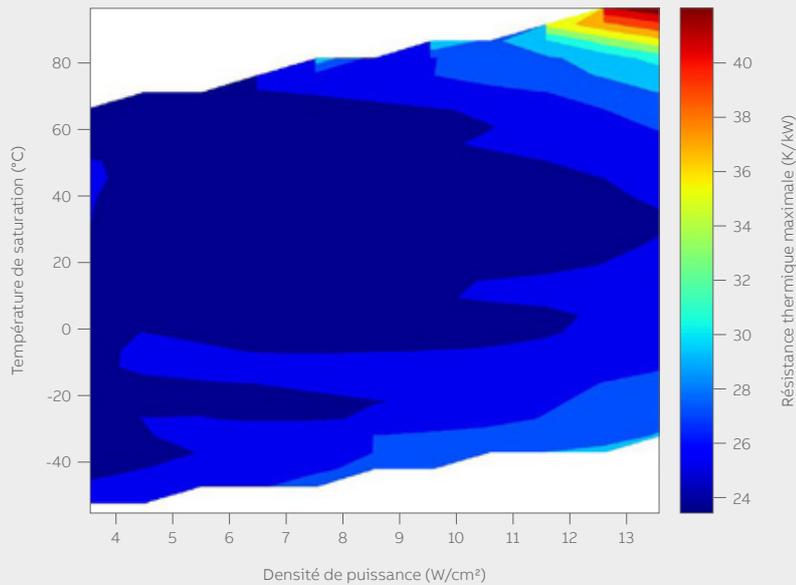
Rappelons que le refroidisseur se compose de tubes alu MPE disposés en parallèle, dont les extrémités haute et basse sont raccordées à un

—
L'échangeur de chaleur, basé sur une technologie automobile, comporte un grand nombre de tubes MPE et de canaux à structure capillaire.

collecteur cylindrique, d'un évaporateur en partie basse (écoulement ascendant) et d'un condenseur en partie haute (écoulement descendant). Le tube MPE comporte en général 7 à 13 canaux miniatures parallèles. Certains, réservés à l'évaporation, sont brasés sur le support des composants électroniques exothermiques ; les autres canaux sont équipés d'ailettes à persiennes pour faciliter la condensation. Chaque tube MPE fonctionne ainsi comme un thermosiphon individuel.

04





05

— 03 Gamme de longueur (0,2 à 2 m) des échangeurs de chaleur ABB

— 04 Performances comparées des trois méthodes de refroidissement

— 05 Comportement du thermosiphon ABB en conditions thermiques extrêmes

Le nombre et la longueur des tubes MPE varient en fonction des exigences de refroidissement →3. Cette conception augmente leur densité et donc la densité de chaleur supportable, qui excède celle d'un caloduc classique.

— Cette conception augmente la densité des tubes MPE et donc la densité de chaleur, supérieure à celle d'un caloduc classique.

Fabrication

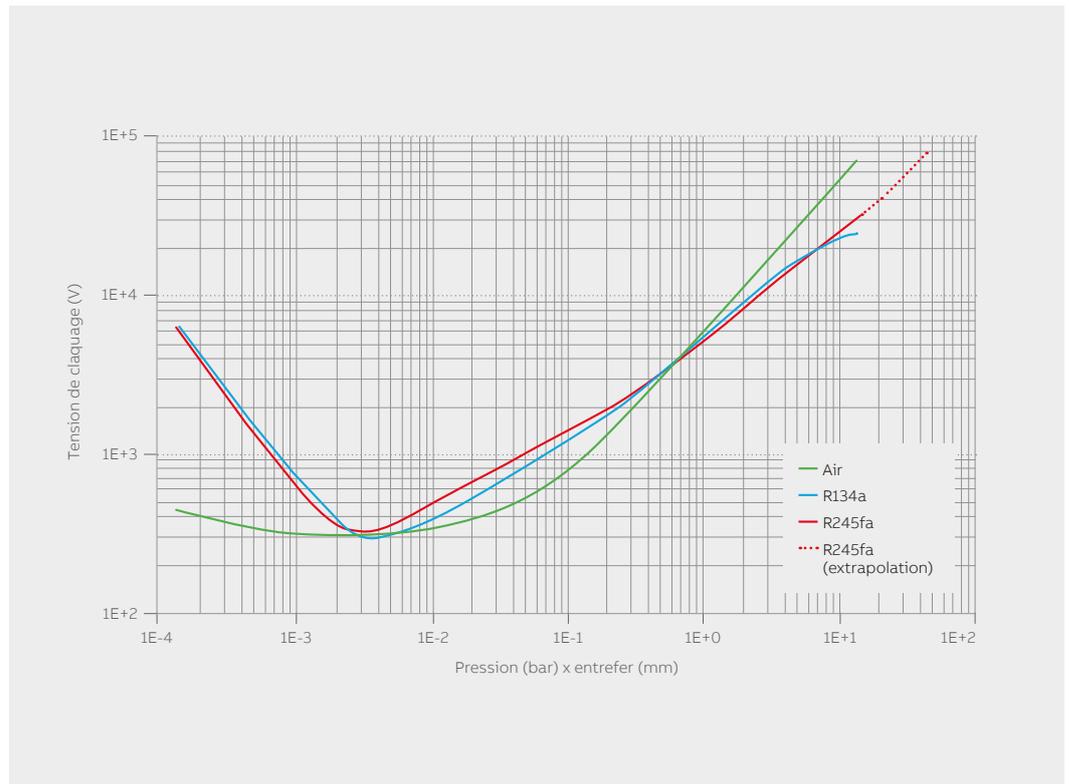
L'aluminium présente une résistance à la corrosion, une aptitude au formage et une conductivité thermique élevées : c'est donc le matériau idéal pour un système de refroidissement. La fabrication du thermosiphon ABB repose sur un procédé de brasage alu de type Nocolok, méthode privilégiée des constructeurs automobiles pour la production d'échangeurs de chaleur (radiateurs, condenseurs, évaporateurs, aérothermes, etc.) et donc aisément transposable aux systèmes de refroidissement en circuit fermé d'ABB.

Performances [1]

Les performances du thermosiphon diphasique d'ABB →4 se situent entre celle d'un radiateur et celle d'un refroidisseur à eau, avec une résistance thermique inférieure d'environ 50 %. De plus, la perte de pression atmosphérique est généralement six fois moins importante qu'avec un radiateur classique.

Fluides frigorigènes [2]

Les hydrofluorocarbures (HFC) sont des composés synthétiques chimiquement stables et compatibles avec la plupart des matériaux. Leurs bonnes, voire très bonnes propriétés thermodynamiques et conductrices en font les candidats idéaux pour un refroidissement efficace. Depuis presque trente ans, ils sont incontournables dans de nombreuses applications de réfrigération. Parmi eux, les réfrigérants R134a et R245fa ont retenu l'intérêt d'ABB.



06

Ne contenant pas de chlore, les HFC ne détériorent certes pas la couche d'ozone, mais ce sont des gaz à effet de serre (GES) à longue durée de vie dans l'atmosphère et potentiel de réchauffement global (PRG) élevé. Avec le durcissement de la réglementation sur les HFC, le R134a et le R245fa

L'échangeur de chaleur ABB est peu sujet aux fuites.

seront interdits à partir de 2025 et remplacés par le R1234ze, le R450A ou le R1233zd, dont le PRG est, à performances égales, bien inférieur [2]. L'échangeur de chaleur COTHEX d'ABB est de toute façon peu sujet aux fuites : à 20 bar, les pertes totales de R134a sont évaluées à 2,7 g/an, ce qui permet 30 années de fonctionnement sans maintenance.

En ce qui concerne la sécurité des fluides, les thermosiphons en tubes MPE sont si petits qu'ils échappent à la réglementation des équipements sous pression ou assimilés. De même, les thermosiphons diphasiques d'ABB ne sont guère concernés par les normes internationales d'émission de GES puisqu'ils sont classés « équipements de réfrigération stationnaires ».

Corrosion [3, 4]

L'alliage d'aluminium utilisé est l'EN AW-3003, qui présente une bonne résistance à la corrosion dans différents environnements. Afin de vérifier celle-ci, douze systèmes de refroidissement en circuit fermé ABB ont subi des essais accélérés de résistance à la corrosion selon les normes ISO 3231 (SO₂), 6270 (humidité) et 9227 (brouillard salin). Ces essais reproduisent cinq années de fonctionnement en environnement pollué. Aucune fuite n'a

—
06 Tension de claquage des fluides R134a et R245fa par rapport à l'air

—
07 Simulation 3D de la distribution de chaleur sur le support du module

été constatée sur l'ensemble des systèmes, qui fonctionnaient parfaitement à l'issue des essais. La température est elle aussi restée presque inchangée, sauf dans les trois spécimens exposés au brouillard salin, où l'encrassement des ailettes par le sel a provoqué une hausse de 8 K ; un défaut gommé par un simple nettoyage.

Températures extrêmes [5]

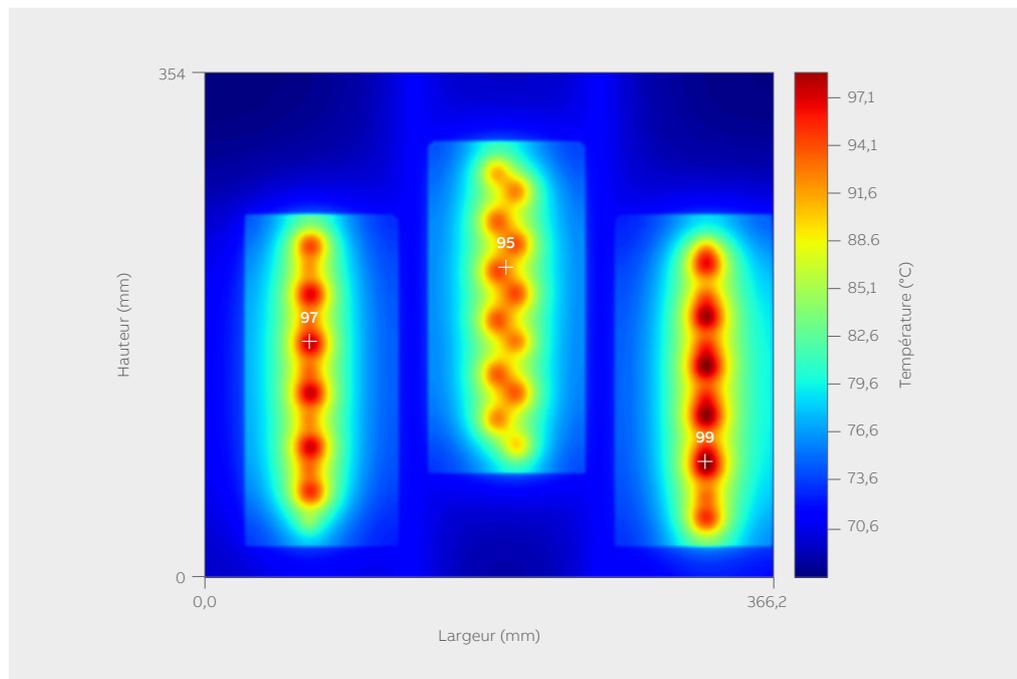
Un thermosiphon utilisant le R134a a été soumis à des essais aggravés (HALT) à des températures allant de -60 à +60 °C et des vibrations atteignant 8 g. La résistance thermique (gradient de couleurs →5) n'augmente qu'à partir de valeurs de température ambiante et de densité de chaleur élevées, ce qui est satisfaisant. De même, les vibrations n'ont pas dégradé les performances.

Tension de claquage [6]

La tension de claquage d'un appareil est une caractéristique indissociable du fonctionnement à haute tension. Le R134a affiche une tension de

—
Tous les systèmes testés étaient exempts de fuite et fonctionnaient parfaitement à l'issue des essais.

claquage supérieure à celle de l'air ambiant tant que la pression (bar) multipliée par l'entrefer (mm) ne dépasse pas 1 →6. En cas de fuite du réfrigérant à la pression atmosphérique, l'isolation électrique reste supérieure à celle de l'air pur jusqu'à une tension de 5 kV pour des distances inférieures ou égales à 1 mm.



07

Au-delà, les propriétés isolantes se situent entre celles du R134a et de l'air. Conclusion : en basse tension, l'isolation est meilleure que celle de l'air pur tandis qu'en haute tension, il convient d'augmenter les distances d'isolement. Il en va de même avec le R245fa.

Outil de conception [7-9]

Un modèle numérique unidimensionnel d'écoulement diphasique a servi à simuler un thermosiphon idéal. Il associe la résolution des trois équations de conservation (masse, quantité de mouvement et énergie) à un algorithme de minimisation pour déterminer le débit massique, la température de saturation et la qualité de vapeur en sortie d'évaporateur dans la boucle diphasique.

Des corrélations issues de la littérature scientifique ont permis de caractériser l'écoulement diphasique. Au solveur du thermosiphon s'ajoute un solveur de distribution de chaleur en 3D pour

Les thermosiphons en tubes MPE sont si petits qu'ils échappent à la réglementation des équipements sous pression ou assimilés.

prédire la température des jonctions silicium et tenir compte de l'enveloppe du module ainsi que de l'impact du coefficient de transfert de chaleur par ébullition sur le flux thermique local, qui influe sur la distribution de chaleur. La figure →7 illustre une distribution type en 3D sur le support de l'électronique de puissance d'un onduleur photovoltaïque PVS980. Les températures ainsi mesurées corroborent les prédictions du modèle.

Une technologie mature

Le refroidissement diphasique d'ABB pour la conversion de puissance conjugue la performance du refroidissement par eau et la simplicité



—
08 Variateur pour usage extérieur ACS800-38 d'ABB

—
Bibliographie

[1] Luethi, C., « Test report Cothex base-to-air cooler », Rapport technique ABB (3BHS345716 E15), 2012.

[2] Aguiar Peixoto, R., « Manual for Refrigeration Servicing Technicians », PNUE, disponible en ligne sur : http://www.unep.fr/ozonation/information/mmcfiles/7443-e-Ref_manual_servicing_technicians.pdf.

[3] Habert, M., « Aluminium reliability for COTHEX application », Rapport technique du Centre de recherche institutionnel ABB, 2009.

[4] Agostini, B., Habert, M., « Corrosion COTHEX Resistance Testing », Rapport technique du Centre de recherche institutionnel ABB (9ADB005890-010), 2014.

[5] Habert, M., « Base-to-air COTHEX performance in extreme conditions », Rapport technique du Centre de recherche institutionnel ABB (9ADB005890-008), 2013.

[6] Agostini, F., « Dielectric properties of refrigerants: R134a and R245fa », Rapport technique du Centre de recherche institutionnel ABB (9ADB002335-027), 2010.

[7] Agostini, B., Habert, M., « Compact Thermosyphon Heat Exchanger for Power Electronics Cooling », Journal of Energy and Power Engineering, vol. 1, n° 7, p. 972-978, 2013.

[8] Agostini, B., Habert, M., « Compact air-to-air thermosyphon heat exchanger », Heat Transfer Engineering, 36(17), p. 1419-1425, 2015.

[9] Agostini, B., « Three-dimensional heat spreading simulation in a thermosyphon evaporator », Rapport technique du Centre de recherche institutionnel ABB (9ADB003639-014), 2014.

du refroidissement par air. Son degré de maturité a déjà permis son intégration à trois familles de produits ABB :

- Depuis 2011, des transformateurs secs à protection IP élevée [4], dont l'enveloppe est refroidie par un empilage de thermosiphons air-air ABB. Deux premiers appareils ont été installés en milieu marin ;
- Le variateur à faible taux d'harmoniques ACS800-38 →8, commercialisé depuis 2012, avec une première installation pilote dans le désert ;
- L'onduleur photovoltaïque PVS980, la toute nouvelle génération d'appareils ABB à utiliser cette technologie de refroidissement.

Mettant en œuvre des composants et des méthodes de fabrication à la pointe de l'innovation, ABB s'est inspiré d'une technologie fiable et éprouvée depuis des décennies dans

—
Un modèle numérique unidimensionnel d'écoulement diphasique a servi à simuler un thermosiphon idéal.

l'automobile pour concevoir un échangeur de chaleur à thermosiphon. Une réussite de longue date confortée par des essais poussés dans les laboratoires ABB comme sur le terrain. ●



PERFORMANCE À TOUTE ÉPREUVE

Unipack-G, poste de l'extrême

Grâce à son isolation externe en polyester renforcé de fibres de verre, le poste de distribution compact UniPack-G d'ABB est paré pour résister aux environnements difficiles : une solution idéale pour le terminal pétrolier de Mina Abdulla, dans le golfe Persique.



Anthony Byatt
Rédacteur indépendant

Pour en savoir plus,
contactez riham.el_gamal@eg.abb.com

La Société nationale du pétrole du Koweït (KNPC), qui compte parmi les plus grands raffineurs au monde, possède deux sites regroupés au sud de la capitale : Mina Abdulla et Mina Al-Ahmadi. Soucieuse d'accroître ses capacités d'exportation de produits raffinés à Mina Abdulla, elle a construit à quelque cinq kilomètres au large une plate-forme de chargement dotée de deux quais pour l'exportation de carburants liquides et l'importation de fioul en cas d'urgence →1.

L'UniPack-G ne pesant que le tiers d'un poste béton, les coûts de transport sont raisonnables et l'installation en site éloigné ou difficile d'accès est grandement facilitée.

Chaque quai aligne six bras de chargement : quatre pour l'huile blanche hautement raffinée (essences classiques, carburacteur, gazole) et

deux pour l'huile noire non raffinée (fiouls de soute). Six oléoducs sous-marins convergent vers cette île artificielle, chacun transportant un produit spécial : naphta, kérosène, gazole européen faiblement soufré (EGO), diesels haute vitesse (HSD) et « marine » (MDO), fioul soute à haute teneur en soufre (HTS). Ces installations peuvent charger 80 000 tonnes de produits blancs en 36 heures et l'équivalent de produits noirs en 40 heures.

L'infrastructure qui sous-tend ces lourdes opérations exige de très fortes puissances électriques. L'île est donc alimentée par câbles sous-marins en haute tension qu'il faut ensuite abaisser aux niveaux requis par les charges du site. KNPC voulait un poste secondaire ultra-résistant aux rudes conditions climatiques du Golfe (forte hygrométrie, températures exceptionnelles, corrosion marine), mais aussi à la combustibilité des matériaux.

Le poste compact UniPack-G d'ABB était le candidat tout trouvé.





01

—
01 Plate-forme de chargement au large du terminal pétrolier de Mina Abdulla (avec l'aimable autorisation de KNPC)

Contraintes mécaniques et climatiques

Les postes de distribution électrique sont généralement en acier ou en béton. Une construction en béton (ou en briques) a l'avantage de résister aux intempéries mais le défaut d'être très lourde

—
La capacité à maintenir la température interne, indépendamment des influences externes, est une propriété intrinsèque du poste UniPack-G compact à double isolation.

et peu manœuvrable. Si la préfabrication en usine simplifie les travaux de montage et de maçonnerie sur site, la masse d'un poste tout béton (environ 24 t) plombe les coûts de transport et de manutention. Plus léger, plus pratique à transporter et moins cher, l'acier ne nécessite pas de gros travaux sur place. Un poste compact métallique pèse en moyenne 12 t, soit la moitié de son équivalent béton, tout en étant aussi fonctionnel. Reste que l'acier n'a pas la robustesse du béton et risque davantage de se dégrader sous les assauts de la météo.

Dans l'idéal, l'enveloppe d'un poste compact doit cumuler les avantages du béton et de l'acier, sans leurs inconvénients. D'où la solution UniPack-G →2.

L'enveloppe du poste est fabriquée en résine de polyester renforcée de fibres de verre (PRV), gage de robustesse et de stabilité. L'UniPack-G ne pesant qu'environ un tiers de son homologue béton, les coûts de transport sont raisonnables et l'installation en site éloigné ou difficile d'accès est grandement facilitée. Au-delà de sa légèreté, le PRV dure plus longtemps que le béton et l'acier, et supporte à merveille les chocs mécaniques, un avantage de taille pour l'acheminement de l'UniPack-G sur l'île artificielle de Mina Abdulla.

Sa conception a été testée conforme aux plus grandes exigences chinoises (GB) et internationales (CEI) de sécurité des postes électriques compacts. L'exécution standard est en outre ignifuge, ce qui lui vaut d'être validée en tenue à l'arc interne (classe IAC) pour la sécurité optimale du public et du personnel intervenant dans le poste.

—
La réalisation de l'enveloppe du poste en PRV, toiture et portes comprises, minimise les besoins en maintenance et donc le coût de possession.

Contraintes thermiques

Les difficultés d'exploitation du site de Mina Abdulla tiennent beaucoup aux conditions climatiques. La double isolation du poste UniPack-G garantit la protection des équipements internes contre la chaleur et l'ensoleillement extrêmes :

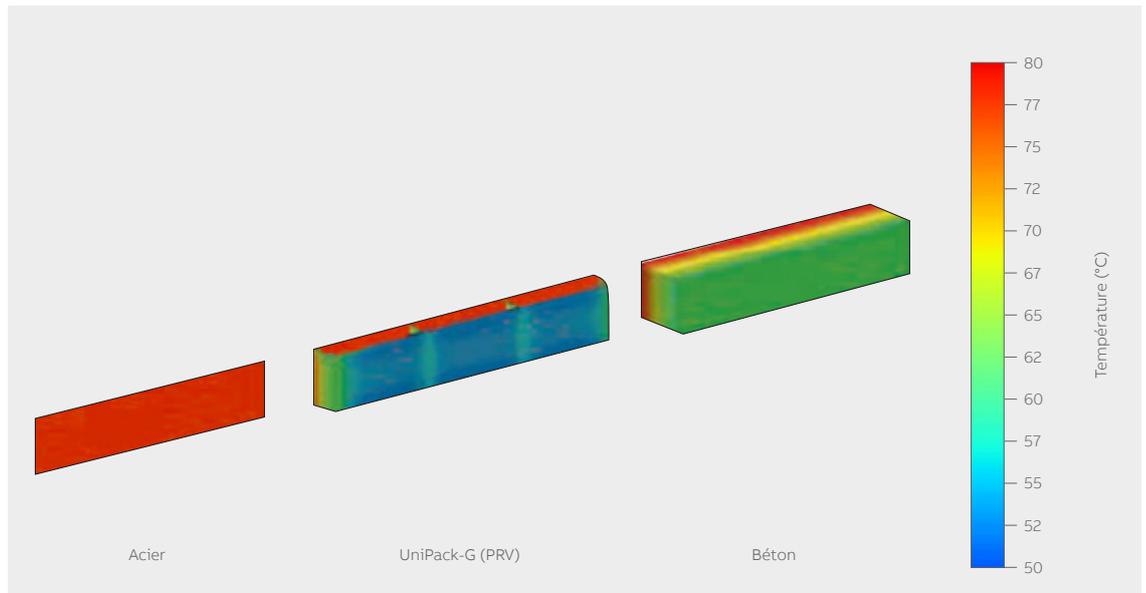
l'image de gauche en →3 illustre l'échauffement de la paroi interne d'une enveloppe métallique sous l'effet des rayonnements solaires intenses, typiques de la région. Cette température élevée risque d'altérer les performances de l'équipement et d'entraîner un déclassement.

L'image du milieu montre les avantages de la double isolation UniPack-G : paroi externe chaude (en rouge), paroi interne froide (en bleu). La capacité à maintenir la température interne, indépendamment des influences externes, est une propriété intrinsèque de la conception UniPack-G, dont bénéficient toutes les solutions standard. Cette stabilité thermique élimine également les phénomènes de dilatation et de contraction, ainsi que les contraintes mécaniques caractéristiques des constructions acier ou béton.



—
02 Poste compact
UniPack-G d'ABB

—
03 L'enveloppe en
polyester renforcé
de fibres de verre
(au centre) offre une
protection thermique
bien supérieure à celle
de l'acier (à gauche)
ou même du béton
(à droite).



03

L'image de droite représente une enveloppe béton qui, malgré son épaisseur, abrite une paroi interne (en vert) plus chaude que celle de l'UniPack-G.

Maintenance minimale

La réalisation de l'UniPack-G compact en PRV, toiture et portes comprises, minimise les besoins en maintenance et, par conséquent, le coût de possession. Sa double paroi lui confère des propriétés thermiques et une rigidité exceptionnelles, à même de stabiliser l'ambiance interne du poste dans l'environnement difficile de Mina Abdulla sans nécessiter de renfort supplémentaire, susceptible d'être lui aussi gagné par la corrosion. Sans compter qu'avec le PRV, plus besoin de repeindre périodiquement l'enveloppe.

La souplesse d'emploi de l'UniPack-G en fait le poste idéal pour le site koweïtien mais aussi pour l'ensemble du portefeuille de produits ABB dédiés aux réseaux électriques intelligents (suivi d'état, contrôle-commande, mesure et protection).

Fort de son succès au cœur de l'installation pilote de KNPC (achevée et livrée à la mi-2016), l'UniPack-G d'ABB pourrait devenir le poste compact de réfé-

—
La souplesse d'emploi de l'UniPack-G en fait le poste idéal pour l'ensemble du portefeuille de produits ABB dédiés aux réseaux électriques intelligents (suivi d'état, contrôle-commande, mesure et protection).

rence des autres projets du raffineur et de clients désireux de protéger leurs équipements de réseaux intelligents des extrêmes climatiques. ●



L'ingénierios en action



Site



36

Chez ABB, nous croyons que la capacité à faire face aux situations exceptionnelles va de pair avec une attention portée aux gestes du quotidien qui assurent fiabilité et performance au top. C'est en satisfaisant les besoins actuels de nos clients que nous nous préparons à relever de nouveaux défis et posons les bases des réussites de demain.

28	Automatisation industrielle
36	Centre de services AHC
42	Convertisseur modulaire multiniveau



28

L'INGÉNIOSITÉ EN ACTION

Les bons outils du développement logiciel appliqués à l'automatisation industrielle

La programmation automate, si elle veut gagner en qualité tout en minimisant les coûts, doit emprunter au génie logiciel certaines de ses pratiques éprouvées de développement applicatif. Concrètement, cela oblige à mettre au point ou à adapter aux métiers et spécificités de l'automatisation une panoplie adéquate de méthodes et d'outils. Partant de ce constat, ABB s'est appuyé sur l'existant pour avancer des pistes d'amélioration des logiciels d'automatisme.



Raoul Jetley
ABB Corporate Research
Bangalore (Inde)
raoul.jetley@in.abb.com

Tout projet d'automatisation se compose de plusieurs activités de développement logiciel portant notamment sur la logique applicative, les bibliothèques et les interfaces homme-machine (IHM). Le cycle de développement d'un système automatisé étant par nature spécifique au « métier » industriel auquel il s'applique, il n'est d'ordinaire pas compatible avec les ateliers logiciels informatiques, qui s'appuient sur des langages généraux (C/C++, Java, etc.) et non propres à la programmation automate, dont les langages normalisés CEI 61131-3 [1]. C'est pourquoi ABB veut transposer à l'automatisation industrielle les progrès du génie logiciel pour répondre aux besoins et attentes de ses clients.

Parmi les bonnes pratiques du génie logiciel, citons les méthodes de spécification des besoins, l'analyse statique de code, la mesure de performance, l'analyse d'impact, l'automatisation des tests et la gestion des versions. Leur intégration

ou leur adaptation aux ateliers de développement automate doivent permettre de mieux tirer parti d'avancées industrielles comme les schémas de commande du système →1.

Le cycle de développement d'un système automatisé étant par nature spécifique au « métier » industriel auquel il s'applique, il n'est pas compatible avec les ateliers logiciels couramment utilisés.

À première vue, la chose paraît simple. Pourtant, l'hétérogénéité des techniques, des vocabulaires et des outils employés dans l'industrie, sans compter la diversité des profils d'acteurs du génie automatique, sont autant de défis posés aux chercheurs ABB.



01

—
01 Ingénieurs et responsables peuvent utiliser des applications logicielles communes pour doper la performance.

Spécifier les besoins

Les exigences d'une application industrielle s'expriment sous la forme

- de listes d'entrées/sorties (E/S) avec leurs libellés ou « étiquettes » ;
- de matrices causes-effets illustrant les relations entre entrées (signaux) et sorties (commandes) ;
- de schémas de tuyauterie et d'instrumentation (TI) décrivant les raccordements entre dispositifs et actionneurs ;
- de descriptions narratives de commandes en langage naturel qui relient le comportement fonctionnel des algorithmes de traitement et indiquent le fonctionnement de la partie commande du système automatisé.

De ces quatre modes de définition des besoins, les trois premiers sont, malgré une mise en œuvre délicate, faciles à normaliser et à formaliser →2 ; dans cette optique, ABB et des chercheurs

de l'université Helmut Schmidt de Hambourg (Allemagne) ont étudié des méthodes pour extraire des modèles orientés objets des schémas TI [2].

Par contre, la normalisation et la formalisation des descriptions narratives de commandes d'automatismes demandent beaucoup d'effort. Les modèles de développement logiciel classiques utilisent des diagrammes états-transitions [3] et des graphiques temps réel du comportement du système, qui autorisent des fonctionnalités comme la modélisation, la vérification et la validation avancées. Leur structure, qu'il s'agisse de modèles hiérarchiques et centrés sur la communication, ou de modèles à base d'états, peut désorienter les ingénieurs habitués aux traditionnels modèles fonctionnels. Qui plus est, les automatismes ont parfois du mal à comprendre et à assimiler le formalisme complexe de cette notation. Adopter d'emblée ces outils n'est donc pas la meilleure approche. Les schémas

décrivant la fonction commande du système d'automatisation (abrévés « SCD » dans la norme norvégienne NORSOK I-005) se prêtent mieux à la normalisation et à la formalisation des documents de définition.

—

Les schémas qui décrivent la fonction de commande du système d'automatisation, ou « SCD » (norme NORSOK I-005), offrent un meilleur socle pour la normalisation et la formalisation des spécifications fonctionnelles.

Un développement plus poussé de la fonction de commande permettra des liens et interactions avec les listes d'E/S, les matrices causes-effets et les schémas TI. Il est en outre possible de réaliser des outils qui produiront des modèles formels (diagrammes états-transitions ou graphiques temps réel), plus performants et moins chers.

Analyser le code

L'analyse statique est d'un usage courant en génie logiciel pour détecter les erreurs d'exécution et garantir la conformité aux règles et bonnes pratiques de codage. Elle inclut quatre grandes fonctions :

- La mise en correspondance de patrons (« pattern matching »), qui utilise des codes anti-patrons pour diagnostiquer les défauts de conception du programme ;
- L'exécution symbolique, qui suit les valeurs symboliques de variables pour envisager tous les chemins exécutables par le programme ;
- L'analyse du flot de programme, qui établit des équations de flot de données pour chaque nœud du graphe de flot de contrôle. Les solutions s'obtiennent en calculant la sortie à partir de l'entrée de chaque nœud ;
- L'analyse par contraintes, qui traduit le programme en un problème de résolution de contraintes, puis utilise un solveur pour lever ces dernières.

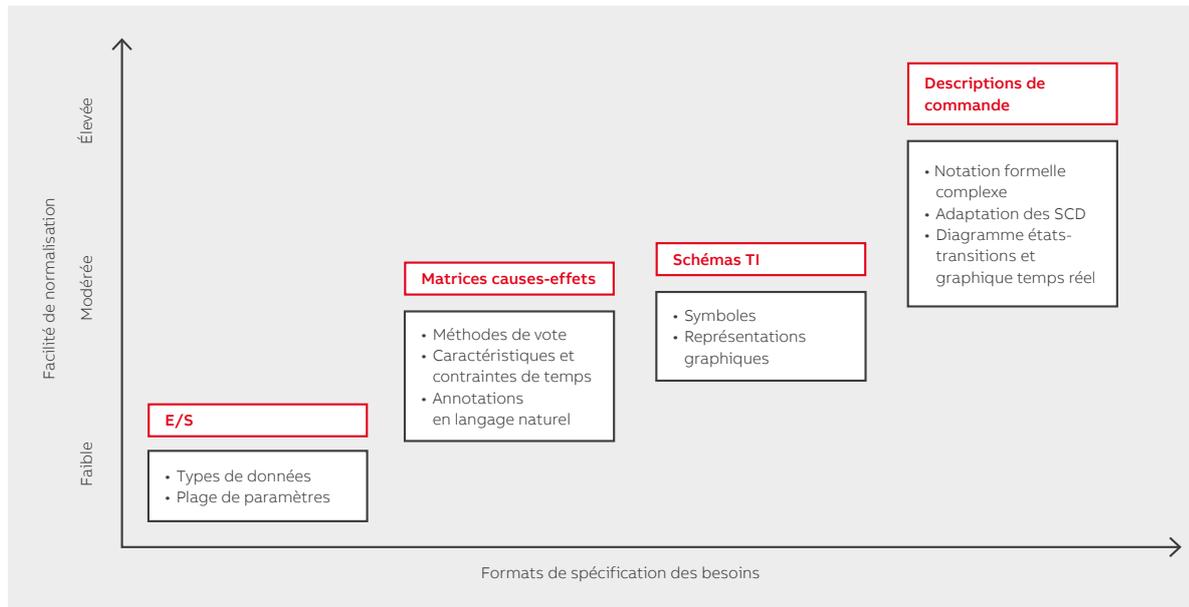
Ces techniques ont peu cours dans l'industrie du logiciel automate. La détection des erreurs passe davantage par des essais menés habituellement à l'issue du développement, en phases de recette-usine et de recette sur site : des procédures chères et sources d'erreurs latentes ou non détectées pouvant conduire à la défaillance de l'application après déploiement.

L'adaptation des méthodes classiques d'analyse statique aux systèmes industriels pourrait être une esquisse de solution garantissant la correction et la sécurité du logiciel. Or cette technique a quelques lacunes (faux positifs, explosion du nombre d'états [4], non-détection de certaines erreurs d'exécution par pattern matching, etc.), qu'il faut impérativement combler pour permettre sa plus large diffusion dans l'industrie.

Des efforts ont porté sur l'amélioration de la vérification pour assurer la sécurité des applications de commande [5]. Si certains outils d'analyse statique détectent la violation des règles de codage pour tous les éditeurs CEI 61131-3, ils se cantonnent à la norme de base, sans possibilité d'extension [6]. Pour peser davantage sur le génie automatique, l'outil d'analyse doit accéder à la représentation interne du programme applicatif (variable d'une plateforme à l'autre) afin de comprendre le modèle d'exécution du langage de programmation et le rendre utile aux entreprises clientes d'ABB qui comptent plusieurs équipes de développeurs.

Autre écueil des langages industriels : l'absence de normes de codage universellement reconnues. Les dispositions de la CEI 61131-3 amorcent une solution. La mise au point d'outils décelant les erreurs de codage dans toute la panoplie de standards et de styles serait extrêmement bénéfique. Enfin, dans le contexte industriel, les outils d'analyse statique doivent arbitrer entre faux positifs/faux négatifs et performance pour que les résultats soient applicables au quotidien.

—
02 Principaux enjeux de la normalisation des formats courants de spécification des besoins



02

Adapter la taille, mesurer la complexité

Classiquement, en génie logiciel, la taille du code et les métriques de complexité servent à chiffrer les coûts, la charge de travail et les affectations de

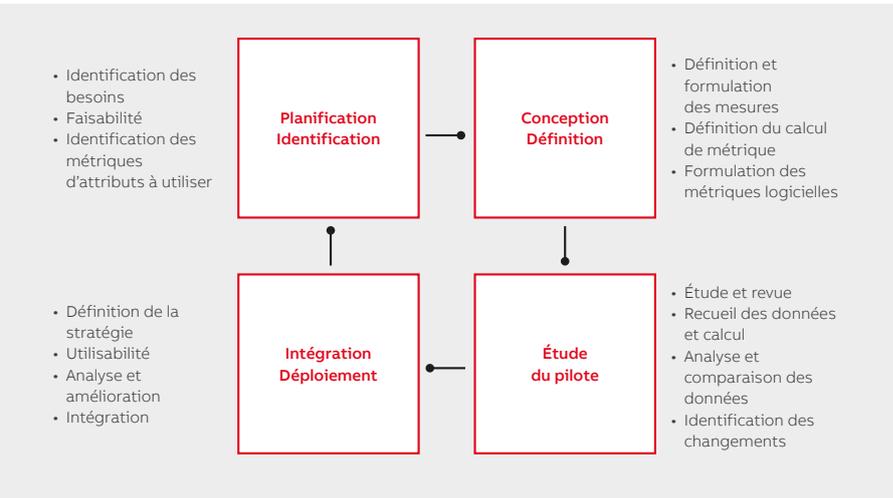
—
L'automatisation industrielle se fie à des tests coûteux pour détecter les erreurs pouvant entacher le déploiement de l'application.

ressources humaines, ainsi qu'à évaluer la maintenabilité, la testabilité, le programme et le développeur. En génie automatique, ABB s'efforce de développer des métriques répondant aux besoins des responsables logiciels. Souvent, les décisions prises dans le cadre de projets d'automatisation se fondent sur l'expérience des principaux acteurs. Si la mise au point d'un ensemble de métriques doté de possibilités de gestion améliorerait l'efficacité et les coûts, la démarche doit être bien appréhendée. Il faut d'abord convaincre les automaticiens de la nécessité de ces outils. ABB propose par exemple de fournir aux développeurs un moyen d'estimer les travaux en comptant le nombre d'E/S pour aboutir à une représentation chiffrée des efforts à engager →3a [7]. Ensuite, en mesurant la taille effective du code développé, les ingénieurs peuvent confronter la théorie à la réalité.

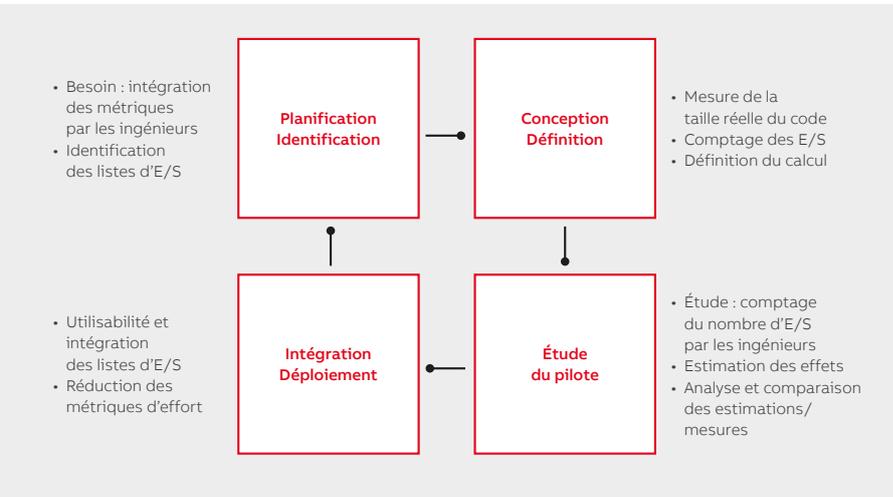
La répétition de la procédure permet d'élaborer et d'appliquer un ou plusieurs facteurs de correction. Il en résulte une diminution des efforts estimés et réels au fil du temps, prouvant le bénéfice de la démarche pour convertir les automaticiens à l'usage de métriques →3b.

Reste à adapter les pratiques existantes pour élaborer des référentiels propres à l'automatisation. Les langages industriels étant textuels et graphiques, le nombre de lignes de code n'est pas une bonne méthode de calcul de la taille d'un programme. En programmation CEI 61131-3, les développeurs consacrent du temps à l'affectation des E/S et autres tâches qui influent sur la complexité du développement applicatif et la maintenabilité du système industriel.

Il faut donc créer un cadre normatif pour les différents éléments de langages graphiques et textuels. Le bon sens veut que l'on utilise les composants élémentaires ou « unités d'organisation de programmes » de la CEI 61131-3 pour définir les métriques de taille des logiciels d'automatisme.



03a



03b

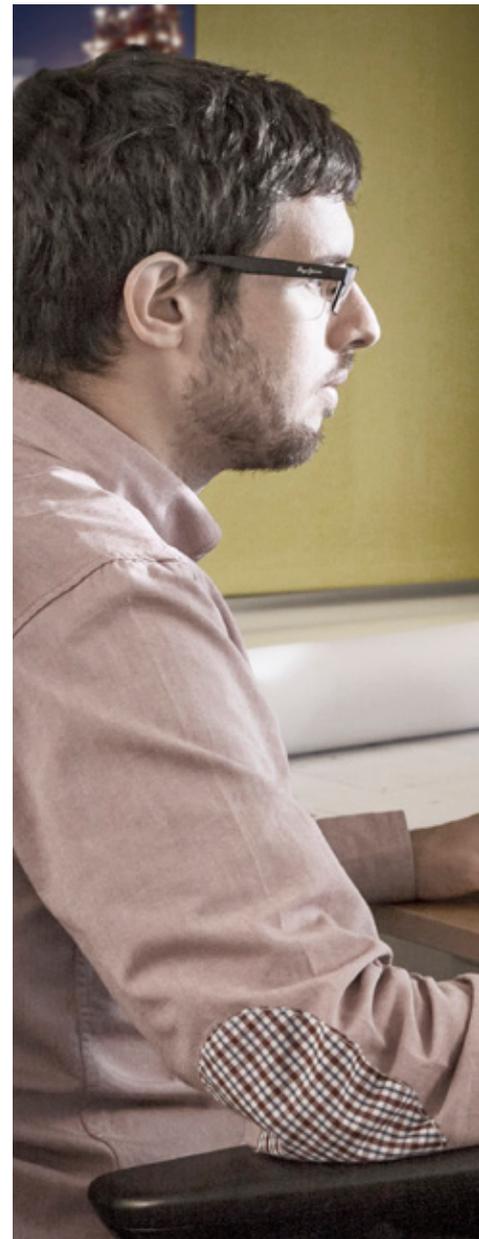
D'autres métriques peuvent servir à mesurer l'intelligibilité et la maintenabilité de l'application : la complexité cognitive, par exemple, permet de déterminer la facilité de compréhension et d'assimilation d'une unité d'organisation de programme, et la complexité des tests, tous les flots de contrôle pour chaque chemin d'exécution de l'applicatif. Un outil de collecte de mesures à partir du programme et de fourniture de métriques au développeur serait également un plus →4. Après mise en œuvre dans un pilote et obtention des résultats, des métriques d'automatisation pourraient être développées avec, à la clé, des avantages non négligeables.

Analyse d'impact : principes et recommandations

L'analyse prédictive prend une place de plus en plus importante en automatisation industrielle [8]. Modifier un composant du programme de contrôle-commande peut avoir de lourdes conséquences sur d'autres parties critiques de l'application ;

—
La mise au point d'un jeu de métriques permet de gagner en efficacité et en coût.

une incidence que l'automaticien se borne le plus souvent à évaluer manuellement ! L'analyse visuelle et automatique de ces altérations et de leurs dépendances dans tout le logiciel d'automatisme permettrait de gagner en fonctionnalité et en coût.



—
03 Méthode générale de mesure de performance avec un exemple de métrique utilisant le chemin d'accès aux E/S

—
04 Des outils fournissent aux ingénieurs données collectées et métriques.

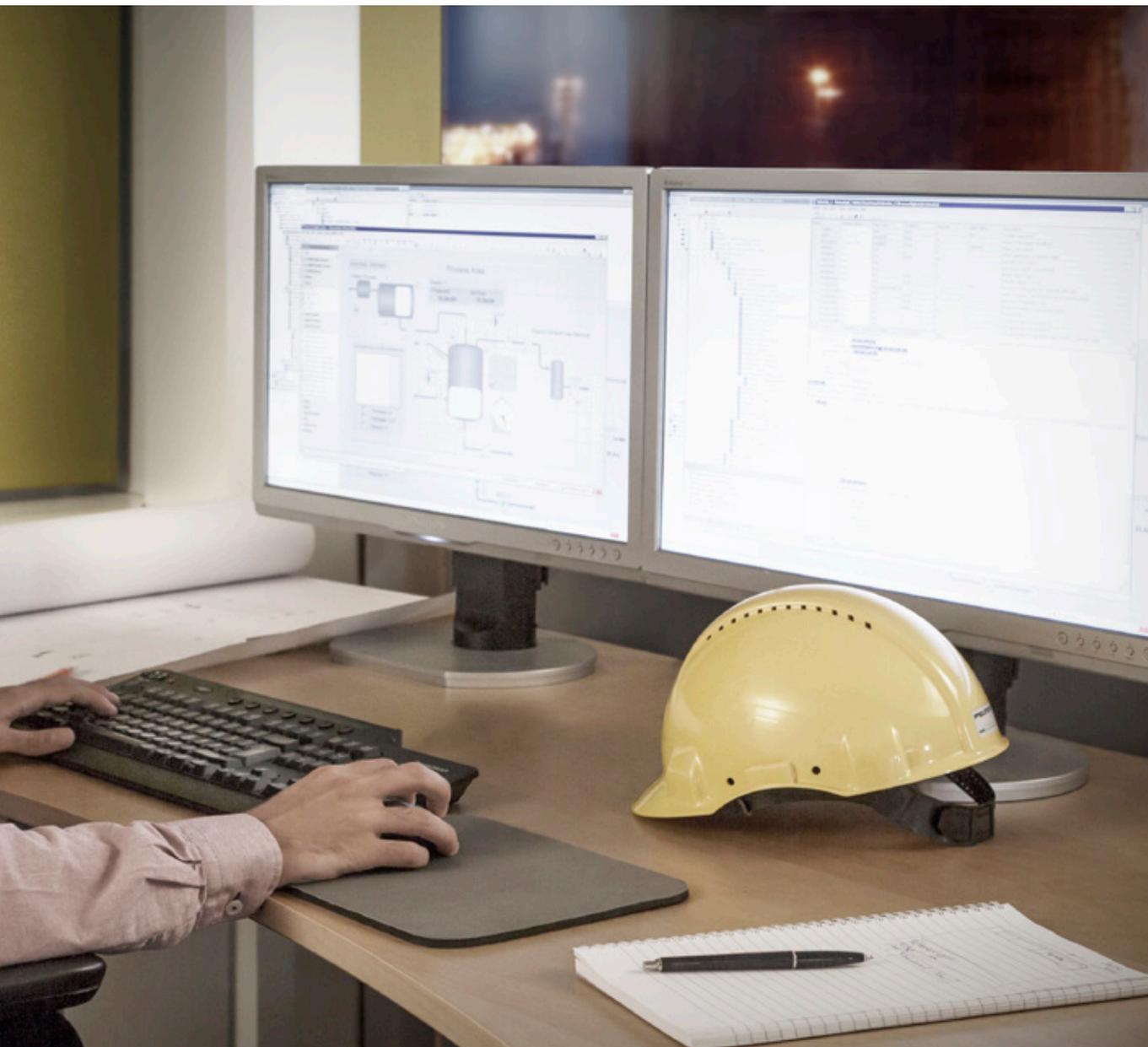
Si le génie logiciel dispose à cette fin de plusieurs méthodes d'analyse des changements, notamment dans les domaines de l'embarqué et des applications distribuées, ce n'est pas encore le cas du génie automatique qui se heurte à un obstacle de taille : les langages automatés sont étroitement liés à d'autres composants comme le matériel, les IHM et les E/S. Ce sont là des dépendances complexes mais capitales, dont il faut tenir compte au moment de calculer l'impact des évolutions sur l'application automate.

Par exemple, un développeur peut vouloir cerner l'impact et les répercussions éventuelles d'une altération de la logique de commande – qui paramètre les gros objets du site et réalise la logique d'enchaînement des opérations industrielles, comme la fabrication par lots (batch) – afin de réduire le risque de salves de modifications involontaires →5. Ce changement serait alors détecté en analysant les dépendances entre et au sein des différentes unités d'organisation de programme, notamment avec la technique de décomposition

du programme en modules et tâches, ou « slicing », qui sert habituellement à calculer les dépendances des flots de contrôle et de données pour l'ensemble des composants modifiés dans toute l'application.

—
Autre façon d'être plus efficace, surtout en phase d'essai : automatiser les tests de régression.

De quoi améliorer l'efficacité du développement, des tests et de la maintenance (moins d'erreurs oblige) et, donc, diminuer les coûts, au bénéfice des clients ABB.





05

Automatisation des tests : enjeux et solutions

Une autre façon d'améliorer l'efficacité est de tester le logiciel automatiquement. Même si certaines entreprises ont commencé à utiliser des scripts automatisés pour exécuter des scénarios

—
 Améliorer la gestion des versions, en automatisant le suivi des modifications effectuées en langages littéral et graphique, peut avoir un impact positif sur l'efficacité du développement, ainsi que sur les coûts et les délais de réalisation du projet.

de test (surtout destinés aux bibliothèques), le test automatisé n'est pas encore de mise en génie automatique. L'élaboration de cas de test et le test de cas d'utilisation restent des processus fastidieux.

Les tests automatisés peuvent générer d'importantes économies lorsqu'ils sont réalisés de façon répétitive durant les tests de régression. Ces derniers visent à garantir qu'un nouveau code ou un code modifié ne dégrade pas le comportement d'une fonctionnalité validée, qui marche. Plutôt que d'être manuelle, l'exécution de cas de test unitaires peut être automatisée pour alléger la tâche. Il est possible d'associer aux tests de régression l'analyse d'impact pour faciliter les essais ciblés, qui ne visent que les parties modifiées de l'application ou susceptibles d'être altérées par la modification.

Les tests de simulation sont utilisables durant les tests d'intégration (et fonctionnels) pour mettre au jour les problèmes potentiels avant le déploiement de l'application chez le client (recette-usine et recette sur site). Ces essais permettent aux ingénieurs de vérifier les propriétés du système au regard d'un modèle donné ou d'un jumeau numérique. Certes plus chers, ils fournissent en contrepartie de solides garanties sur le comportement du logiciel en phase de test.

Enfin, pour assurer l'exhaustivité des tests, des cas de test peuvent être automatiquement produits à partir des applications réalisées, des critères de couverture assurant que tous les chemins d'exécution du logiciel sont testés. Plutôt que d'obliger les ingénieurs à créer manuellement des cas de test pour vérifier les scénarios possibles, cette technique garantit que les différents états du programme sont couverts par la suite de tests ainsi générée, augmentant la confiance dans le processus.

Gestion des versions

Améliorer cette pratique peut avoir un impact positif sur l'efficacité de la maîtrise d'œuvre du projet, ainsi que sur ses coûts et délais de réalisation ; il s'agit alors d'automatiser le suivi du changement, en langage tant littéral que graphique, éliminant les coûteuses erreurs liées aux méthodes manuelles.

—
05 Tableau de bord des métriques de code pour une application de commande type

—
06 Calcul et représentation des différences entre deux versions de code écrit en langage graphique

Bibliographie

[1] Norme CEI 61131-3, « Automates programmables - Partie 3 : langages de programmation », 2013.

[2] Arroyo, E., Fay, A., Hoernicke, M., Rodriguez, P., Royston, S., « Vers le papier connecté », ABB review, 1/2016, p. 65-69.

[3] Harel, D., « Statecharts: A visual formalism for complex systems », Science of Computer Programming, vol. 8, n° 3, p. 231-274, 1987.

[4] Pavlovic, O., Ehrich, H.-D., « Model Checking PLC Software Written in Function Block Diagram », 3rd International Conference on Software Testing Verification and Validation, IEEE Computer Society, Paris, p. 439-448, 2010.

[5] Blech, J. O., Biha, S. O., « Verification of PLC properties based on formal semantics in Coq », 9th International Conference on Software Engineering and Formal Methods (SEFM), Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, p. 58, 2011.

[6] CoDeSys Static Analysis 3.5.2.0., CoDeSys Professional Developer Edition, 2013.

[7] Nair, A., « Product metrics for IEC 61131-3 languages », 17th Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), IEEE, Cracovie (Pologne), septembre 2012.

[8] Biros, D., « Are You on Track? How Predictive Notification Keeps Production on Track », Livre blanc ABB, p. 18, 2015.

Il faut pour cela créer des outils permettant aux développeurs de visualiser les différentes versions et leurs évolutions en langage graphique. L'utilité d'un tel système réside dans l'affichage et l'énumération de toutes les modifications effectuées entre deux versions d'un même programme écrit dans un langage automate CEI 61131-3 →6.

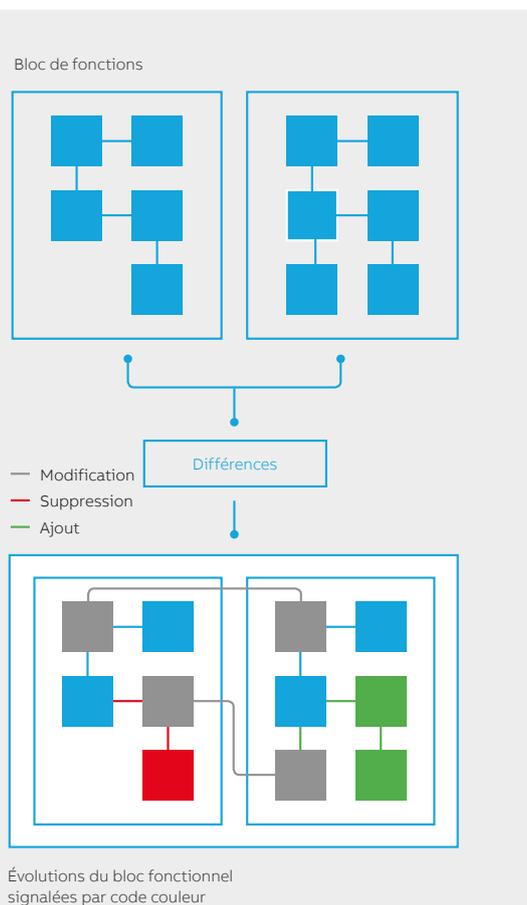
Conscient des obstacles et enjeux de la démarche, ABB met au point des pratiques logicielles en adéquation avec l'univers des automaticiens.

Il existe à cette fin des outils de comparaison et de détection des changements au format texte, directement exploitables. Pour les éditeurs graphiques de la norme, tels que les blocs fonctionnels et diagrammes fonctionnels en séquence (SFC), on peut avoir recours à une notation XML équivalente pour comparer éléments ou composants, et assurer la maintenance des différentes versions.

Pour ce qui est des spécifications de l'application d'automatisme, le comportement du logiciel risque d'être influencé par le matériel et les E/S, ce qui amène à créer un utilitaire évolué de gestion de versions pour évaluer tout impact des changements de programme sur les modules matériels et les bibliothèques. Les versions successives de toute l'installation pourraient ainsi être suivies et conservées.

Les spécificités du génie automatique entravent la recherche et l'élaboration d'outils et de techniques hérités du génie logiciel et de ses langages génériques. Cela n'empêche pas d'évaluer les meilleures pratiques du développement logiciel et d'adapter ses outils et méthodologies à l'automatisation industrielle. Conscient des obstacles et enjeux de la démarche, ABB entend mettre au point et affiner des principes éprouvés en les transposant à l'univers des automatismes. Une intégration réussie qui conjugue à merveille théorie et pratique, dans une synergie réunissant chercheurs et hommes de l'art ABB. ●

06



L'INGÉNIOSITÉ EN ACTION

Gestion d'actifs avec le centre de services AHC

L'énergéticien American Electric Power (AEP), confronté au vieillissement de ses infrastructures de transport, s'est tourné vers ABB pour intégrer les données remontées par les infrastructures et systèmes, et les transformer, au moyen d'algorithmes, en précieuses informations d'aide à la décision.



Gerhard Salge
ABB Power Grids
Zurich (Suisse)

gerhard.salge@ch.abb.com

AEP est un énergéticien intégré qui exploite le plus grand réseau de transport d'électricité aux États-Unis, long de plus de 64 000 km, auquel s'ajoutent 360 000 km de lignes de distribution. Présent dans 11 États, AEP dessert quelque 5,4 millions de clients. Or son infrastructure de transport commençait à accuser son âge : un tiers des transformateurs, par exemple, avait plus de 50 ans d'existence, et 18 % plus de 60. Toute la difficulté était de définir les priorités pour rationaliser le renouvellement et la maintenance des appareils sans dégrader la qualité de service.

Conscient que seul un état des lieux du parc permettrait de définir les actifs ayant un besoin urgent de maintenance, ceux qui pouvaient attendre et ceux devant être remplacés à échéance, AEP a choisi de se rapprocher d'ABB au sein d'une alliance baptisée « AEP-ABB Transmission Technology Alliance ». L'énergéticien s'engageait ainsi vers une plus grande fiabilité de son réseau de transport, une meilleure hiérarchisation des interventions de maintenance et un remplacement opportun des appareils vieillissants. Pour cela, il a décidé de mettre sur pied un centre de services robuste.

Seul un état des lieux du parc permet de définir les actifs ayant un besoin urgent de maintenance, ceux qui peuvent attendre et ceux devant être remplacés à échéance.

AEP s'interrogeait notamment sur deux préoccupations communes à tous les énergéticiens : la prévention des défaillances et l'optimisation de la maintenance →1.

—
01 Tous les électriciens ont besoin de gérer le vieillissement, le suivi d'état et les besoins de maintenance des actifs.



01

Ce dernier organise et hiérarchise les données d'actifs de sorte que les techniciens de maintenance et les opérateurs de conduite reçoivent uniquement les informations pertinentes et indispensables à la prise de décision, au lieu de crouler sous des données inutiles ou sans intérêt.

—
Le premier rôle du centre de services AHC est de dresser en continu un « bilan de santé » des actifs et de décider d'une intervention à l'endroit et au moment opportuns pour anticiper la défaillance.

Son premier rôle est de dresser en continu un « bilan de santé » des actifs et de décider d'une intervention uniquement là et quand elle est nécessaire pour anticiper la défaillance.

Pour développer une telle plate-forme de services stratégique, AEP s'est appuyé sur la grande expérience d'ABB dans la conception et la réalisation de systèmes à la croisée des domaines informatiques et opérationnels. Un aspect central de ce projet, comme de bien d'autres projets similaires de la filière, est l'afflux massif de données utiles qui sont collectées et remontées des capteurs de terrain communicants →2.

ABB est idéalement placé pour fusionner et exploiter ces informations au sein d'un système intégrant toutes les technologies en action.

Le centre de services AHC d'ABB comporte non seulement une plate-forme de collecte des données mais aussi des modèles de systèmes experts capables de recommander des mesures à court et à long terme, selon l'urgence →3. Des fonctionnalités indispensables à une prise de décision efficace, au plus près des machines et équipements.

Le centre AHC comporte aussi des modèles de systèmes experts capables de recommander des mesures à court et à long terme, classées par priorité.

En automatisant cet état des lieux du parc de transformateurs pour identifier exactement les besoins d'intervention ou de remplacement →4, AEP entendait économiser sur les dépenses de fonctionnement et de maintenance. L'énergéticien a déjà pu constater les gains financiers et identifier bien des cas où la défaillance a été anticipée.

AEP est en cela un précurseur car il a saisi très tôt l'originalité et l'intérêt de l'innovation ABB pour centraliser les données historiques et temps réel du réseau, et en tirer des informations capitales et opportunes. Après avoir passé son parc de transformateurs au crible et constaté les gains en termes d'optimisation de la maintenance et de réduction des défaillances, AEP a élargi le périmètre de la solution à d'autres équipements, comme les disjoncteurs. À long terme, l'énergéticien prévoit d'y inclure toutes les grandes catégories d'actifs de son parc.

ABB n'a de cesse de faire progresser la technologie de son centre de services, dont la deuxième génération vient de sortir sur le marché.

02





03

—
02 L'auscultation et le suivi en ligne des transformateurs avec CoreSense™ d'ABB permettent d'anticiper la plupart des dysfonctionnements.

—
03 Le centre de services AHC d'ABB recommande des interventions classées par niveau d'urgence.

La gestion d'actifs de demain : meilleure efficacité et moindre coût

En juillet 2017, ABB a présenté sa nouvelle solution logicielle de gestion des performances des actifs Ability™ Asset Health Center (AHC), basée sur la plate-forme de « cloud » Microsoft Azure. Pour les secteurs industriels à forte intensité capitalistique, c'est la garantie d'une efficacité améliorée à coûts optimisés.

À la pointe de la technologie, le centre de services AHC conjugue analyses prédictives et prescriptives avec des modèles personnalisés s'appuyant sur des décennies d'expertise industrielle. Il calcule la probabilité de défaillance et la criticité de chaque actif pour en déduire les besoins de maintenance et le degré de priorité. Ces modèles experts ne se contentent pas d'identifier de manière cohérente les tout premiers signes de marche dégradée ainsi que leurs risques et importance relative ; ils suggèrent également des actions hiérarchisées d'analyse, de résolution et d'atténuation des dysfonctionnements.

Le centre AHC est un pilier de l'offre ABB de gestion connectée et globale du cycle de vie des actifs →5. Il prend la forme d'une application hébergée (SaaS) dans le cloud Azure, garante d'une exécution simple et rapide. Outre les progrès en

—
Pour les secteurs industriels à forte intensité capitalistique, le centre AHC, qui combine l'offre GPA d'ABB et le cloud Microsoft Azure, est la garantie d'une efficacité améliorée à coûts optimisés.

matière de visualisation et d'analytique, l'intégration de modèles prédictifs, reposant par exemple sur Microsoft Cortana Intelligence, est facilitée.

Le centre AHC associe l'expertise métier qui soutient les solutions logicielles ABB à la dimension mondiale de Microsoft Azure, le tout dans une solution puissante qui améliore la visibilité et accélère la prise de décision. Les énergéticiens sont ainsi armés pour saisir de nouveaux leviers de croissance. Le choix de Microsoft Azure permet de tirer parti de la puissance de calcul des suites Azure IoT et Cortana Intelligence pour instiller de l'intelligence dans les applications métiers de

Les fonctions de suivi d'état et d'alarme garantissent la suppression ou l'atténuation effective des risques identifiés.

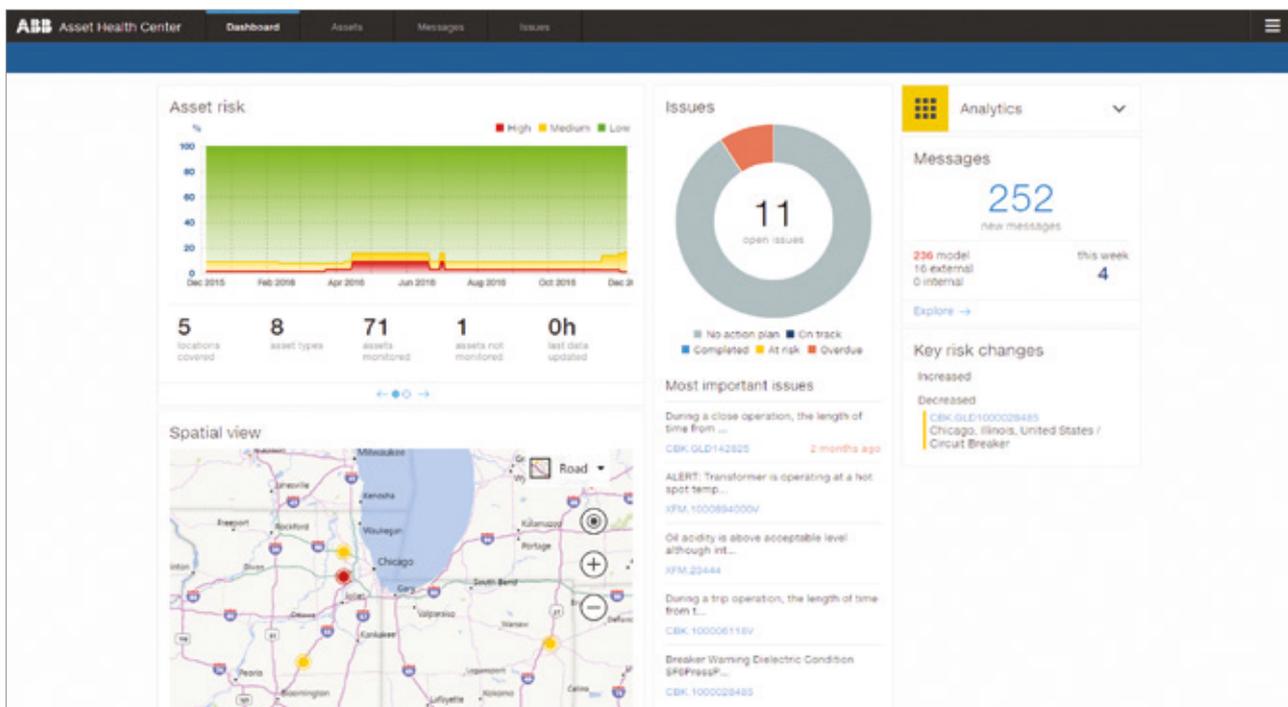
l'industrie. De purement descriptive, l'analyse devient prescriptive pour recommander des actions et faciliter l'optimisation des investissements en fonction du risque, comme le préconise la norme ISO 55000/PAS 55.

Les fonctions de suivi d'état et d'alarme garantissent que les risques identifiés sont bel et bien levés ou atténués ; elles peuvent être activées pour rester informé du statut de ces risques et y réagir correctement. Le centre de services AHC met en évidence les équipements à risque et signale l'achèvement d'actions critiques dans le système de gestion des actifs de l'entreprise. D'autres outils de suivi assurent que les risques identifiés en amont sont résolus à temps, avant de se concrétiser.

Les énergéticiens ne se contentent pas d'identifier et de corriger les défaillances d'actifs avec l'analyse prédictive ; leur quotidien est aussi fait de tâches routinières, comme des contrôles réglementaires ou de la petite maintenance. La plupart du temps, la liste des travaux en attente s'allonge bien au-delà de ce que le personnel est capable de traiter sur-le-champ ! Pour y remédier, le centre AHC collecte toutes les tâches en suspens et les classe par ordre de priorité à l'aide d'un algorithme afin de suggérer au gestionnaire d'actifs un calendrier de maintenance optimisé au regard des risques encourus.

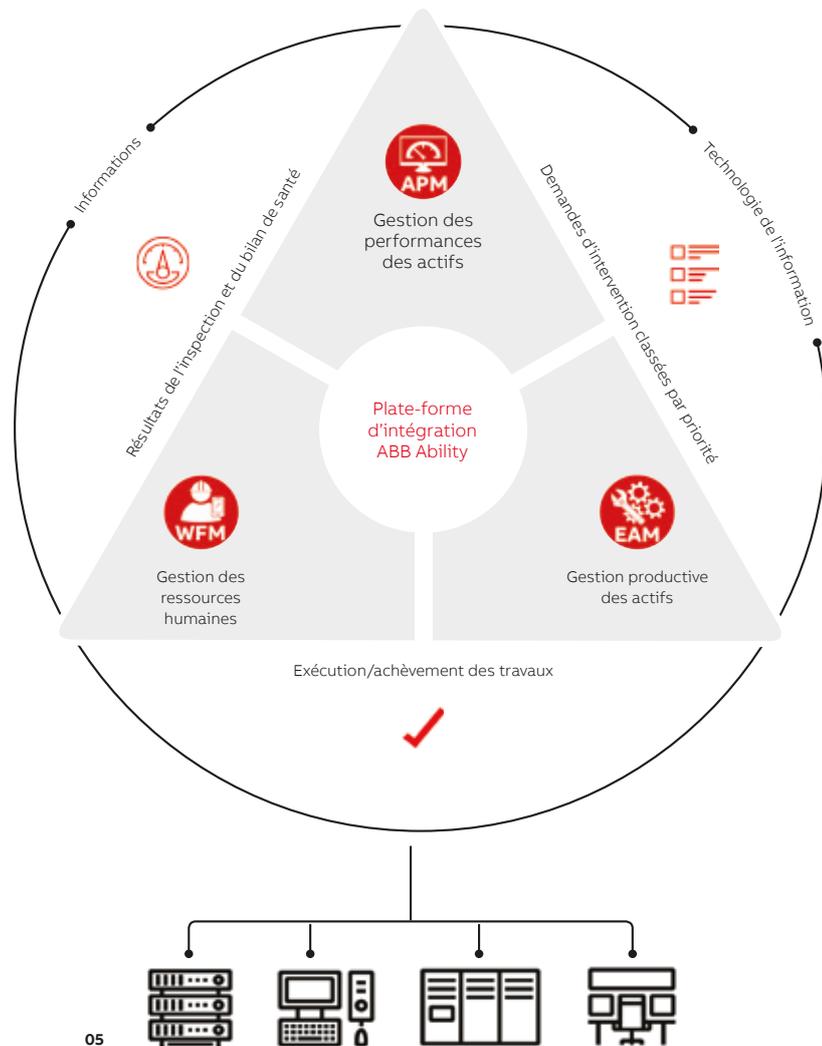
AHC est également un élément central du concept de poste électrique numérique ABB : à partir des données d'état collectées, il optimise la performance et améliore le rendement et la rentabilité du poste en divisant par deux les temps d'arrêt des transformateurs et disjoncteurs.

04



—
04 Le tableau de bord synthétise clairement l'état des actifs afin de minimiser les risques.

—
05 Le centre de services AHC fait partie de l'offre ABB de gestion connectée et globale du cycle de vie des actifs.



À l'image des services AHC, les solutions numériques ABB Ability offrent un tremplin vers la puissance de l'Internet industriel des objets. Les données se concrétisent directement en actions et en plus-value pour le client du monde réel.

—
AHC propose des analyses prédictives et prescriptives ainsi que des modèles personnalisés s'appuyant sur des décennies d'expertise métier ABB.

Dans le nuage ou sur site

Le centre AHC peut être hébergé sur la plate-forme Microsoft Azure ou installé sur le site client. Son architecture évolutive garantit un déploiement et une prise en main en quelques heures, un investissement vite rentabilisé et une faible prise de risque.

L'application peut s'étendre à toute l'entreprise, en respectant les exigences fondamentales des systèmes d'information : cybersécurité, identification unique et intégration avec les systèmes tiers courants. De plus, son évolutivité lui permet d'évoluer au rythme de la gestion d'actifs du client. Le centre de services AHC reposant sur les suites logicielles Azure et Cortana Intelligence, l'ajout d'extensions et leur maintenance n'exigent ni compétences particulières ni formations spécifiques. ●

L'INGÉNIOSITÉ EN ACTION

Nouvelle technologie de convertisseur modulaire multiniveau STATCOM

L'offre ABB de compensateurs statiques synchrones STATCOM, de plus en plus appréciée pour sa capacité à améliorer la stabilité dynamique des réseaux, s'enrichit d'un nouveau dispositif destiné aux moyennes puissances : le convertisseur à source de tension multiniveau SVC Light MP.



Bjørn Ødegård
ABB Power Grid,
Grid Integration
Technology & Solutions
Development
Turgi (Suisse)

bjoern.oedegard@
ch.abb.com



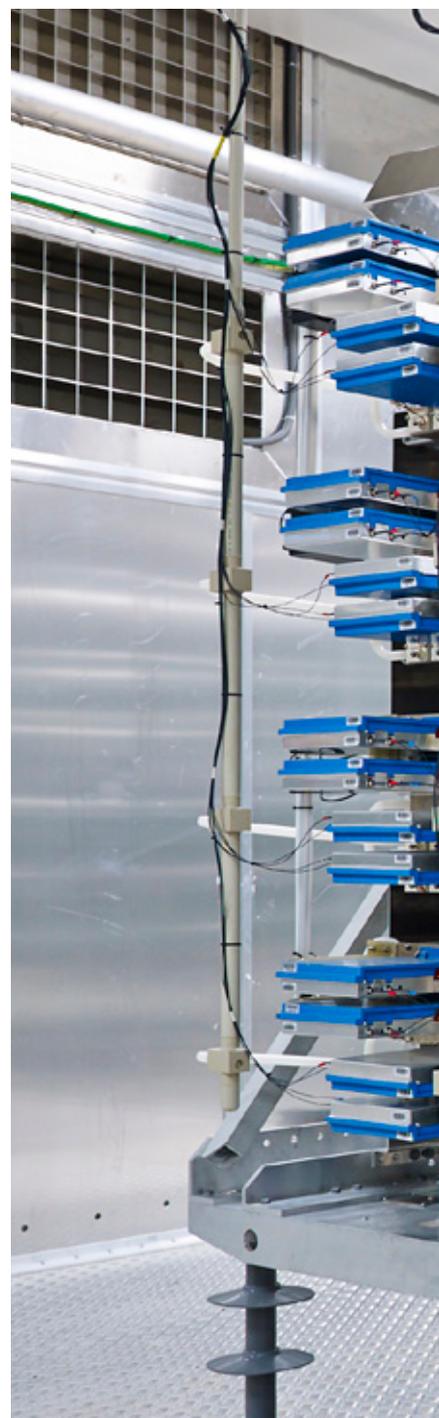
Mauro Monge
ABB Power Grid,
Grid Integration
Västerås (Suède)

mauro.monge@
se.abb.com

L'essor des énergies renouvelables (EnR) dans le monde entier a des répercussions majeures tant sur la production, le transport et la distribution électrique que sur les solutions proposées à la filière. Cette évolution a pour corollaire le passage d'un réseau global, où l'électricité est produite à partir de grandes centrales et acheminée dans un seul sens (producteur-consommateur) à un réseau distribué dans lequel coexistent des unités

Les convertisseurs modulaires multiniveaux ont conquis les applications FACTS et CCHT dans les réseaux de transport et de distribution d'électricité.

centralisées et décentralisées d'approvisionnement (en partie à double sens) de sites ruraux comme urbains. Autre conséquence : la perte de synchronisme de la production, qui se traduit par une diminution de la tenue aux courts-circuits et de l'inertie du réseau électrique.



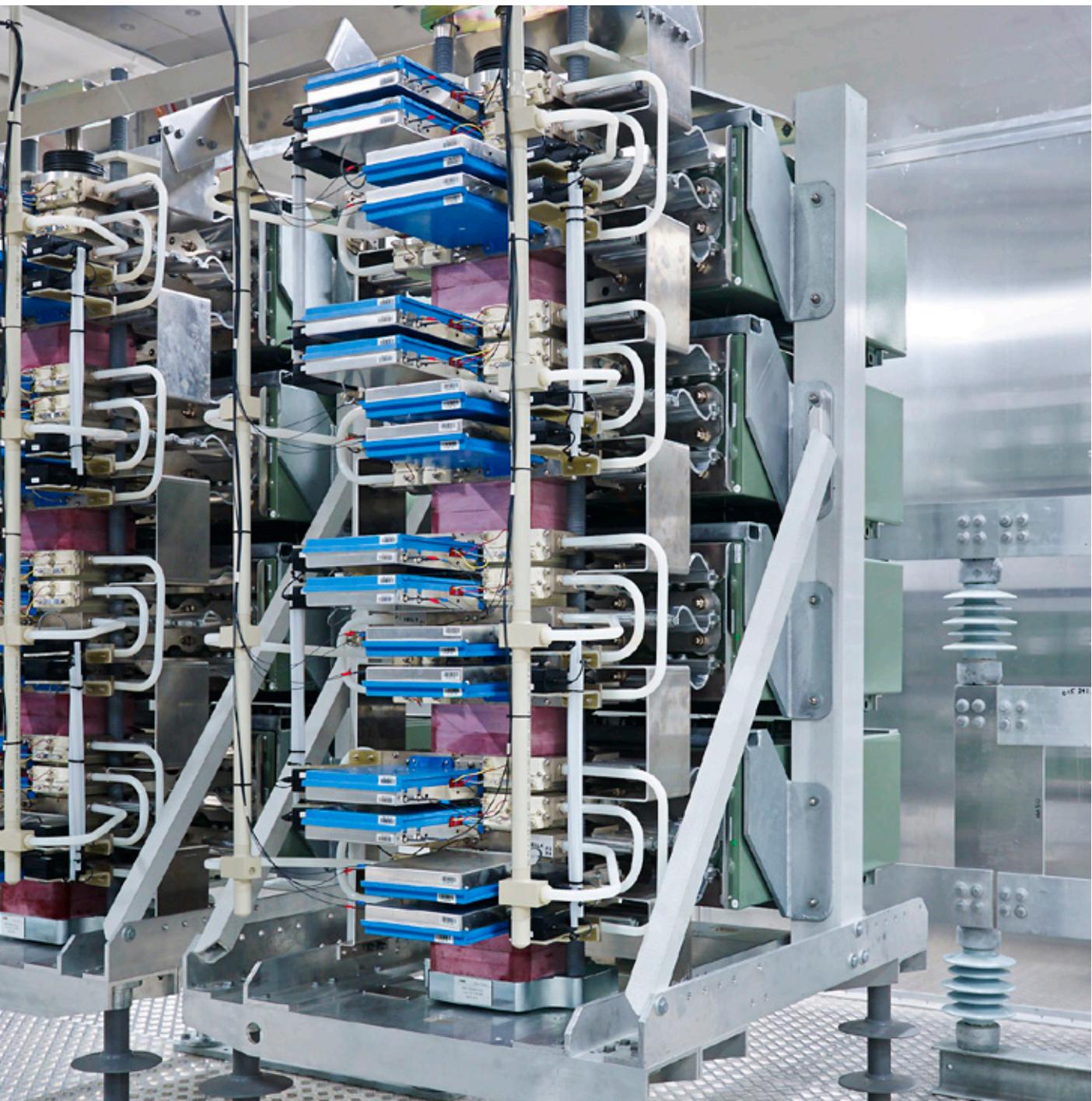
—
01 Compensation de
puissance réactive
FACTS d'ABB

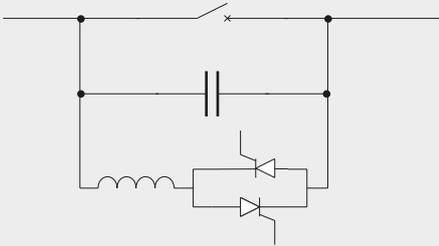
Du fait de cette configuration, le réseau sera de plus en plus soumis à des fluctuations dynamiques, qu'il faudra davantage prendre en compte au moment de dimensionner et de caractériser (type, site, etc.) les installations « FACTS » qui régulent la compensation de puissance réactive →1. Dans ce contexte, il est d'autant plus important que l'offre de compensateurs soit à la fois fournie et polyvalente pour garantir des solutions optimales aux clients confrontés aux nouveaux modèles de production et de distribution d'énergie.

Ces dispositifs présentent l'avantage

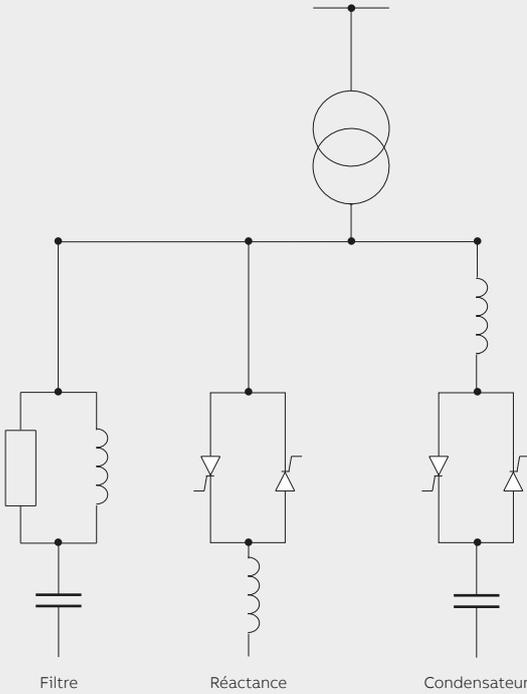
- d'améliorer la stabilité du système électrique et de limiter le risque de coupures ;
- d'accroître la capacité de transit des lignes existantes, allégeant le poids des investissements de l'énergéticien en infrastructures ;
- de se conformer à des règles de raccordement ou « codes réseau » de plus en plus exigeants, surtout pour le couplage de la production EnR ;
- de s'adapter en souplesse aux variations dynamiques de la configuration réseau ou de la production industrielle, avec de simples mises à niveau de l'équipement.

01

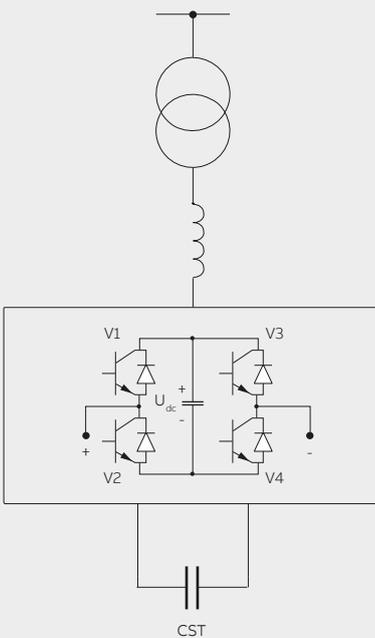




02a



02b



02c

Le portefeuille FACTS d'ABB comprend aussi bien des systèmes de compensation série fixe ou commandée par thyristors pour réaliser des topologies SVC classiques (avec condensateurs et réactances commutés par thyristors) →2a, 2b que le dernier cri des compensateurs statiques synchrones STATCOM ; ceux-ci sont basés sur la technologie des convertisseurs à source de tension →2c et des semi-conducteurs de puissance à commutation autonome (transistors bipolaires à grille isolée IGBT ou thyristors intégrés commutés par la gâchette IGCT) pour bâtir des structures modulaires à double ou triple niveau de conversion, voire plus. Sans oublier des solutions hybrides conjuguant STATCOM et SVC classique [1].

Avec le nouveau SVC Light MP, ABB dispose d'un catalogue complet de dispositifs FACTS qui aident ses clients à résoudre les problèmes de qualité de l'onde.

La compensation statique synchrone s'est imposée ces dernières années dans un nombre croissant d'applications, portée par l'évolution du réseau électrique et par la capacité de la technologie STATCOM à atténuer les conséquences des réseaux fragiles.

La solution progresse encore avec le convertisseur modulaire à niveaux multiples « MMC » qui a récemment conquis les très grandes puissances et très hautes tensions, domaines des FACTS et des liaisons à courant continu haute tension (CCHT) [2].

—
02 Les solutions FACTS d'ABB se déclinent en une multitude de variantes technologiques.

02a Compensateur série commandé par thyristors

02b Compensateur SVC classique

02c Compensateur STATCOM SVC Light

—
03 Topologies de convertisseur STATCOM et formes d'onde de sortie avec valeurs de tension correspondantes à la fréquence fondamentale

03a CST à deux niveaux

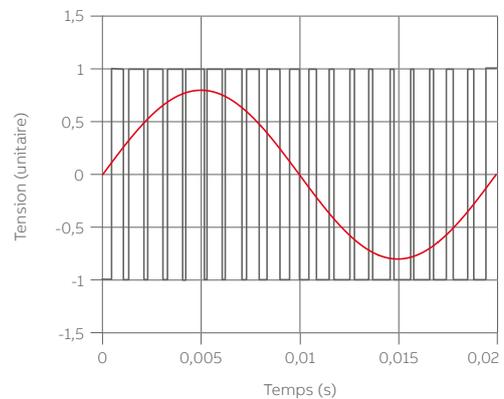
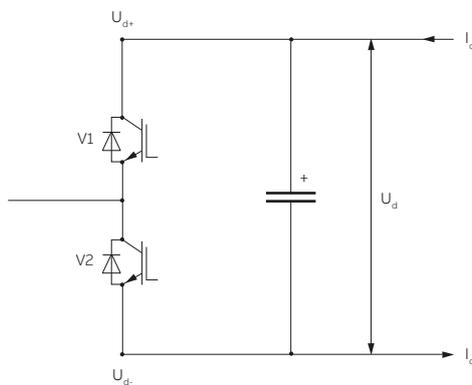
03b CST à trois niveaux

03c MMC chaîné

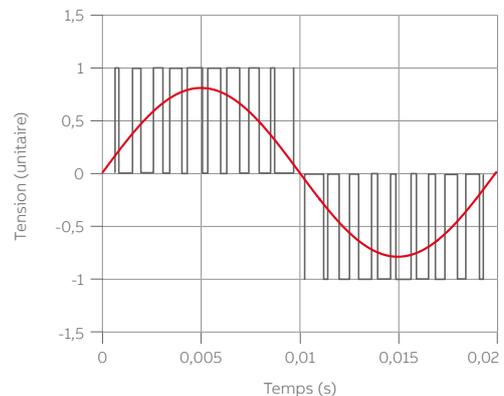
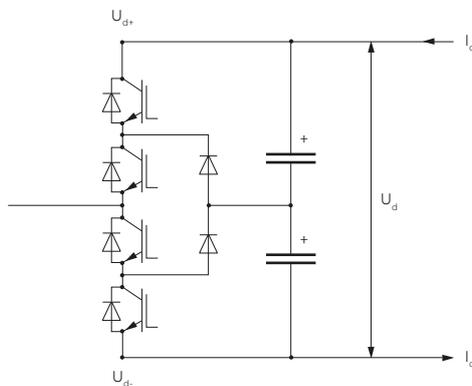
Un succès justifié

Les convertisseurs chaînés qui équipent la toute dernière génération de dispositifs SVC Light s'appuient sur le raccordement série de cellules de convertisseur à source de tension (CST) identiques, qui commutent indépendamment l'une de l'autre, chacune contribuant par une valeur de tension négative, nulle ou positive à la tension totale du CST →3. Les multiples avantages de cette topologie expliquent la réussite de la solution :

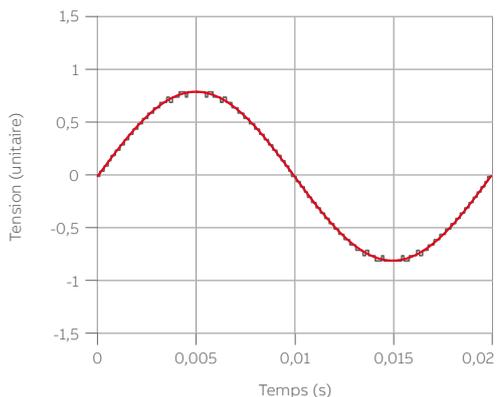
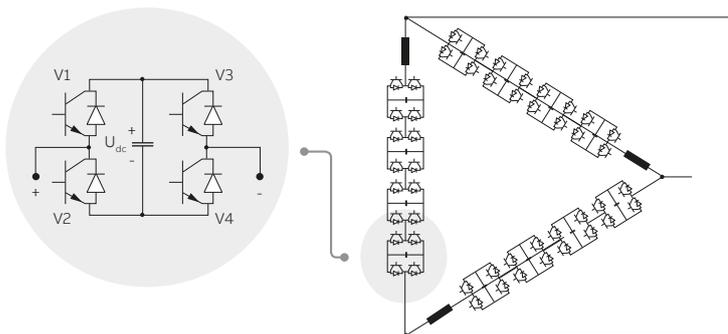
- La commutation indépendante des cellules permet d'échelonner sur plusieurs niveaux la montée en tension aux bornes pour générer une sinusoïde de qualité, avec l'avantage sur les autres topologies de convertisseur de réduire sensiblement les harmoniques ;



03a



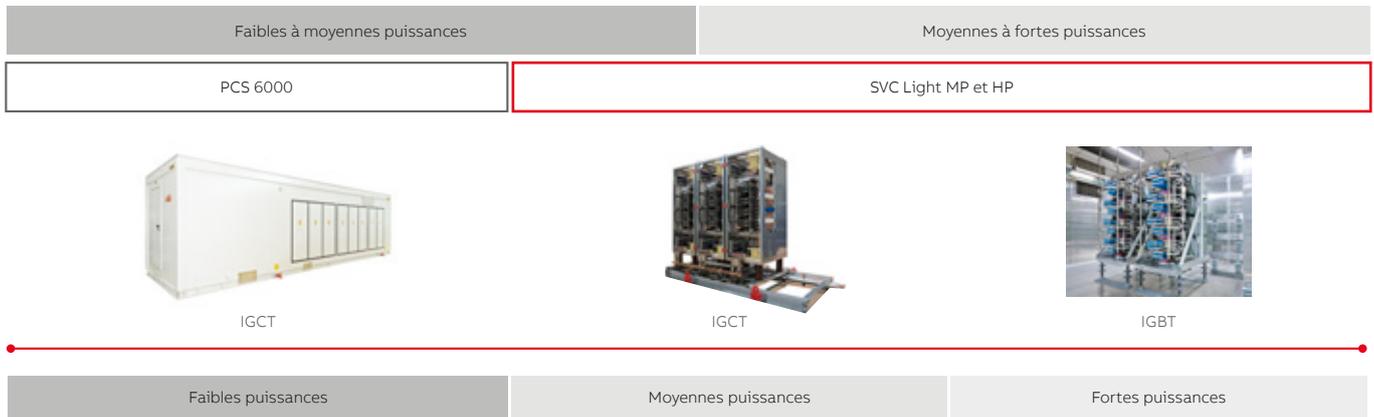
03b



03c

—
La technologie de boîtier pressé d'ABB surpasse en fiabilité et à moindre coût les modules industriels à fils de métallisation.

- SVC Light se plie aux plus dures exigences de la dépollution harmonique sans recourir à un filtrage d'harmoniques de rangs faibles, augmentant sa robustesse aux résonances et minimisant les pertes globales du système. La conformité au code réseau peut parfois exiger un petit filtre passe-haut ;



04

- L'empreinte au sol est globalement inférieure à celles des technologies SVC classique et STATCOM, en raison du moindre besoin de composants passifs dans le poste ;
- Il est possible de renforcer la robustesse du système et sa tenue aux défaillances par la mise en série de cellules MMC redondantes avec, à la clé, des niveaux de fiabilité extrêmement élevés (supérieurs à 99,5 %), et de satisfaire au cahier des charges des clients en adaptant légèrement la modularité STATCOM ;
- L'association en série des cellules de commutation autorise le raccordement direct aux bornes moyenne tension, sans passer par un transformateur. Selon les besoins de puissance, cette connexion permet de réaliser un SVC Light sans transformateur pour une tension réseau jusqu' à 69 kV ;

Basé sur des thyristors IGCT en boîtier pressé, SVC Light MP est le fruit d'une collaboration fructueuse entre experts du développement applicatif, de la conversion de puissance et des semi-conducteurs.

- L'utilisation de convertisseurs modulaires chaînés dans un certain nombre de cellules identiques favorise grandement la préfabrication et les essais en usine : on gagne ainsi sur les délais de réalisation du projet et la qualité du produit. Cette modularisation ouvre également la voie à une architecture standardisée et évolutive de l'installation.



05a



05b



05c

—
04 Éventail de l'offre
STATCOM d'ABB

—
05 Cellules et
convertisseurs MMC
à IGBT (SVC Light HP) et
à IGCT (SVC Light MP)

05a IGBT (sans com-
mande de gâchette)

05b IGCT (avec com-
mande de gâchette)

05c SVC Light HP à IGBT
en boîtier pressé, quatre
cellules par module

05d SVC Light MP à IGCT
en boîtier pressé, deux
cellules par module

05e Agencement de con-
vertisseurs SVC Light MP

Catalogue ABB

ABB propose des solutions STATCOM pour des puissances assignées jusqu'à 425 MVar et différents domaines de tension de raccordement, grâce à une technologie diversifiée qui maximise les performances et la valeur ajoutée du client au regard de ses spécificités applicatives.

Les convertisseurs STATCOM d'ABB, pour des puissances supérieures à 10 MVar, se déclinent en deux familles : PCS 6000 et SVC Light. Le choix de la technologie adéquate fait partie de l'optimisation globale de la solution système, qui tient compte des performances, de l'investissement total et du coût de fonctionnement de l'installation.

Pour les faibles puissances, le PCS 6000 utilise des thyristors IGCT en boîtier pressé dans une topologie CST à trois niveaux. À l'autre extrémité du spectre, SVC Light HP met en œuvre des transistors IGBT en boîtier pressé, dans une variante haute puissance de la conversion chaînée multi-niveau MMC. Au milieu s'insère le dernier membre de la famille STATCOM d'ABB, SVC Light MP →4.

SVC Light MP

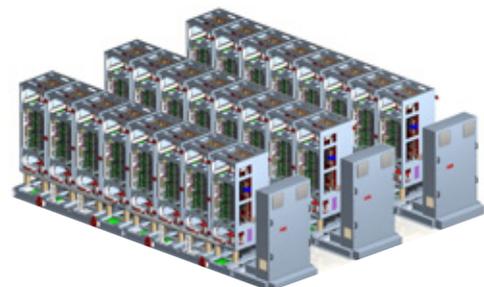
Forte de ces avantages, la technologie MMC a été choisie pour le nouveau convertisseur à IGCT en boîtier pressé →5, fruit d'une collaboration fructueuse entre spécialistes du développement

—
**Totalement intégrée à la plate-
forme SVC Light, la version
moyenne puissance MP utilise
des algorithmes de commande
éprouvés.**

applicatif, de la conversion de puissance et des semi-conducteurs. Cette synergie a beaucoup fait progresser la technologie des IGCT à conduction inverse [4] qui s'adaptent parfaitement aux besoins du convertisseur MMC, composant clé de la solution STATCOM, pour lui conférer une efficacité et une robustesse hors pair. Grâce à un cycle de mise en charge plus performant et à un mode de défaillance en court-circuit intrinsèquement stable, la technologie de boîtier pressé d'ABB surpasse en fiabilité les modules industriels à fils de métallisation, tout en étant moins chère à l'usage.



05d



05e

Compte tenu du très grand nombre de semi-conducteurs utilisés dans les applications de moyennes et hautes tension et puissance, offrir le niveau de disponibilité exigé des clients impose une continuité de fonctionnement après un seul défaut.

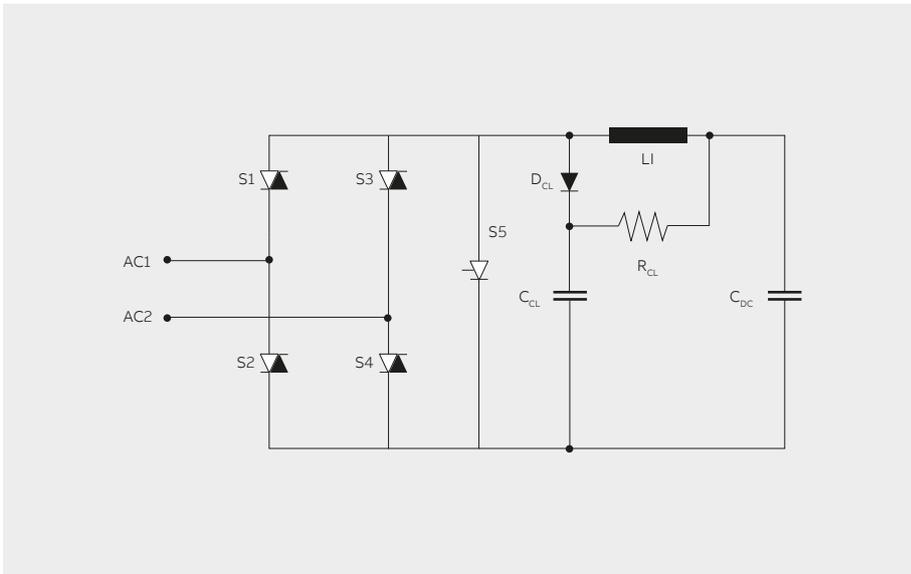
Le thyristor peut faire passer le courant de dérivation à travers la cellule défectueuse en quelques microsecondes.

Dans le nouveau convertisseur chaîné à IGCT, cette fonction est dévolue à l'interrupteur de by-pass S5 →6a : dans les microsecondes qui suivent l'apparition du défaut, ce thyristor peut

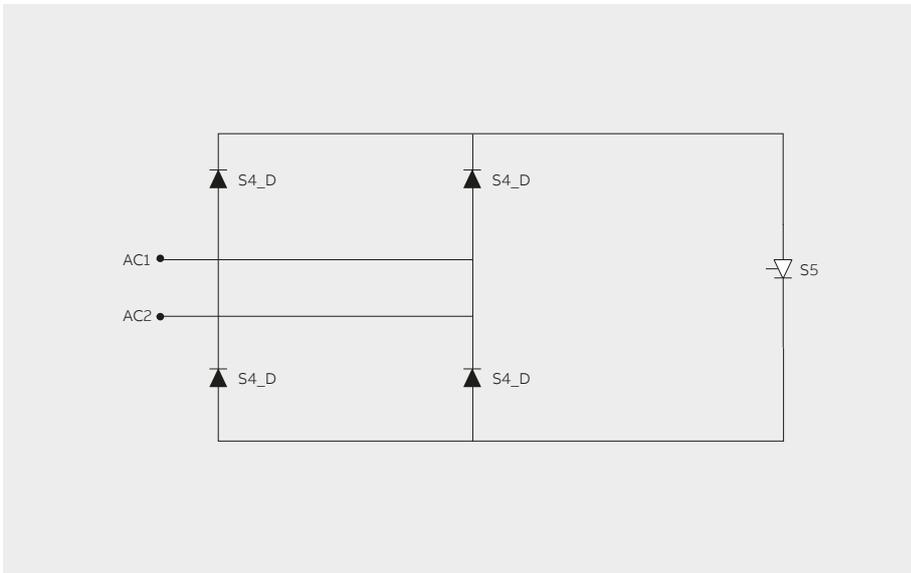
faire passer le courant de dérivation à travers la cellule défectueuse et gérer le courant de décharge du condensateur de la cellule sans endommager le boîtier du thyristor. Sur défaut, le composant se met naturellement en court-circuit et se maintient dans un état stable de façon à sécuriser et à fiabiliser son fonctionnement jusqu'à la prochaine échéance de maintenance →6b. Ce mode de défaillance a récemment subi un test d'endurance de 8760 heures.

Le dernier-né d'une lignée prospère

Avec le nouveau SVC Light MP, ABB dispose de toute une panoplie de solutions FACTS qui lui permettent, fidèle à son rôle de précurseur et de chef de file du domaine, d'aider pleinement ses clients à résoudre les problèmes de qualité de l'électricité dans diverses applications : lignes de grand transport, intégration des EnR, réseaux industriels, etc.



06a



06b

—
06 Circuit de puissance d'un MMC à IGCT

06a Cellule SVC Light MP

06b Parcours stable et continu du courant de dérivation d'une cellule en défaut (branche de droite)

—
Bibliographie

[1] Hutchinson, S., Halonen, M., « STATCOM and Hybrid STATCOM Solutions Based on Chain-Link Multilevel Converter Technology for the Electrical Transmission Network », Gridtech 2015, Delhi (Inde), avril 2015.

[2] Jacobson, B., et al., « VSC-HVDC Transmission with Cascaded Two-Level Converters », CIGRÉ 2010.

[3] Ødegård, B., et al., « Rugged MMC converter cell for high power applications », Electric Power Engineering (EPE) 2016, Karlsruhe (Allemagne), septembre 2016.

[4] Vemulapati, U., et al., « Méga saut de puce : les dernières évolutions des composants IGCT de forte puissance », ABB review, 4/2016, p. 67-71.

[5] Grünbaum, R., et al., « FACTS: Powerful means for dynamic load balancing and voltage support of AC traction feeders », Power Tech 2001, Porto (Portugal).

[6] Bagnall, T., et al., « PCS6000 STATCOM ancillary functions: Wind park resonance damping », European Wind Energy Conference (EWEC) 2009, Marseille.

[7] Grünbaum, R., et al., « STATCOM for Grid Code Compliance of a Steel Plant Connection », 19th International Conference on Electricity Distribution, Vienne (Autriche), mai 2007.

Toute la famille de dispositifs STATCOM SVC Light d'ABB s'articule autour des exigences des clients. Les experts du génie électrique, les concepteurs et les développeurs s'en inspirent pour optimiser les performances et définir la configuration la mieux adaptée à chaque cas de figure : convertisseur, système de contrôle-commande, mode de refroidissement, enveloppes, éléments passifs (inductances de phase, éventuellement filtres), disjoncteurs, sectionneurs et transformateur de puissance.

L'ensemble est piloté et protégé par la plateforme modulaire de conduite avancée MACH, partie intégrante de la solution ABB Ability™ développée spécifiquement pour des applications très contraignantes en termes de performance et de disponibilité, comme le CCHT et les FACTS. La solution, déployée dans des centaines d'applications de par le monde, intègre un contrôleur temps réel 100 % redondant qui traite et utilise les signaux reçus de tous les principaux équipements de poste ainsi que les mesures des transformateurs de courant et de tension aux fins de synchronisation, de supervision, de commande et de protection. MACH assure ainsi des fonctions de surveillance et d'exploitation en local comme à distance, cybersécurité incluse, de toutes les installations.

Totalement intégrée à la plate-forme et à la philosophie de commande SVC Light opérant dans plus de 800 FACTS, la nouvelle technologie SVC Light MP fait usage d'algorithmes rompus aux multiples exigences de la qualité de la fourniture électrique : régulation de tension ultrarapide (moins d'un cycle), équilibrage de charge [5], filtrage actif d'harmoniques, stabilisation de la production éolienne [6], compensation du papillement dans l'industrie [7], etc.

—
La version moyenne puissance MP est totalement intégrée à la plate-forme SVC Light d'ABB.

Tout au long de son cycle de vie, une installation FACTS d'ABB accompagne le client avec des solutions et des services durables et rentables qui maximisent la disponibilité, la fiabilité et la performance du système.

SVC Light MP y contribue pleinement. ●

Parmi les travaux scientifiques de ces dernières années, la place revient aux recherches sur la transmutation atomique. Cette nouvelle branche de la physique prend un rapide développement. Les physiciens peuvent maintenant, dans des expériences, transmuter entre eux des éléments chimiques artificiellement un grand nombre de nouvelles substances inconnues. C'est parmi ces nouveaux éléments qu'il y a des sortes d'atomes radioactifs du plus haut intérêt. Les atomes, animés de très grandes vitesses, nécessaires à leur production, sont fournis de la façon la plus élégante et la plus économique. La radioactivité est d'extrême importance pour la chimie, les recherches biologiques, et l'énergie libérée lors de la désintégration des atomes, mise en valeur techniquement, réserve importante.

1° ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DE LA MATIÈRE
FORCES ATOMIQUES

Les physiciens sont actuellement d'accord sur le fait que la matière se décompose en particules élémentaires. Les particules les plus simples à l'état libre sont les électrons, les protons et les neutrons. Nous insistons sur le fait que les électrons sont les principaux constituants de la matière. Nous insistons également sur le fait que les électrons sont considérés d'une façon particulière comme des particules ondulatoires, comme les photons, et les neutrons, que corpusculaire, des particules et légères.

Les électrons sont les principaux constituants du groupe des particules élémentaires légères.

Mouvement perpétuel



Indice décimal 539.152.1 --- 539.17

années, la première artificielle des atomes. rapide développement. expériences sûres, non connus, mais propriétés d'atomes, encore ne l'on trouve les 300. Les noyaux d'atome la transmutation des par le cyclotron. La chimie et surtout pour de la transmutation des possibilités in-

arbitrairement égale à 16,000.) Un électron est donc environ 2000 fois plus léger qu'un atome d'hydrogène. A côté de ces électrons légers, il existe des électrons lourds appelés *mesotons*. Ils portent la même charge que les électrons légers, mais sont environ 160 fois plus lourds. Nous engloberons aussi dans les particules légères les grains de lumière ou photons. Ce sont les particules élémentaires qui permettent le transport d'énergie par tous les genres de rayonnement

L'ATOME ET

is que tous les m... pu... co... utifs d... particules él... p... à méca... ies de natu... ticules lourdes

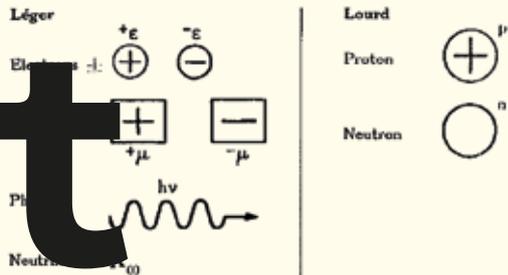


Fig. 1. — Particules élémentaires.

électromagnétique, rayons γ , rayons X, lumière ultra-

65

L'innovation est disruptive lorsqu'elle remet en question le statu quo. C'est ce que fait ABB depuis 1900 et la création de son premier laboratoire dédié aux turbines à vapeur. Le demi-siècle écoulé a vu les chercheurs du Groupe révolutionner bien des domaines, du laser à l'électronique de puissance en passant par l'automatisation. Des progrès dont ont directement bénéficié les clients d'ABB. Et l'histoire n'est pas finie...

- 52 Cinquante ans de recherche ABB en Suisse
- 64 Un sans-fil d'avance
- 65 La physique atomique en 1941



52

 MOUVEMENT PERPÉTUEL

Cinquante ans de recherche ABB en Suisse

En 1967, ABB implantait dans la ville suisse de Baden-Dättwil un centre de recherche accueillant 34 scientifiques. Cinquante ans plus tard, cette branche helvétique de la recherche institutionnelle ABB s'est considérablement étoffée, s'illustrant par un flot continu de percées technologiques et d'innovations produits.



Anthony Byatt
Rédacteur indépendant

Pour en savoir plus, contactez sandra.andermahr@ch.abb.com

Nous remercions tout particulièrement les nombreux auteurs pour leurs travaux et contributions qui constituent depuis un demi-siècle le terreau dont se nourrit le présent article.

C'est à Baden (Suisse) que Charles Brown et Walter Boveri fondent en 1891 une entreprise destinée à exploiter les atouts d'une nouvelle technologie prometteuse : l'électricité. Au même titre que la société suédoise ASEA, Brown, Boveri & Cie (BBC) est l'ancêtre du groupe ABB. La vision et l'esprit d'entreprise de ses fondateurs en ont fait un pionnier à l'origine de nombreuses innovations

La vision et l'esprit d'entreprise des fondateurs de BBC en ont fait un pionnier de nombreuses technologies toujours d'actualité.

incontournables aujourd'hui. Si, durant les dix premières années de son existence, la recherche-développement (R&D) est menée directement par les équipes en charge du développement produits, en 1900, la décision est prise de créer à Baden un laboratoire consacré aux turbines à vapeur. Pour faire face à l'accélération du progrès scientifique, un laboratoire de physique suit en 1916 puis, en 1943, un autre dédié aux produits haute tension (HT), tous deux également à Baden.



01

02





— 01 Entrée du centre de recherche du Groupe à Baden-Dättwil (Suisse)

— 02 Professeur Ambros P. Speiser (1922-2003), premier directeur de la recherche BBC

Dans cette même ville est inauguré en 1957 le célèbre « Zentrallabor » (laboratoire central). Ce site est à l'origine d'un nombre incalculable d'innovations dans le domaine des applications énergétiques et industrielles, qui pour la plupart font encore autorité. Conscient que toutes ces mutations technologiques étaient le fruit des progrès de la recherche fondamentale et qu'il était désormais capital d'aborder ce processus de création de manière globale, le Groupe s'est attelé en 1966 à la création d'une organisation de recherche institutionnelle.

ABB a alors recruté son premier directeur de la recherche, le professeur Ambros P. Speiser →2, afin de monter le centre de recherche institutionnel qui allait voir le jour un an plus tard.

Ambros P. Speiser était tout désigné pour ce poste. Diplômé de l'École polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ), il avait exercé ses talents de chercheur à Harvard et Princeton, et travaillé avec Heinz Rutishauser et Eduard Stiefel sur les calculateurs électroniques de première génération, supervisant notamment le développement d'ERMETH, premier ordinateur suisse. Par ailleurs, il avait créé et dirigé le laboratoire de recherche IBM de Rüschlikon, en Suisse, nobélisé à deux reprises pour ses travaux sur le microscope à effet tunnel (1986) et les supraconducteurs à haute température (1987).

Recherche institutionnelle ABB Temps forts

1980 – 2017

Disjoncteur haute tension à autosoufflage

1970 – 1975 : étude théorique de quantification de l'arc et mise au point de nouvelles méthodes de diagnostic. Cette compréhension approfondie du mécanisme et les nouveaux concepts élaborés, tels que l'autosoufflage, ont permis d'asseoir la réputation internationale du Groupe, jamais démentie.

1975 – 1980 : études complémentaires du principe d'autosoufflage. BBC a commencé par exploiter le déplacement de l'arc par force magnétique dans ses produits moyenne tension (MT) en 1977. Par la suite, l'autosoufflage a été appliqué aux disjoncteurs HT en utilisant le phénomène d'ablation des buses en PTFE.



1980

Évaluation de la technologie, puis essais de 1981 à 1985.

1985

Premier produit : disjoncteur sous tension de 72,5 kV et courant de court-circuit de 25 kA.

2017

Les propriétés des arcs à plasma sont étudiées par spectroscopie et imagerie haute vitesse. Grâce à des simulations de champ multiphysiques en 3D et des expériences de forte puissance ad hoc,

le centre de recherche suisse d'ABB est à l'avant-garde de l'expérimentation sous haute tension → photo. L'autosoufflage reste le principe le plus répandu dans les disjoncteurs HT, tous fabricants confondus.

Une nouvelle ère

Le centre de Baden-Dättwil →1, 3 a été créé dans un contexte de révolution technologique. À peine quelques années auparavant, Fairchild lançait le premier circuit intégré analogique à large diffusion, sans se douter de la portée de cette invention dans les décennies suivantes. La conquête de l'espace était menée tambour battant, les missions lunaires débouchant sur des percées technologiques majeures. L'énergie atomique était en plein essor. Nombre de pays européens découvraient la

télévision couleur. Or, à cette même époque, BBC était chef de file de la production, du transport et la distribution d'électricité, ainsi que de nombreux autres domaines. Bref, une époque bénie pour bâtir un nouveau centre de recherche.

Une mission de recherche fondamentale

Le centre eut pour mission première de mettre sur pied un programme de recherche fondamentale à moyen et long terme, mesuré à l'aune non seulement de ses débouchés applicatifs, mais aussi de

03a



03b



1990 – 2017

Appareillage d'interruption à isolation gazeuse écologique (HT et MT)

Très utilisé dans les appareillages à isolation gazeuse (GIS), l'hexafluorure de soufre (SF₆) n'en est pas moins un puissant gaz à effet de serre. ABB est le premier constructeur à proposer des GIS MT rempli d'un gaz isolant écoresponsable. Son centre de Baden-Dättwil a beaucoup contribué à ce saut technologique en étudiant la compatibilité du nouveau gaz avec les matériaux constitutifs du GIS, dans une variété de conditions d'exploitation.



Années 1990

Travail approfondi de sélection et de test des gaz de substitution au SF₆.

2008 – 2012

Collaboration entre la recherche suisse et la R&D des divisions du Groupe pour le développement d'un disjoncteur HT isolé au CO₂.

2009

Développement par la société 3M de fluorocétones entrant dans la composition de diélectriques écologiques.

2009 – 2015

Étude des propriétés diélectriques et physiques, et de la compatibilité des matériaux constitués de mélanges à base de fluorocétones.

2015

Inauguration par l'énergéticien suisse ewz du poste électrique d'Oerlikon (Zurich), premier du genre à être équipé d'un appareillage d'interruption écologique MT et HT.

2016

Mise sur le marché des appareillages MT compacts sans SF₆ SafeRing AirPlus™ → photo et ZX2 AirPlus.

2017

Poursuite des recherches sur des solutions écologiques encore plus performantes.

03 Vues aériennes du site

03a Le site BBC construit en 1972, en périphérie de Baden ; l'équipe fondatrice de 1967 travaillait en attendant dans des locaux voisins.

03b Le même site en 2015, avec ses extensions et prolongements alentour

son importance scientifique. Les développements prometteurs étaient ensuite transférés aux différentes divisions du Groupe pour être industrialisés. Les premières décennies ont vu s'élargir le champ des études BBC :

En 1973, les laboratoires de recherche allemands de BBC et le CERCEM français rejoignent le giron de la recherche mondiale BBC.

- 1967 : mesures laser, carbure de silicium (projet repris du Zentrallabor) ;
- 1968 : physique des plasmas, magnétisme, métallurgie physique, physique théorique ;
- 1969 : semi-conducteurs ;
- 1970 : automatismes et afficheurs à cristaux liquides ;
- 1973 : mécanique de la rupture ;
- 1974 : mécanique des fluides ;
- 1979 : électrochimie et matériaux frittés ;
- 1980 : informatique ;
- 1984 : compatibilité électromagnétique, communications et chiffrement ;
- 1985 : productique, optoélectronique et technologies environnementales ;
- 1986 : microélectronique et robotique.

En 1973, les laboratoires de recherche allemands de BBC à Heidelberg et le CERCEM français, au Bourget, ont rejoint le giron de la recherche institutionnelle BBC. Mais c'est en 1988 qu'a eu lieu l'événement majeur : la fusion d'ASEA et BBC pour former ABB.



1967 – 2017

Parafoudres à oxyde métallique (varistances)

La limitation des surtensions dans les réseaux électriques passe par un dimensionnement et un positionnement adéquats des parafoudres, de la gamme POLIM d'ABB par exemple. Grâce au travail des équipes de recherche suisses, ABB maîtrise en interne toute la chaîne de valeur relative aux parafoudres, des matières premières au produit fini.



1967

Matsushita découvre par accident le principe de la varistance à oxyde de zinc (ZnO).

1972

GE commence à produire des varistances à oxyde métallique BT sous licence Matsushita.

1976

La recherche de BBC en Suisse présente ses propres varistances à oxyde métallique BT ; pour autant, l'entreprise hésite à les produire.

1976

ASEA achète la technologie Matsushita et lance la production.

1980

ASEA propose une gamme complète de parafoudres à oxyde métallique HT.

1982 – 1987

La production de varistances et de parafoudres BBC monte en charge grâce aux travaux des chercheurs suisses.

1984

BBC développe les premiers parafoudres à isolation polymère pour la distribution MT.

1988

ABB, né de fusion de BBC et d'ASEA, prend la tête du marché des parafoudres à oxyde métallique destinés aux AIS et GIS MT et HT, au transport CA/CC, à l'UHT, au ferroviaire, etc. Datant de 2001, l'un des premiers parafoudres/isolateurs de ligne suspendus de type POLIM-S combine fonction de support mécanique et protection contre les surtensions → photo.

1988

Rapprochement des R&D suisse et suédoise autour des technologies à oxyde métallique.

2011

Développement par ABB des varistances à oxyde métallique à champ élevé pour GIS compact.

2017

Poursuite des recherches et du développement produit autour de nouvelles applications d'électronique de puissance.

Ce rapprochement a donné lieu à des programmes de gestion coordonnée des centres de recherche ABB, désormais au nombre de six (en Suisse, Suède, Allemagne, Norvège, Finlande et Italie), qui rassemblent plus de 800 chercheurs. À la même époque, le rôle de la recherche institutionnelle a été redéfini : le volet science fondamentale a

Le rôle de la recherche institutionnelle a été redéfini au profit d'un travail plus orienté vers les divisions et marchés du Groupe.

été quelque peu réduit au profit d'un travail plus tourné vers les besoins des divisions et marchés du Groupe. Aujourd'hui encore, les programmes de recherche du centre suisse sont le prolongement de cette nouvelle orientation métier.

Domaines de recherche

Le centre de Baden-Dättwil compte quelque 200 collaborateurs originaires de plus de 35 pays, spécialistes de l'automatisation, de l'électronique de puissance, de l'énergie et des matériaux, ainsi que des produits et systèmes énergétiques. Voici un florilège de ces domaines d'étude.

Automatisation

L'automatisation industrielle franchit un nouveau cap : les systèmes d'automatisme ne se contentent plus d'exécuter de simples boucles de régulation ou des processus à base de règles, mais optimisent la performance globale en s'appuyant sur une compréhension holistique de l'état du système, sur la prédiction, voire sur une adaptation automatique des abstractions du process. Avec la plate-forme ABB Ability™, le Groupe s'érige en pilote de cette transformation.

1968 – 1984

Afficheurs à cristaux liquides (LCD)



1968

RCA présente les premiers LCD à dispersion dynamique.

1969

BBC décide d'investir le marché de l'électronique médicale.

1969 – 1972

Collaboration avec Hoffmann-La Roche.

1970

Hoffmann-La Roche invente le LCD à nématique en hélice (TN).

1973

La première montre à écran LCD au monde est présentée au salon MUBA de Bâle, fruit d'une collaboration entre Hoffman-La Roche (cristaux liquides), BBC (écran), Farelec (circuit intégré) et Ébanches (montre).

1973

Lancement d'une ligne de production de LCD pilote dans l'usine de tubes à vide de Birr.

1974

L'usine suisse de Lenzbourg, 110 salariés, fabrique des afficheurs pour Casio (Casiotron) et des horlogers helvétiques.

1978

Lancement d'une chaîne de montage à Hong Kong.

1980

BBC et Philips forment la coentreprise Videlec.

1983

Invention du LCD à nématique en superhélice (STN) ou « matrice passive », breveté le 12 mars 1983 : haute résolution, excellent contraste, faible consommation.
→ Photo : LCD à matrice passive de résolution 540 × 270 pixels

1984

Videlec est vendu à Philips ; son équipe de recherche se recentre sur l'optoélectronique.

1984

BBC décide de conserver le brevet du LCD STN, importante source de revenus de licence.

ABB Ability™ pour l'automatisation industrielle

ABB Ability est une solution numérique unifiée et transverse, couvrant toute la chaîne d'automatismes industriels, des dispositifs de terrain au « cloud » en passant par la périphérie. Elle offre aux clients ABB des appareils, systèmes, solutions et services regroupés sur une plate-forme capable d'exploiter le plein potentiel des données process collectées pour « boucler la boucle » et apporter ainsi de la valeur ajoutée à l'usine. Dans de nombreuses applications ABB Ability, comme dans la quasi-totalité des configurations automates, les appareils de terrain sont au plus près du procédé. ABB est un grand nom de l'instrumentation de terrain qui bénéficie des développements de la recherche institutionnelle du Groupe dans les domaines de l'optique, de la spectroscopie laser, des applications radar et de l'acoustique. Les calculateurs embarqués nécessaires à l'exécution des puissants algorithmes de résolution en temps réel des problèmes d'optimisation complexes sont également un axe de recherche.

Architecture système

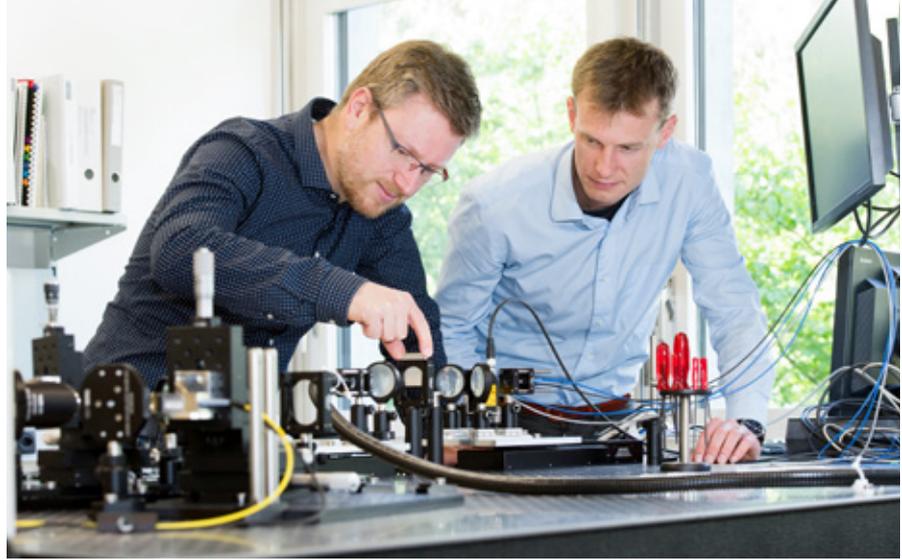
Les systèmes voient leur complexité intrinsèque augmenter avec l'intégration croissante de fonctionnalités « intelligentes » et de technologies numériques. Comment alors garantir à la fois

—
Le centre de Baden-Dättwil occupe quelque 200 collaborateurs originaires de plus de 35 pays.

adéquation, fiabilité, évolutivité, sécurité, sûreté et performances élevées ? C'est pour répondre à cette question, entre autres, que la recherche institutionnelle ABB met au point les prochaines générations de logiciels et d'architectures matérielles.

1970 – 2016

Capteur de courant à fibre optique (FOCS)



Vers 1970

Les premiers dispositifs à effet Faraday voient le jour, mais le projet est abandonné.

1992

Thèse de doctorat et brevet ABB sur le FOCS dans sa version moderne.

1997 – 2001

Développement des fondements du FOCS et démonstration de la technologie dans le disjoncteur 170 kV d'un poste électrique de l'Italien ENEL.

2000

ABB lance aux États-Unis le transformateur de courant magnéto-optique.

2005

Lancement d'un FOCS pour courant continu industriel, finaliste des concours « Swiss Technology Award » et « Hermes Award » à la Foire de Hanovre. La production commence à Baden-Dättwil.

2007

Centième FOCS produit ; la production est transférée à Turgi (Suisse).

2006 – 2008

Mise au point des FOCS de deuxième génération (G2), intégrant des composants électroniques ABB normalisés CEI 61850-9-2.

2009

Début du développement produit des FOCS G2.

2010

Installation pilote d'un disjoncteur à cuve sous tension équipé d'un FOCS pour le réseau électrique suédois.

2016

Commercialisation du premier disjoncteur-sectionneur doté d'un FOCS installé dans un poste électrique intelligent de nouvelle génération pour le gestionnaire du réseau chinois SGCC. → photo : physiciens à l'œuvre dans le laboratoire d'optique

La montée en puissance de calcul et l'adaptation des systèmes d'exploitation génériques aux spécificités de l'environnement industriel permettent de plus en plus de surveiller et de piloter le procédé en temps réel. Nos chercheurs suisses s'intéressent à plusieurs aspects du domaine afin de proposer des solutions adaptées, dont des architectures systèmes, des solutions de communication numériques fiables et des bancs de test temps réel.

Révolutionnaire, le chiffrement homomorphe permet de coder des données sensibles et de les transférer aux fins d'analyse sans partager de clé de déchiffrement.

Sécurité et confidentialité des systèmes cyber-physiques

La sécurité des données est une exigence croissante des industriels. Le chiffrement homomorphe est une méthode révolutionnaire pour coder des données sensibles et les transférer aux fins d'analyse sans avoir à partager de clé de déchiffrement ; seul le client a accès aux données et aux résultats. La recherche ABB a trouvé les moyens d'alléger considérablement la charge de calcul de cette technique, facilitant d'autant son emploi.

La chaîne de blocs ou « blockchain » est un autre exemple de technologie permettant de sécuriser des transactions sans passer par un tiers de confiance. Les chercheurs ABB planchent sur de nouveaux scénarios métier qui justifient le recours à la chaîne de blocs et ses lourds calculs, ainsi que sur des techniques de remplacement nettement moins gourmandes en puissance de traitement.

1988 – 2016

Électronique de puissance : semi-conducteurs, conditionnement, intégration, conversion et régulation

L'électronique de puissance est l'une des compétences clés de la recherche institutionnelle ABB en Suisse. Fer de lance du domaine, le laboratoire de recherche en électronique de puissance PEARL travaille sur la prochaine génération de semi-conducteurs, de modules et d'applications de puissance. La conception de nouveaux dispositifs, réalisée en interne, donne lieu à la fabrication d'échantillons dans la salle blanche du laboratoire → photo. Les puces à semi-conducteurs peuvent ensuite être mises en boîtier et intégrées dans des modules de puissance plus grands. PEARL est le successeur du laboratoire de microélectronique « Mikrolabor », qui fabriquait les semi-conducteurs destinés à la R&D appliquée à l'électronique de puissance.



1988 – 1994

Période d'activité du Mikrolabor.

1988 – 1994

La R&D sur le thyristor à induction statique (FCTh) jette les bases du thyristor intégré commuté par la gâchette (IGCT).

1988 – 1994

Les travaux de R&D sur le thyristor à MOSFET (MCT) débouchent sur l'IGBT d'ABB.

1995 – 1998

La production d'IGBT est externalisée.

1995

Convertisseur de puissance PCS à IGCT de 100 MW.

1995 – 2000

Modules de puissance à IGBT de type Flatpack (composant monté en surface) et StakPak (boîtier pressé).

1998

La production d'IGBT est rapatriée à l'usine de semi-conducteurs ABB de Lenzbourg (Suisse).

1999

Variateur ACS6000 de 5 à 30 MVA (IGCT).

2010

Modules StakPak de 4,5 kV pour applications HVDC Light.

2014

Inauguration du laboratoire de recherche en électronique de puissance PEARL, à la pointe de la recherche sur le conditionnement → photo.

2016

Nouvelle topologie et amélioration des IGCT pour les compensateurs statiques synchrones STATCOM.

Électronique de puissance

Cette branche de l'électrotechnique intervient partout où des tensions et des courants élevés doivent être régulés. Précurseur du domaine, ABB améliore en permanence la densité de puissance, le rendement, la fonctionnalité et la fiabilité des équipements. Son atout maître ? Avec son laboratoire flambant neuf PEARL, le site de recherche de Baden-Dättwil concentre désormais sous un même toit toutes les compétences clés de la discipline : semi-conducteurs, conditionnement, intégration thermique, topologies et régulation.

Avantage au SiC

Le carbure de silicium (SiC) présente de nombreux avantages sur le silicium. Forte d'une connaissance approfondie du domaine, acquise au fil de longues années d'expérience, la recherche ABB développe des semi-conducteurs SiC comme des diodes schottky ou des transistors MOSFET, qui sont ensuite intégrés aux produits ABB pour tirer parti de cette technologie.

Stabilisation des réseaux électriques

StakPak est une famille de transistors bipolaires à grille isolée (IGBT) de forte puissance en boîtier pressé et de diodes en enveloppe modulaire de pointe, qui garantit une pression uniforme sur la puce en cas d'empilement des modules. La recherche suisse ABB investit beaucoup dans le

—
La recherche institutionnelle ABB a une longue expérience et une fine connaissance des composants SiC.

perfectionnement des associations de matériaux et des architectures de modules de puissance pour proposer des solutions intégrées à sécurité intrinsèque et haute fiabilité destinées au transport du courant continu à haute tension (CCHT).



1996 – 2017

Supraconductivité à haute température (HTS)

Après les travaux nobélisés du laboratoire IBM de Rüslikon sur les supraconducteurs HTS, sous la direction du professeur Speiser, la recherche ABB ne pouvait que s'emparer du sujet. L'initiative allait être couronnée de nombreuses réussites.

1986

Découverte de la supraconductivité à haute température par deux chercheurs IBM (prix Nobel de physique 1987).

1996

Projet d'installation par la recherche ABB d'un limiteur de courant de défaut de 1,2 MW à base de matériaux HTS dans le réseau électrique.

1997

Intégration au réseau suisse du premier

transformateur de 630 kVA (18,7/0,42 kV) à câble supraconducteur pour les Services industriels de Genève.

2002

Un limiteur de courant de défaut résistif de 6,4 MVA réussit les essais en laboratoire.

2001-13

Collaboration avec l'université de Genève sur un limiteur à supraconducteur.

2012-17

Dispositif de test d'un transformateur limiteur de courant monophasé 577 kVA (20/1 kV) à câble supraconducteur, en partenariat avec l'Institut de technologie de Karlsruhe (KIT). → photo : démonstrateur à la Foire de Hanovre 2017

04 Les équipes pluridisciplinaires de la recherche ABB étudient les principes fondamentaux des systèmes de puissance.

Refroidissement innovant pour environnements difficiles et énergies renouvelables

Le système de refroidissement en circuit fermé développé par ABB, qui combine innovation et efficacité élevée, exploite les transitions de phase selon le principe du thermosiphon. Alliant la

ABB est impliqué dans la recherche sur l'énergie et les matériaux à tous les niveaux, de la compréhension des principes fondamentaux aux dernières avancées en matière de développement et de technologie.

simplicité du refroidissement par air à la densité de puissance du refroidissement par liquide, il est peu gourmand en maintenance et facile à mettre en service, ce qui en fait une solution idéale en extérieur. Cet échangeur de chaleur issu de la recherche fondamentale ABB équipe actuellement des variateurs, des onduleurs photovoltaïques et des transformateurs secs.



1996 – 2017

Automatisation

Automatisation de postes électriques : l'écosystème normatif CEI 61850

La CEI 61850 marque l'avènement du poste électrique numérique. Dès le début, la recherche institutionnelle ABB a beaucoup contribué tant à l'élaboration de la norme qu'à la mise en œuvre des technologies et outils afférents :

- Contributions importantes d'ABB, en tant que membre des comités techniques (TC57, p. ex.) et des groupes de travail de la CEI, à tous les aspects de la norme et à ses guides techniques ;
- Modélisation systématique de la norme en langage UML pour la production et la documentation automatiques de code (p. ex., bibliothèques ABB 61850) ;
- Conception et architecture des automatismes de postes électriques : outils de développement, d'essai et de mise en service (ITT, IET, DST600, etc.).

Communication et contrôle-commande dans le ferroviaire

Le centre suisse s'est illustré par des contributions majeures à diverses applications ferroviaires :

- TCN (réseau embarqué de train), utilisé partout dans le monde ;
- ETCS (système européen de contrôle des trains) ;
- Travaux innovants sur le contrôle d'adhérence pour chaînes de traction sans capteur ;
- ROSIN (télédiagnostic des trains) ;
- Compatibilité des systèmes électriques pour les véhicules ferroviaires.

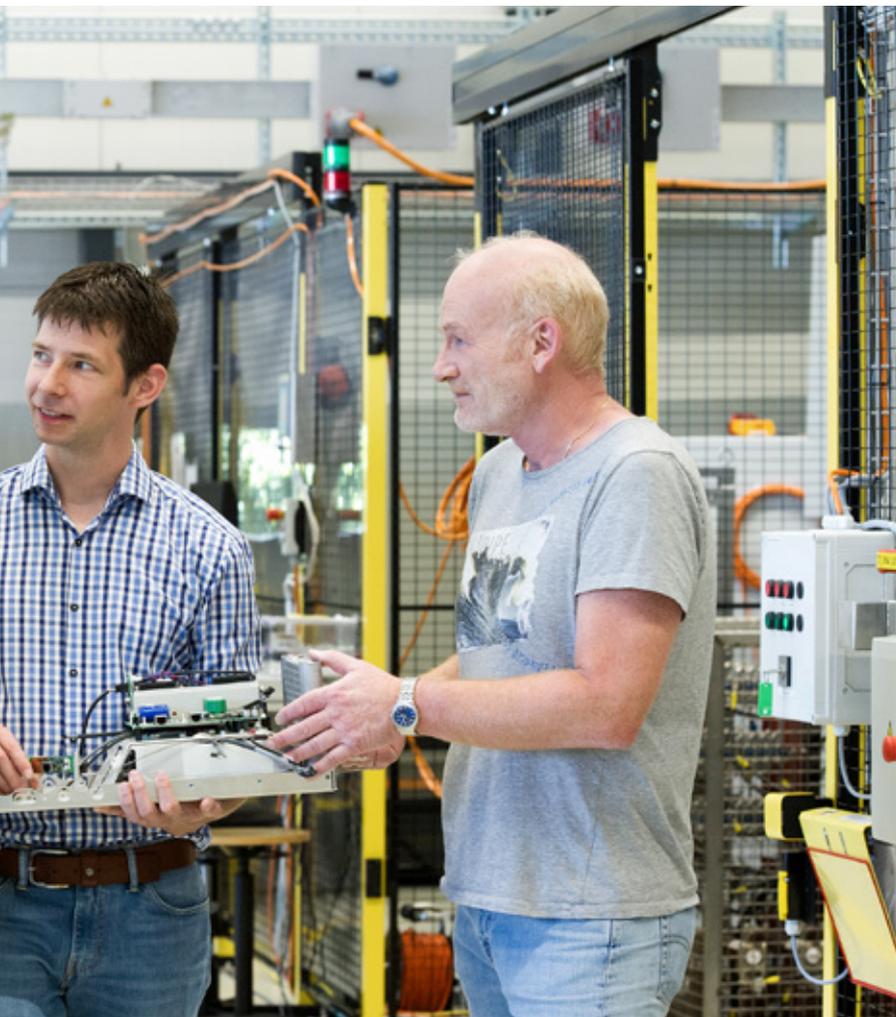
Automatisation : toujours en pole position

La recherche institutionnelle ABB a toujours été à l'avant-garde des technologies de l'information et de la communication :

- Procontrol P215, plate-forme de contrôle-commande commune de BBC ;
- Premier atelier de programmation automate graphique FuPla en 1992, débouchant sur deux innovations marquantes : l'environnement de développement CoDeSys et la norme CEI 61131 ;
- Processeurs tolérants aux fautes utilisés pour la liaison CCHT Pacific Intertie ;
- Technologie WISA pour capteurs et commande sans fil dans les usines, récompensée par le « Gold Award for Technology Innovation » du Wall Street Journal ;
- Dispositif GLASS de télésurveillance de systèmes embarqués grâce aux technologies de l'Internet, précurseur de l'Internet industriel des objets ;
- Solutions robustes de cybersécurité industrielle : identification des besoins et développement de la technologie, bien avant le 11 septembre et Stuxnet, puis travaux sur le stockage sécurisé des données et les calculs dans le Cloud.

LEAP : « LEarning for pLant Process improvement » (apprentissage automatique pour l'amélioration des procédés)

- Étude des technologies émergentes d'apprentissage appliquées à la production de modèles et la prise de décision automatiques dans la conduite avancée des procédés ;
- Fourniture des propriétés manquantes : fiabilité, robustesse, maintenabilité ;
- Exploitation de l'immense potentiel de l'apprentissage automatique ;
- Amélioration des performances du développement et de la mise au point de solutions de commande avancées.



Énergie et matériaux

La recherche ABB est impliquée dans le domaine de l'énergie et des matériaux à tous les niveaux, de la compréhension des principes fondamentaux aux dernières avancées dans le développement des matériaux et les technologies de procédés. En physique, par exemple, le principe théorique du transport de charge dans les composants HT ainsi que d'autres interactions multiphysiques complexes font l'objet d'études. Ces connaissances sont notamment utiles à la simulation des disjoncteurs. En physique appliquée, l'équipe suisse contribue à optimiser la gestion thermique pour améliorer la puissance assignée et l'empreinte écologique des produits.



En ce qui concerne les solutions de stockage d'énergie, le centre de recherche concentre l'expertise du Groupe, en particulier en matière de batteries. La chaîne de valeur y est traitée dans son intégralité : fonctionnement des cellules, intégration dans les modules, refroidissement, jusqu'à la mise au point des systèmes complets et aux analyses de rentabilité.

La recherche ABB pose les fondements scientifiques et techniques des systèmes de puissance et de la plupart des produits du domaine.

Dans le domaine des matériaux et des méthodes de fabrication, les chercheurs ABB créent de nouveaux composés métalliques qui donneront des matériaux de contacts haute performance

aux disjoncteurs. Notons également le développement d'aimants permanents durs par des méthodes innovantes comme l'impression 3D métal et le frittage par plasma à étincelle, ou « frittage flash ». Enfin, sont aussi à l'étude de nouveaux matériaux à base de thermoplastiques, de thermodurcissables et d'élastomères, assortis de procédés de fabrication novateurs, pour des traversées totalement exemptes de papier et d'huile.

Produits et systèmes de puissance

C'est la recherche institutionnelle ABB qui pose les fondements scientifiques et techniques des systèmes de puissance et de la plupart des produits développés →4. Le programme de recherche « Power Systems of the Future », par exemple, prend appui sur une plate-forme de collecte de données, d'élaboration de scénarios et d'analyses technico-économiques pour déterminer comment les nouveaux modèles technologiques, politiques et économiques peuvent façonner le futur de la filière électrique.



2003
Protection à grande échelle pour réseaux HT.



2017
Module de puissance LinPak à base de composants SiC.



2004
Capteur de courant continu optique.



2015
GIS écologique 170 kV.



2007
Module de puissance 6,5 kV pour traction.



2014
Câble CCHT 525 kV.



2008
Disjoncteur d'alternateur refroidi par caloduc.



2012
Transformateur de traction PETT.

05

— Quelques grandes innovations technologiques du centre de Baden-Dättwil, entre 1973 et 2017

On peut ainsi appréhender les défis techniques potentiels, comme les besoins croissants en réserves de puissance opérationnelles, en lignes de transport et de distribution, mais aussi la réduction de l'inertie des réseaux et du courant de court-circuit.

L'allongement des distances de transport a favorisé la pénétration du CCHT dans les réseaux en CA à l'échelle mondiale. Nos chercheurs suisses ont développé de nouveaux schémas de commande pour tirer parti du potentiel du CCHT et ainsi maximiser la capacité de transit globale du réseau.

Horizon 2067

En 1967, les 34 premiers chercheurs du centre suisse d'ABB auraient difficilement pu imaginer que leurs travaux allaient servir de tremplin à un tel foisonnement d'innovations technologiques

toutes plus décisives et couronnées de succès les unes que les autres →5. Tout comme ils n'auraient certainement pas pu prédire la révolution qu'allait connaître la technologie en général en l'espace de cinq décennies.

À l'heure où les mutations technologiques s'enchaînent à un rythme plus soutenu que jamais, il est presque impossible d'imaginer le paysage des sciences et des techniques en 2067, après un nouveau demi-siècle d'évolutions. Une chose est sûre : cet avenir sera écrit par toute une nouvelle génération de chercheurs ABB, dans un esprit toujours aussi novateur, curieux et créatif. ●

—

MOUVEMENT PERPÉTUEL

Un sans-fil d'avance

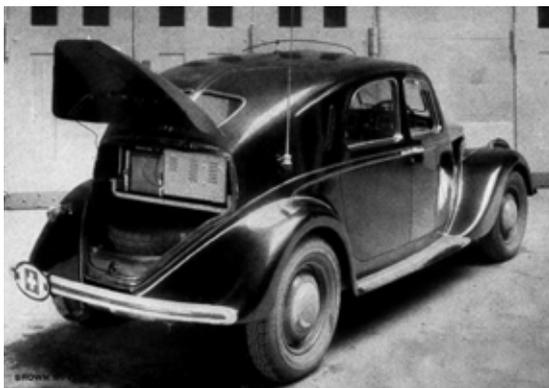
Énergie et productivité sont deux domaines dans lesquels la réputation d'ABB n'est plus à faire. Mais sait-on que le Groupe a également été un pionnier des radiotransmissions ?



Dacfe Dzung
Chercheur retraité
ABB Corporate Research
Baden-Dättwil (Suisse)

À l'heure de l'usine 4.0 et de l'Internet des objets, la quasi-totalité du monde industriel connaît une transformation rapide, rendue possible par l'essor des systèmes de communication à longue portée. Ces derniers, qui offrent une performance élevée à un coût raisonnable, empruntent généralement la « voie des airs » sur au moins une partie de la liaison.

01a



La convergence actuelle des logiciels industriels et des télécommunications peut laisser penser qu'ABB découvre le secteur des communications sans fil. Loin s'en faut. BBC, une des sociétés à l'origine du Groupe, s'intéressait déjà aux radiotransmissions dans les années 1930 ; en 1939, elle équipait notamment la piste d'atterrissage de Kloten (Suisse), ancêtre de l'aéroport de Zurich, d'un système de communication radio pour les contrôleurs aériens. BBC a également conçu un système de téléphonie mobile, testé par la police de Zurich dès 1941 →1. Il s'agissait d'une des premières applications civiles à employer la modulation de fréquence (FM) →2.

Ces émetteurs-récepteurs radio, qui occupaient presque tout un coffre de voiture, étaient loin de ressembler à nos téléphones mobiles. Il a fallu attendre plus d'un quart de siècle avant que les services postaux suisses (PTT) ne commercialisent, en 1978, le premier radiotéléphone, fourni dans une mallette en aluminium et sans batterie →3. Lourd de 15 kg, il devait être branché sur une batterie automobile ou sur le secteur, d'où la dénomination commerciale de « NATEL », pour Nationales Autotelefon (téléphone de voiture national). Un nom qui désigne encore aujourd'hui familièrement tous les téléphones mobiles en Suisse.



Andreas Moglestue
ABB Review
Baden-Dättwil (Suisse)

andreas.moglestue@ch.abb.com

01b



01 La téléphonie sans fil n'est pas une activité nouvelle pour ABB (Revue BBC, p. 411, décembre 1941)

01a Système de radio-téléphonie installé dans le coffre d'une voiture de police à Zurich (Suisse)

01b Combiné téléphonique intégré au tableau de bord

Exposé des propriétés de la modulation en fréquence et ses avantages par rapport à la modulation en amplitude.

Nous nous occupons depuis longtemps de ce nouveau procédé de modulation qui est en plein essor en Amérique. Nos essais et les expériences acquises avec une installation que nous avons construite confirment les caractéristiques favorables de la modulation en fréquence.

1° INTRODUCTION.

La transmission de signaux basse fréquence peut être faite sous forme d'oscillations haute fréquence modulées. Pour de telles oscillations d'amplitude a et de pulsation ω on a en général:

$$e = a \cdot \sin \varphi(t) = a \sin \int \omega dt \quad (1)$$

Lors de la modulation en amplitude (MA) la pulsation ω reste constante tandis que l'amplitude a correspondant à la valeur instantanée du signal basse fréquence s'écarte de la valeur moyenne a_0 , d'une quantité variable a_n . Le signal peut être formé par une tension alternative de pulsation $\omega_N = 2\pi f_N$ (avec une majuscule comme indice). Alors on a dans (1):

$$a = a_0 + a_n = a_0 (1 + m_a \cdot \sin \omega_N t); \quad (2)$$

$$\omega = \omega_0 = \text{const.}$$

02

Lors de la modulation en fréquence (MF) l'amplitude a reste constante, tandis que la pulsation ω correspondant au signal à transmettre s'écarte de la valeur moyenne ω_0 :

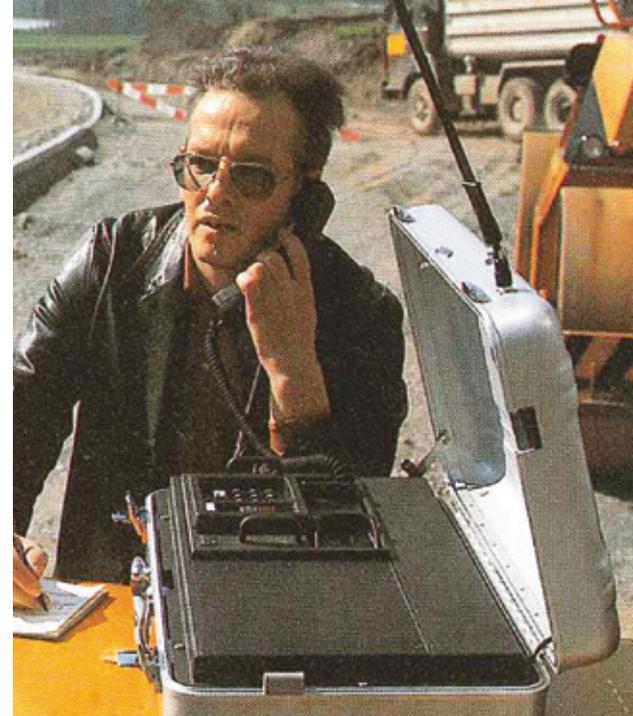
$$\omega = \omega_0 + \omega_n = \omega_0 (1 + m_f \cdot \sin \omega_N t) \quad (3)$$

$$a = a_0 = \text{const.}$$

L'écart $\omega_n = 2\pi f_n$ (avec une minuscule comme indice) entre la valeur instantanée $\omega = 2\pi f$ et la valeur moyenne $\omega_0 = 2\pi f_0$ de la pulsation atteint la valeur maximum $\omega_n = 2\pi f_n = m_f \cdot \omega_0 = 2\pi m_f f_0$. La déviation de fréquence, c'est-à-dire l'écart maximum de fréquence $f_n = m_f f_0$ est, en général, beaucoup plus petit que la fréquence moyenne f_0 , donc le taux de modulation m_f reste toujours petit par rapport à 1 en MF.

Une comparaison des deux genres de modulations, malgré l'analogie apparente entre les équations (2) et (3), fait remarquer de très grandes différences dans le caractère des oscillations, dans les perturbations et les déformations qui se produisent, ainsi que dans l'appareillage.

Les oscillations modulées en amplitude se décompo-



03

—
02 Article sur le principe de la modulation de fréquence (FM), Revue BBC, p. 417, décembre 1941, téléchargeable (en anglais) à l'adresse www.abb.com/abbrev

—
03 Lourd de 15 kg, le téléphone Natel A de BBC se logeait dans une mallette en aluminium.

Les premiers réseaux de radiotransmission étaient tous analogiques. À la fin des années 1980, les divers opérateurs postaux et de télécommunications européens, rassemblés au sein du « Groupe spécial mobile » (GSM), ont commencé à élaborer une norme de radiotéléphonie numérique, qui prit par la suite le nom de « Global System for Mobile communications ». BBC ne fabriquait alors plus de téléphones de voiture mais disposait d'une grande expertise des communications numériques. C'est pourquoi les PTT lui ont demandé de représenter la Suisse.

Cette mission fut confiée à Dacfez Dzung, un scientifique du centre de recherche institutionnel du Groupe à Baden-Dättwil. Encore aujourd'hui, aucune connexion GSM ne peut être établie dans le monde sans un bit défini par Dacfez Dzung.

Absent du marché de la téléphonie mobile grand public, ABB est toujours actif dans la communication numérique sans fil, par exemple dans les usines. Un domaine d'une importance croissante à l'ère de la quatrième révolution industrielle. ●



Paul Scherrer
1890-1969

La physique atomique en 1941

Le précédent numéro d'ABB Review comportait un article sur un transformateur fourni au CERN. La recherche ABB travaille depuis longtemps sur l'atome : dans l'édition de décembre 1941 de la Revue BBC, on trouve déjà un article →1 signé Paul Scherrer (1890-1969). Ce dernier, professeur de physique expérimentale à l'EPF de Zurich, a donné son nom à la méthode de Debye-Scherrer, une technique d'analyse cristallographique, ainsi qu'à l'Institut Paul Scherrer, un laboratoire de recherche installé à Würenlingen (Suisse). Dans cet article, il expose l'état des connaissances sur l'atome à l'époque. Retrouvez ce document historique in extenso (en anglais) sur www.abb.com/abbrev. ●

NOUVEAUX RÉSULTATS DES RECHERCHES EN PHYSIQUE ATOMIQUE.

Indice décimal 539.152.1 — 539.17

Parmi les travaux scientifiques de ces dernières années, la première place revient aux recherches sur la transmutation artificielle des atomes. Cette nouvelle branche de la physique connaît un rapide développement. Les physiciens peuvent maintenant, dans des expériences sûres, non seulement transmuter entre eux des éléments chimiques connus, mais produire artificiellement un grand nombre de nouvelles sortes d'atomes, encore inconnus. C'est parmi ces nouveaux éléments que l'on trouve les 300 sortes d'atomes radioactifs du plus haut intérêt. Les rayons d'atome animés de très grandes vitesses, nécessaires à la transmutation des atomes, sont fournis de la façon la plus élégante par le cyclotron. La radioactivité est d'extrême importance pour la chimie et surtout pour les recherches biologiques, et l'énergie libérée lors de la transmutation des atomes, mise en oeuvre techniquement, réserve des possibilités insoupçonnées.

arbitrairement égale à 16,000.) Un électron est donc environ 2000 fois plus léger qu'un atome d'hydrogène. À côté de ces électrons légers, il existe des électrons lourds appelés mesotons. Ils portent la même charge que les électrons légers, mais sont environ 160 fois plus lourds. Nous engloberons aussi dans les particules légères les grains de lumière ou photons. Ce sont les particules élémentaires qui permettent le transport d'énergie par tous les genres de rayonnement

1° ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DE L'ATOME ET FORCES ATOMIQUES.

Les physiciens sont actuellement d'avis que tous les phénomènes qui se déroulent dans la matière pourraient être ramenés à l'interaction produite par les champs de quelques simples éléments constitutifs de la matière. Nous distinguons parmi ces particules élémentaires que l'on peut considérer d'après la mécanique ondulatoire comme ayant aussi bien une nature ondulatoire que corpusculaire, des particules lourdes et légères.

Les électrons sont les principaux représentants du groupe des particules élémentaires légères. Ils peuvent aussi bien être chargés négativement, négatons $-e$, que positivement, positons $+e$. La masse d'un électron, exprimée en unités de poids atomique est de 0,000543. (La masse d'un atome d'oxygène est admise

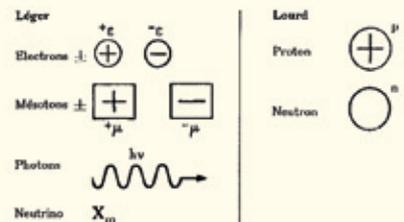


Fig. 1. — Particules élémentaires.

électromagnétique, rayons γ , rayons X, lumière ultraviolette, visible et infra-rouge. Comme dernière particule légère, mentionnons encore l'hypothétique neutrino dont l'existence n'a pu être décelée qu'indirectement par l'expérience et qui n'a pas encore été rendu visible.

LE MOT DU MOMENT

Intelligence artificielle

Pour notre deuxième « Mot du moment », ABB Review s'intéresse à l'intelligence artificielle. Derik Pridmore, PDG de la start-up californienne Osaro et partenaire d'ABB dans le domaine de l'apprentissage automatique (« machine learning »), nous éclaire sur ce sujet.



Derik Pridmore
PDG d'Osaro
San Francisco (États-Unis)

derik@osaro.com

Entreprise spécialisée dans l'intelligence artificielle appliquée à l'environnement industriel, Osaro coopère avec ABB pour intégrer l'apprentissage automatique (« machine learning ») dans les produits du Groupe.
www.osaro.com

On me demande souvent ce qu'est l'intelligence artificielle (IA) et quel est son intérêt pour la robotique industrielle. Les entreprises qui espèrent améliorer leur service à la clientèle grâce à l'IA sont à la fois intriguées et troublées.

Avant de définir l'intelligence artificielle, intéressons-nous au premier terme. L'intelligence est la capacité d'un agent (humain ou non) à atteindre ses objectifs dans une grande variété d'environnements [1].

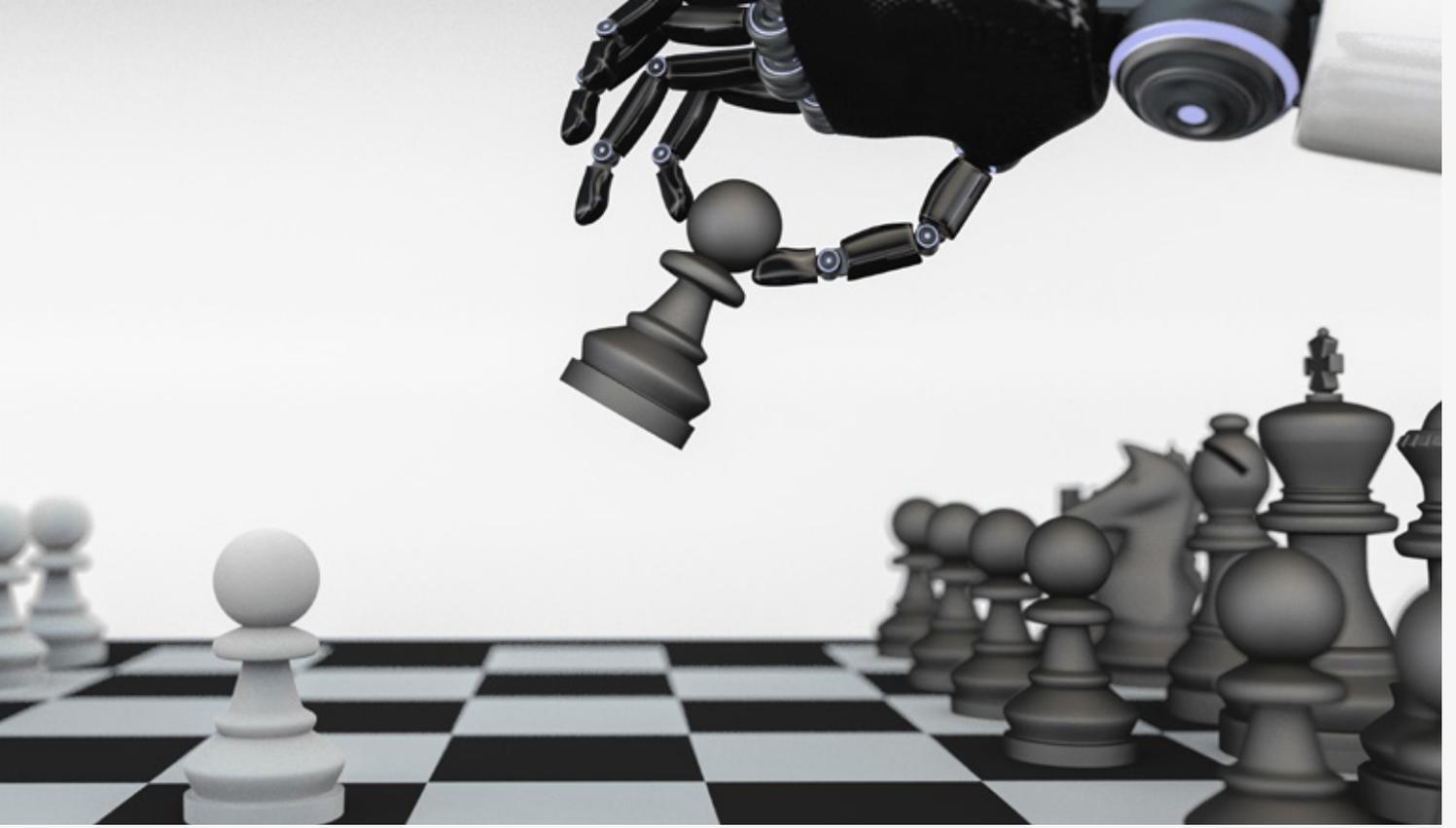
L'être humain est ainsi généralement capable de gérer l'imprévu ou une nouvelle tâche. Son intelligence lui donne de solides aptitudes. Une intelligence artificielle est un code informatique, ou « algorithme », disposant de cette capacité à remplir des objectifs dans divers milieux.

Pour ajouter à la confusion, les termes « apprentissage automatique » et « intelligence artificielle » sont souvent employés de manière interchangeable. Ils sont devenus synonymes car l'apprentissage est très utile pour développer cette intelligence. L'apprentissage automatique signifie simplement que des algorithmes sont conçus pour apprendre à partir des données. Ces cinq dernières années ont vu émerger deux techniques très prometteuses : l'apprentissage profond et l'apprentissage par renforcement.

Le premier, également appelé « deep learning », est un mode d'apprentissage supervisé qui utilise les réseaux neuronaux pour former des représentations compressées et généralisées d'un ensemble de données. Le second prend en compte la représentation d'un environnement et un objectif (appelé « fonction de récompense »), et s'appuie sur un processus d'itération permettant au robot d'apprendre de ses erreurs pour trouver les actions qui maximisent la récompense. Il peut également intégrer des exemples de la manière d'atteindre l'objectif ; les logiciels d'Osaro reposent d'ailleurs sur cet apprentissage par imitation. En théorie, la combinaison de ces deux techniques permet simultanément d'apprendre une représentation et de trouver le moyen d'atteindre un but.



—
Bibliographie
[1] Legg, S., Hutter, M., « Universal Intelligence: A Definition of Machine Intelligence », disponible en ligne sur : <https://arxiv.org/pdf/0712.3329.pdf>, décembre 2007.



Les derniers travaux sur l'apprentissage automatique s'attellent à répondre aux quelques questions qui subsistent sur notre capacité à apprendre : à quelle vitesse, dans quels environnements et avec quelles garanties de réussite ?

Ces définitions éclairent l'importance de l'IA en robotique industrielle. Car il suffit qu'une entreprise modifie une pièce ou un poste de travail pour que

les robots actuels perdent leurs repères et aient besoin d'une nouvelle suite d'instructions pour reprendre la main.

Les algorithmes qui les pilotent sont aujourd'hui très peu intelligents. L'IA permettra aux robots de traiter plus de tâches et d'environnements. Sans compter que les gains de temps et d'argent au niveau de la reprogrammation feront baisser le coût total des déploiements robotiques. ●

Publication ABB

Rédaction

Bazmi Husain
Chief Technology Officer
Group R&D and Technology

Adrienne Williams
Senior Sustainability
Advisor

Christoph Sieder
Head of Corporate
Communications

Reiner Schoenrock
Technology and Innovation
Communications

Roland Weiss
R&D Strategy Manager
Group R&D and Technology

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

Édition

ABB Review est publiée
par ABB Group R&D
and Technology.

ABB Switzerland Ltd.
ABB Review
Segelhofstrasse 1K
CH-5405 Baden-Dättwil
Suisse
abb.review@ch.abb.com

ABB Review paraît
quatre fois par an
en anglais, français,
allemand et espagnol.
La revue est diffusée
gratuitement à tous ceux
et celles qui s'intéressent
à la technologie et à
la stratégie d'ABB.

Pour vous abonner,
contactez votre
correspondant ABB ou
souscrivez en ligne sur
www.abb.com/abbreview.

L'impression ou 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
©2017
ABB Switzerland Ltd.
Baden (Suisse)

Impression

3MA Group
68250 Rouffach (France)

Maquette
DAVILLA AG
Zurich (Suisse)

PAO
Konica Minolta
Marketing Services
WC1V 7PB Londres
(Royaume-Uni)

Traduction française
Cléa Blanchard
clea.blanchard@gmail.com

Avertissement

Les avis exprimés dans
la présente publication
n'engagent que leurs
auteurs et sont donnés
uniquement pour
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 profession-
nel 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 engage-
ment, formel ou implicite,
concernant le contenu ou
l'exactitude des opinions
exprimées dans la pré-
sente publication.

ISSN: 1013-3119

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



À vos tablettes

Retrouvez l'appli
ABB Review
sur notre site
[www.abb.com/
abbreviewapp](http://www.abb.com/
abbreviewapp).

Gardez le contact

Pour ne pas manquer un numéro, abonnez-vous
à la liste de diffusion sur www.abb.com/abbreview.

Dès votre demande enregistrée, vous recevrez un
e-mail vous invitant à confirmer votre abonnement.





01|2017 Innovation

Innovations ABB

- 08 À la une de l'innovation ABB 2017
- 16 Entretien : la révolution numérique

Protection et sécurité

- 20 Emax 2 et Arc Guard System™ TVOC-2
- 25 La CEI 61850 en basse et moyenne tension
- 32 Éclairage d'urgence Guideway
- 34 Isolation sèche pour traversées-condensateurs

Mesure

- 40 Mesure d'épaisseur de métaux non ferreux
- 46 50 ans de contrôle de planéité

Service et fiabilité

- 54 Moderniser pour durer
- 60 Alternateurs pour puissance variable
- 65 Convertisseurs à IGBT pour locomotives Re460



02|2017 Afrique

Afrique

- 08 Électrifier un continent
- 13 L'électricité en boîte
- 16 Transformateurs SSVT
- 18 L'Éthiopie gagne la bataille du rail
- 23 Modéliser pour mieux planifier l'électrification

Sécurité intégrée

- 30 Facteurs humains et sécurité industrielle
- 35 Poste de conduite et mobilité
- 38 Coordination de l'isolement en haute tension

Numérique et analytique

- 46 Contrôle-commande dans le cloud
- 53 Sécurité physique des transformateurs

Énergie

- 60 Sécurité électrique dans le grand bleu
- 66 ABB, pionnier des GIS écologiques



03|2017

ABB Ability

Parole d'ABB

- 08 Entretien : ABB Ability™
- 13 La cybersécurité, brique essentielle

ABB Ability

- 16 Le sans-fil se faufile au cœur du procédé
- 20 La notification prédictive au service de la production et de la performance
- 26 Exécution des projets d'automatisation
- 30 Automatisation des échanges de données techniques
- 36 Une mine de données

Protection et sécurité

- 40 Mesure, contrôle et suivi de l'énergie
- 47 Protection moyenne tension PCS120
- 54 Protection Ekip Link par sélectivité de zone logique
- 60 L'Emax 2 protège les microréseaux

Raccordements universels

- 70 Transformateur MF pour le CERN
- 76 Courant quai

Commande et productivité

- 84 Commande de compresseur électrique
- 92 Un ordonnanceur convivial et flexible

Le mot du moment

- 98 Blockchain

- 98 Publication ABB
- 99 La parole à nos lecteurs



04|2017

Performance à toute épreuve

Performance à toute épreuve

- 08 Poste numérique ABB Ability™
- 14 Échangeur de chaleur à thermosiphon
- 22 Unipack-G, poste de l'extrême

L'ingéniosité en action

- 28 Automatisation industrielle
- 36 Centre de services AHC
- 42 Convertisseur modulaire multiniveau

Mouvement perpétuel

- 52 Cinquante ans de recherche en Suisse
- 64 Un sans-fil d'avance
- 65 La physique atomique en 1941

Le mot du moment

- 66 Intelligence artificielle

- 68 Index 2017

Dans le numéro 01/2018
Innovation

Comme en chaque début d'année, le prochain numéro d'ABB Review portera sur l'innovation. Nous explorerons les coulisses des dernières avancées marquantes et dévoilerons quelques-unes des percées technologiques et théoriques à la base des réussites de demain.