

ABB

3 | 15
fr

review

Le robot collaboratif YuMi® 7

La santé des transformateurs 12

Des fours à arc plus productifs 25

Des oscillations amorties 52

La revue
technologique
du groupe ABB



Production robuste

Power and productivity
for a better world™



La production industrielle occupe à bien des égards une place centrale dans notre société : pour l'individu, c'est une source vitale d'approvisionnement en biens de consommation ; pour l'économie, une immense source de richesses. L'engagement d'ABB y revêt de multiples formes, de la fourniture de l'énergie à la réalisation des automatismes, capteurs et machines indispensables pour faire tourner sans relâche cette « mécanique » des temps modernes.

Tel le moteur de notre photo de couverture, qu'un technicien ABB installe à l'usine de traitement des eaux usées de Lidingö (Suède) ou encore, sur cette page, une raffinerie de Houston (États-Unis), qui compte parmi les nombreux sites industriels équipés en appareillages, entraînements électriques et système de contrôle-commande ABB.



Progressistes

- 7 **YuMi®**
ABB présente le premier véritable robot collaboratif à deux bras appelé à révolutionner les chaînes d'assemblage
- 12 **Une santé de fer**
Des transformateurs plus fiables avec une maintenance à budget serré
- 18 **Répartition des charges**
Flexibiliser la production pour économiser l'énergie

Productifs

- 25 **Effets détonants**
Des fours à arc électrique plus performants et économiques avec le brasseur électromagnétique ArcSave®
- 32 **Le meilleur ami du moteur**
ABB enrichit son démarreur progressif PSTX de fonctionnalités jusqu'ici réservées aux variateurs de vitesse
- 35 **Prime à la performance**
Une alimentation statique sans interruption pour la moyenne tension
- 39 **Chronique d'une fin annoncée**
Les enjeux de l'après-Windows XP
- 42 **PASSage en classe supérieure**
Appareillages hybrides ABB sous 420 kV
- 48 **Intelligence domestique**
La domotique facile avec ABB-free@home®
- 50 **Droit fil**
Connexions débrochables et solutions précâblées ABB : un contact d'avance

Combattifs

- 52 **Le réseau apprivoisé**
Des techniques de commande avancée pour des réseaux d'énergie plus stables, fiables et performants
- 55 **Contre les oscillations**
Les convertisseurs de puissance moyenne tension sont le siège d'oscillations électriques qu'il faut combattre activement

Ouverts

- 60 **L'innovation couronnée**
Un Prix ABB pour soutenir la recherche postdoctorale dans le monde entier
- 62 **Votre avis nous intéresse !**
Dites-nous comment améliorer *ABB review*.

Production robuste



Claes Ryttoft

Chers lecteurs,

La production industrielle représente près de 31 % du PIB mondial et 34 % des emplois de la planète. Qu'il s'agisse de fabriquer un produit chimique ou le dernier des smartphones, sa logistique complexe met en scène une multitude de disciplines. La production est également au cœur des activités d'ABB, comme de la plupart de ses clients, industriels ou prestataires de services. Constructeur à part entière, ABB en comprend et en partage les enjeux.

Dans un monde en constante évolution, l'industrie n'a de cesse de réinventer ses outils pour forger de nouveaux leviers de croissance. La robotique en est un exemple : jusqu'à une date récente, le robot industriel type travaillait derrière des barrières de sécurité qu'imposaient aussi bien la nature des tâches à accomplir que la conception même de l'appareil productif. Si ces cols d'acier restent indispensables à l'industrie, leur périmètre d'action s'élargit. De nombreuses lignes de production verront bientôt robots et humains travailler côte à côte, chacun accomplissant la tâche qui lui revient tout en interagissant avec son « collègue », dans un espace intrinsèquement sécurisé. Témoin le robot collaboratif YuMi® d'ABB.

Accroître le rendement et la robustesse de la production implique d'optimiser de nombreux domaines qui vont bien au-delà de la conception matérielle. Le logiciel et les services deviennent à ce titre cruciaux. Deux exemples s'en font l'écho dans nos pages : la maintenance conditionnelle des transformateurs et la planification dynamique des tâches pour économiser l'énergie.

La quête de productivité et de sécurité nous plongera également au cœur des brasseurs électromagnétiques d'ABB, qui concourent à

l'efficacité des fours à arc électrique, de son offre de démarreurs progressifs enrichis de nouvelles fonctionnalités de commande moteur, de ses alimentations statiques sans interruption pour la moyenne tension et de ses solutions de précâblage modulaires et débrouillables.

Qui dit production, dit chaîne électromécanique dont chaque maillon est le théâtre d'oscillations et d'instabilités électriques qu'il faut combattre pour éviter défaillances et pannes. Tel sera le fil rouge d'une suite d'articles, inaugurés dans ce numéro par les convertisseurs de puissance moyenne tension.

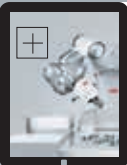
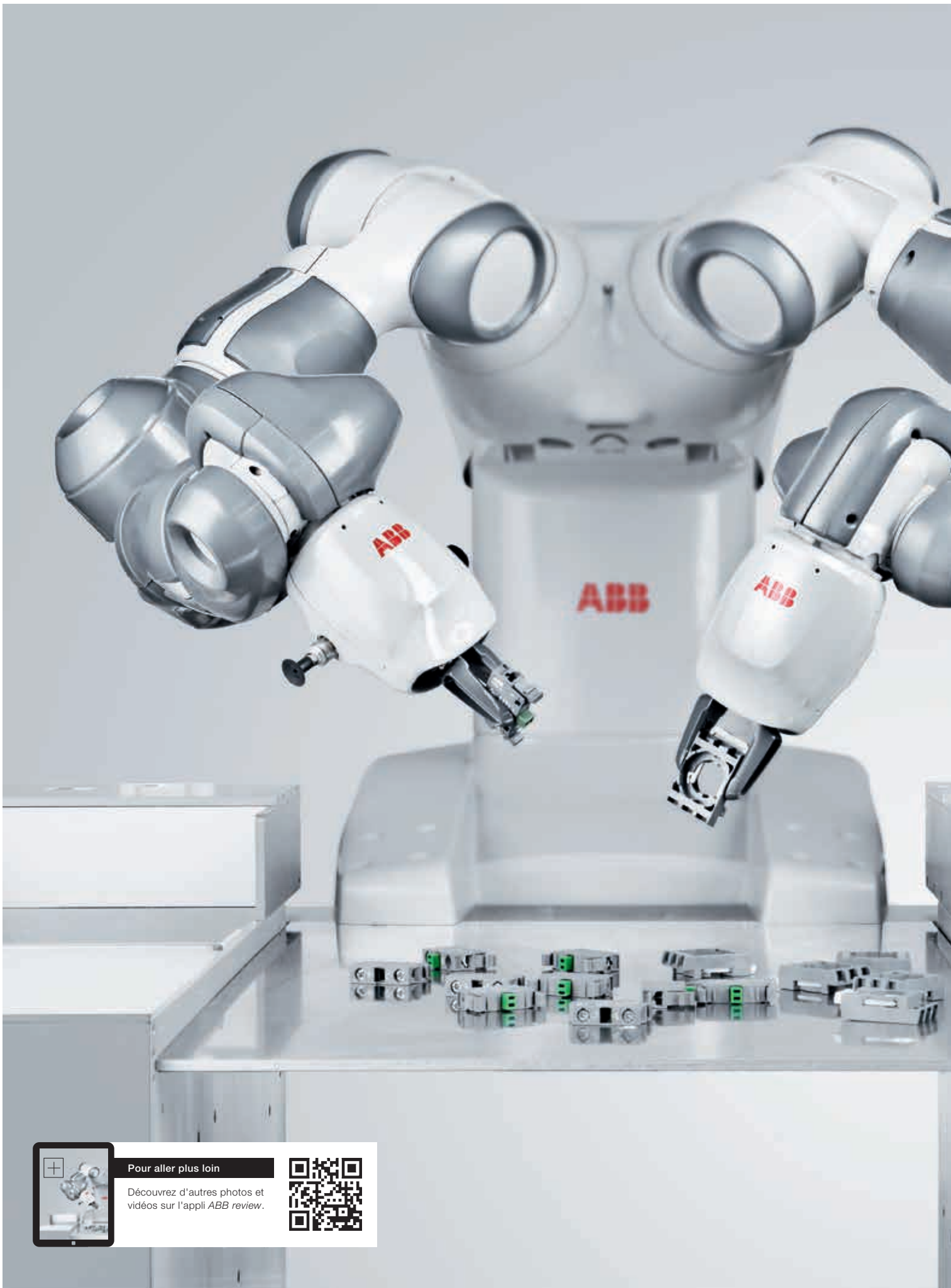
Pour réussir, ABB se doit d'attirer les plus brillants esprits de l'Université dans ses filières technologiques. En hommage à celui qui présida son Conseil d'administration de 2007 à 2015, Hubertus von Grünberg, le Groupe souhaite récompenser tous les trois ans les meilleures thèses de doctorat dans les domaines de l'énergie et de l'automatisation par un Prix de la recherche de 300 000 dollars. Le détail en p. 60.

Enfin, j'invite nos fidèles lecteurs à participer à notre enquête de satisfaction : une aide précieuse pour faire progresser *ABB review* !

Bonne lecture,

Claes Ryttoft
Directeur des technologies
Directeur général adjoint
du Groupe ABB





Pour aller plus loin

Découvrez d'autres photos et vidéos sur l'appli *ABB review*.





YuMi®

ABB présente le premier véritable robot collaboratif à deux bras appelé à transformer radicalement les chaînes d'assemblage

PHIL CROWTHER – Ces dernières années, les progrès en robotique industrielle ont considérablement simplifié l'automatisation des lignes de production : plus rapides à installer, plus faciles à programmer et plus polyvalents, les robots n'ont jamais été aussi multitâches. Les industriels attendaient toutefois l'arrivée d'un robot apte à interagir avec l'homme, libéré des contraintes de sécurité et programmable par apprentissage. C'est chose faite avec YuMi®, dernier-né d'ABB ! Fruit d'années de recherche-développement (R&D), YuMi est le premier robot industriel véritablement collaboratif, ou « cobot ». Sa sécurité intrinsèque lui permet de travailler côte à côte avec les opérateurs des chaînes d'assemblage. La nouvelle révolution manufacturière est en marche !

Photo

YuMi révolutionne la robotique collaborative.



Rares sont les activités industrielles à connaître un bouleversement aussi rapide que l'assemblage de petits composants. Alors que les besoins de l'industrie électronique grand public explosent, l'offre de main d'œuvre qualifiée ne suit pas. La valeur ajoutée des méthodes d'assemblage traditionnelles ne cessant de s'éroder, le secteur manufacturier se doit d'investir dans de nouvelles solutions pour des raisons tant stratégiques qu'économiques.

L'arrivée sur le marché du robot collaboratif YuMi (contraction de *you* et *me*) d'ABB révolutionne la cohabitation homme-machine dans l'assemblage de petits composants.

Le robot sort de sa cage

YuMi s'affranchit littéralement des barrières matérielles et autres protections grillagées. Le très haut degré d'intégration de sa commande d'axes (7 par bras), sa légèreté et sa compacité ainsi que ses limiteurs de vitesse lui confèrent une agi-

lité remarquable. Équipés de détecteurs anticollision, ses bras en magnésium rembourrés s'immobilisent en quelques millisecondes en cas d'impact → 1.

À l'instar du bras humain, YuMi est exempt de zone susceptible de blesser par pincement ou écrasement lors de ses mouvements. L'intégration des câbles et des raccords d'air comprimé dans les bras simplifie la maintenance et le nettoyage du robot.

Interagissant en confiance avec l'homme, YuMi® est le premier robot à être certifié par un organisme indépendant avec un tel degré de sécurité.

Toutes ces caractéristiques sécurisent l'interaction avec le personnel intervenant sur les chaînes d'assemblage et les cellules robotisées.

Efficacité et productivité

Outre cette sécurité intrinsèque, YuMi conjugue efficacité et productivité pour un retour sur investissement accéléré. La mise en production est très rapide grâce



L'avenir de la robotique et de l'automatisation passe par la collaboration homme-machine, surtout sur les chaînes d'assemblage des produits électroniques grand public, partout dans le monde.

à une solution tout-en-un d'ABB qui inclut le robot et ses deux bras, son buste et ses préhenseurs, la commande d'axes et le système d'approvisionnement en pièces.

Les concepteurs de YuMi ont tiré avantage de la présence mondiale d'ABB pour passer en revue le secteur manufacturier dans 53 pays. Un nombre important de ces derniers, en Asie du Nord notamment, affiche des prévisions de forte croissance dans le domaine de l'électronique avec, au premier rang, l'émergence rapide de produits à « convergence 3C » (*Consumer, Computer, Communication*). Les consommateurs veulent toujours plus d'innovations à un prix abordable, renforçant la pression sur les procédés manufacturiers. Pour les industriels, le marché de l'électronique grand public a bousculé les règles de production : leur survie passe par l'automatisation. Aujourd'hui, il leur faut augmenter les volumes, raccourcir les délais et réduire le cycle de vie des produits qui doivent être personnalisés le plus tard possible avant leur mise sur le marché.

Dans ce contexte, les robots destinés à assembler de petits composants doivent être très flexibles et facilement reprogrammables. Avec YuMi, l'opérateur sélectionne la fonction « Enregistrer » et

guide par la main le robot qui reproduit fidèlement les mouvements. Les points de la trajectoire et les actions du préhenseur sont enregistrés sur une tablette avec l'appli YuMi qui les convertit directement en code machine → 2. L'apprentissage de nouvelles tâches ne prend que quelques minutes.

Affaire de non-spécialistes, cette programmation par apprentissage est l'avenir de la robotique industrielle. Pour les tâches plus complexes, on aura recours au langage de programmation de haut niveau RAPID d'ABB.

Simplicité d'installation

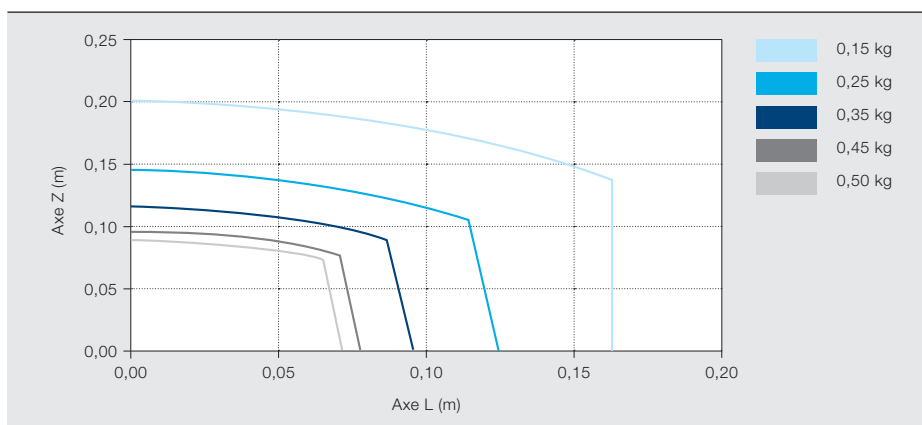
Installer YuMi est un jeu d'enfant. Ne pesant que 38 kg, il est facile à transporter et se visse directement sur le poste de travail → 3. Tous les câbles, tuyaux et circuits électroniques sont intégrés au robot pour un encombrement minimal. Cette simplicité d'installation et d'apprentissage accélère le changement de poste et de tâche.

En bonnes mains

La taille du buste de YuMi est proche de celle d'un être humain et la portée des bras est importante : 70 cm environ au-dessus du plan de fixation, 30 cm en dessous et près de 55 cm à l'horizontale. Ces valeurs dépendent de la charge portée → 4. Les deux bras confèrent au



4 Capacité de charge du robot YuMi



5 Fiche technique

| IRB 14000 – 0.5/0.55 | |
|-------------------------------|---------------|
| Capacité de charge | 0,5 kg/bras |
| Rayon d'action | 559 mm |
| Répétabilité | 0,02 mm |
| IHM | Sous l'embase |
| Masse | 38 kg |
| Fixation | Sur table |
| Température | 5 à 40 °C |
| Protection | IP30 |
| Salle blanche/agroalimentaire | Non |

L'ossature légère et rigide en magnésium est recouverte d'une enveloppe flottante en plastique qui absorbe les chocs.

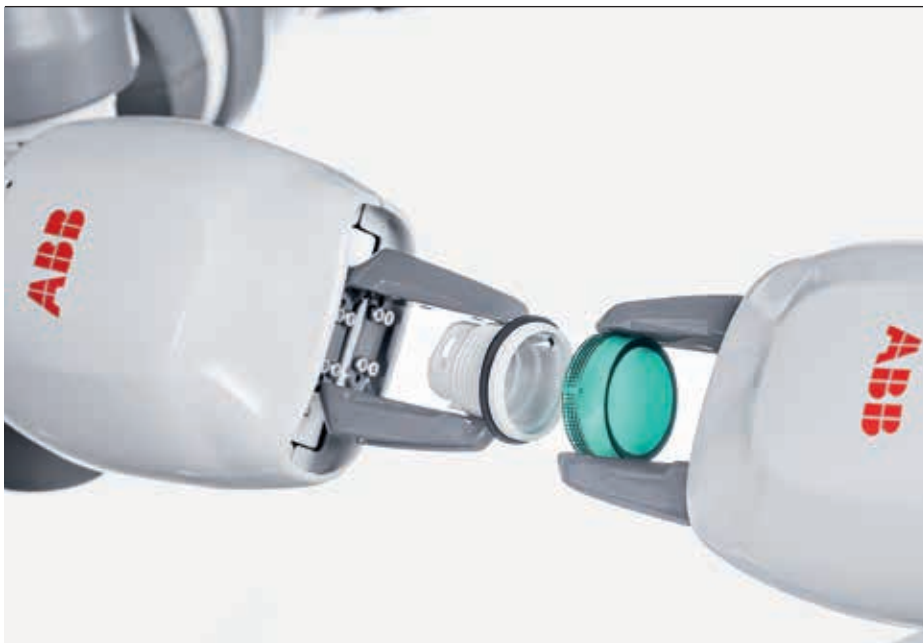
robot une grande dextérité et une précision d'orfèvre. Sa répétabilité est de 0,02 mm et sa vitesse maximale de 1500 mm/s → 5. Les opérations d'assemblage avec capteurs de force entre les deux bras sont également possibles, tout comme les tâches multiples.

L'interface de fixation des préhenseurs de YuMi est standard. Pour manipuler la grande variété de minuscules composants à assembler et répondre aux besoins de chaque industriel, un large choix de préhenseurs est proposé, notamment des préhenseurs asservis, des ventouses simples/doubles et des préhenseurs à vision intégrée → 6, 7. Protégé des décharges électrostatiques, YuMi peut manipuler les composants les plus sensibles à l'électricité statique.

Approvisionnement en pièces

Pour les applications d'assemblage, la dextérité ne suffit pas ; il faut également approvisionner efficacement le robot. Pour cela, ABB a développé son système FlexFeeder™ qui peut alimenter le robot en un grand nombre de composants de différentes tailles (3 à 30 mm). La saisie directe en vrac pose un problème tridimensionnel très complexe. FlexFeeder simplifie considérablement la tâche du robot en déposant les différentes pièces sur une surface plane où le problème devient bidimensionnel. Grâce à ses préhenseurs dotés de caméras, YuMi les localise et les saisit facilement.

6 Précision, dextérité et immunité aux décharges électrostatiques permettent à YuMi de manipuler les composants les plus fragiles et les plus sensibles.



À l'instar du bras humain, YuMi est exempt de zone susceptible de blesser par pincement ou écrasement lors de ses mouvements.

7 Plusieurs types de préhenseur sont proposés : vision intégrée, ventouse simple ou double et asservis.



Des avantages pour toute la chaîne de valeur

YuMi va permettre à chaque industriel d'augmenter ses cadences de production, d'améliorer la qualité de ses produits, de réduire ses rebuts, d'accroître son efficacité et sa flexibilité avec un retour sur investissement rapide. Destiné avant tout à répondre aux besoins de souplesse d'emploi et de polyvalence de l'industrie électronique grand public, il convient également à toutes les applications d'assemblage de petites pièces.

Au-delà de l'industriel, c'est toute la chaîne de valeur qui bénéficie des avantages du robot collaboratif : l'opérateur, avec un cadre de travail plus sûr et plus confortable ; l'environnement, avec

moins de déchets ; le consommateur, avec un produit de meilleure qualité.

Une solution d'avenir

Avec YuMi, ABB repousse les limites de l'automatisation robotisée et élargit son domaine d'application. Ce robot est l'aboutissement d'importants efforts de R&D et ouvre la voie à une collaboration homme-machine en toute sécurité dans d'innombrables secteurs d'activité.

Phil Crowther
ABB Robotics
Shanghai (Chine)
phil.crowther@cn.abb.com



Une santé de fer

Des transformateurs plus fiables avec une maintenance à budget serré

JOHN VINES, BERNARD BANH, CRAIG STIEGEMEIER, POORVI PATEL, LUIZ V. CHEIM – De nombreuses entreprises utilisatrices de transformateurs voient leur budget et leurs effectifs de maintenance s'amenuiser alors même que la réglementation se durcit et que les investisseurs en demandent plus. Ce constat oblige à revoir les méthodes et pratiques de gestion des parcs de transformateurs. Dans bien des cas, la maintenance est systématique et à échéance fixe, même si certains appareils n'en ont pas besoin ! Beaucoup plus efficace est la maintenance conditionnelle qui dresse une liste des priorités d'intervention en fonction de la criticité des équipements et des risques encourus : le budget maintenance est alors dépensé à bon escient. Mais comment s'assurer que cette maintenance est bien ciblée ? La réponse tient dans l'analyse des données.



Année après année, les entreprises sollicitent souvent les mêmes experts pour maintenir leurs actifs en état de marche → 1. Pourtant, bon nombre de ces compétences pointues atteignent aujourd'hui l'âge de la retraite et ne sont pas remplacées. L'allégement des effectifs s'inscrit dans une tendance générale aux coupes budgétaires, qui n'épargnent pas la maintenance.

Nombreuses sont les entreprises à miser sur la surveillance et l'analyse des données pour combler le hiatus. Hélas, le volume et la complexité des données ont vite raison de leurs bonnes intentions. Il faut donc trouver un moyen de traiter ces masses d'informations et de compenser la perte de savoir-faire.

La fiabilité en question

Une solution consiste à calculer l'« indice de santé » du transformateur. Il existe pour cela plusieurs méthodes, la majorité s'appuyant sur une liste des paramètres techniques que les experts estiment indis-

pensables à la bonne marche du transformateur. Chaque élément de la liste est pondéré en fonction de son importance relative. Il s'agit ensuite d'évaluer un à un ces paramètres en leur attribuant une note (de 0 à 100, par exemple), de multiplier leur poids par cette note et de diviser le résultat par la somme de tous les poids multipliée par la note maximale de chaque paramètre.

Cela n'est pas sans inconvénients :

- Les poids choisis par les experts étant subjectifs, ils peuvent varier d'une personne à l'autre ;
- Des poids mal choisis risquent de masquer l'importance d'autres paramètres ou fonctions, et de sous-estimer au final les problèmes pouvant survenir avec des paramètres de faibles poids ;

- La méthode ne comporte pas d'analyse de sensibilité robuste : la plupart du temps, la solution

Le système idéal prend en compte l'importance relative de l'équipement et ses risques de défaillance.

proposée n'est pas testée au même niveau de contraintes que dans la vie réelle ni comparée au résultat attendu ;

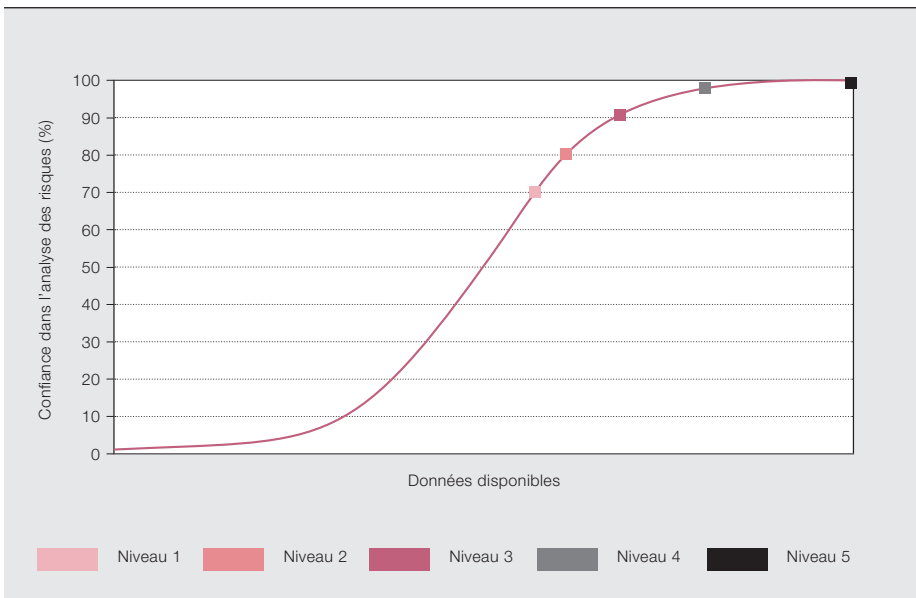
- Paradoxalement, cette méthode donne le même résultat indépendamment des pondérations adoptées, tant que les notes entrant dans son mode de calcul sont toutes des notes maximales.

Photo p. 12

Aborder la maintenance des transformateurs de manière intelligente permet de réduire les dépenses et de faire meilleur usage du nombre restreint d'experts. Comment obtenir les meilleurs résultats avec la méthode analytique ?

Mesures et conseils sont indispensables pour limiter les risques et contribuer au maintien en état du transformateur.

2 Plus il y a de données, plus le niveau de confiance augmente.



L'idéal serait donc de rassembler et d'analyser de grandes quantités de données issues d'une multitude de sources de différents types (capteurs, commandes, systèmes, etc.), la flexibilité étant ici primordiale. Quelle que soit leur périodicité (heure, jour, mois, année), ces données doivent être collectées, classées, puis analysées à l'aide d'algorithmes experts qui envisagent le système dans sa globalité, et non au travers de chacun de ses constituants.

Contrôles réguliers

C'est en comparant les bilans de santé d'une personne, d'une année sur l'autre, que l'on peut repérer une baisse de forme et y remédier. Il en va de même des transformateurs : un *check-up* complet de l'appareil, comparé aux bilans précédents, permet de déceler les changements et de poser un diagnostic. Le système idéal prend également en compte l'importance relative de l'équipement et le risque de défaillance, préconise des mesures et prodigue des conseils pour limiter les risques et contribuer ainsi au maintien en forme de l'appareil.

Prise de pouls

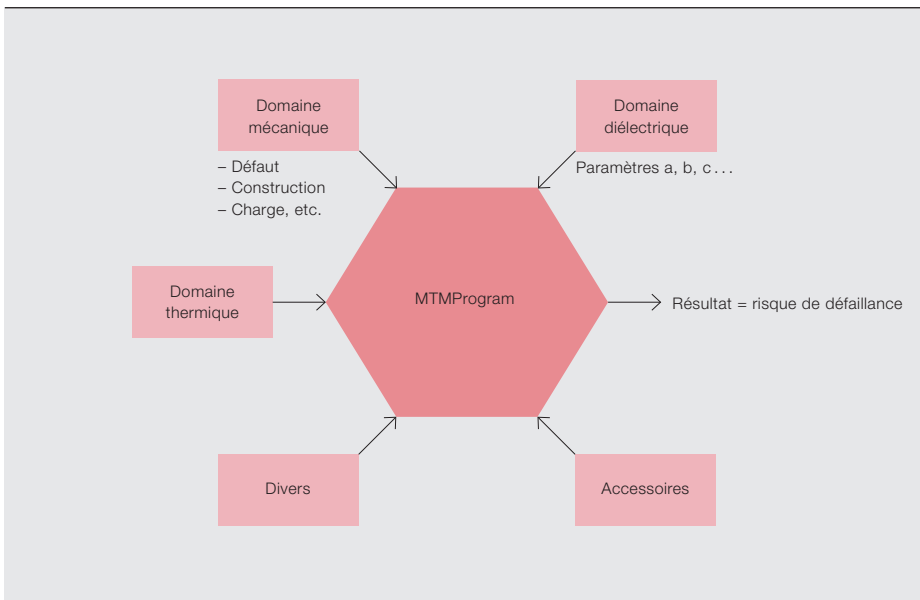
Le premier bilan de santé d'un transformateur, très rigoureux, doit permettre de calculer les risques de défaillance de l'appareil → 2. Plutôt que d'examiner une à une ses caractéristiques et fonctions, puis d'additionner les résultats, il est préférable de faire appel à des experts métier pour en étudier les aspects fonctionnels et dresser un état des lieux global.

Le point de départ de la méthode est la collecte des données suivantes :

- Valeurs de la plaque signalétique de l'appareil, analyse des gaz dissous, qualité diélectrique de l'huile ;
- Charge, rapport de transformation, facteur de puissance de l'isolant ;
- Traversées : capacité et facteur de puissance, état de la porcelaine, thermographie, niveau d'huile, type et année de construction ;
- Changeur de prises : type, données de maintenance, analyse des gaz dissous, état de marche ;

ABB a développé le système expert DTMProgram™ pour s'adapter à la dynamique des données de transformateurs.

- État du système de refroidissement et du système de préservation de l'huile, niveau d'huile dans la cuve, vieillissement des accessoires ;
- Intégrité de la cuve, fuites, traces de rouille, état de la peinture, de l'armoire électrique et des commandes ;
- État et historique des protections (relais Buchholz, parafoudres, soupape de décharge, etc.) ;



Les algorithmes de DTMProgram analysent chaque aspect fonctionnel du transformateur, puis les classent dans les cinq catégories du programme de gestion MTMProgram™.

- Modes de défaillance d'appareils similaires, conception et historiques de réenclenchement ;
- Essais spéciaux et analyses complémentaires : dosage des dérivés furaniques, degré de polymérisation, essai de tension induite de champ, analyse de réponse en fréquence de balayage, réponse en fréquence diélectrique, etc. ;
- Susceptibilité aux courants induits géomagnétiquement.

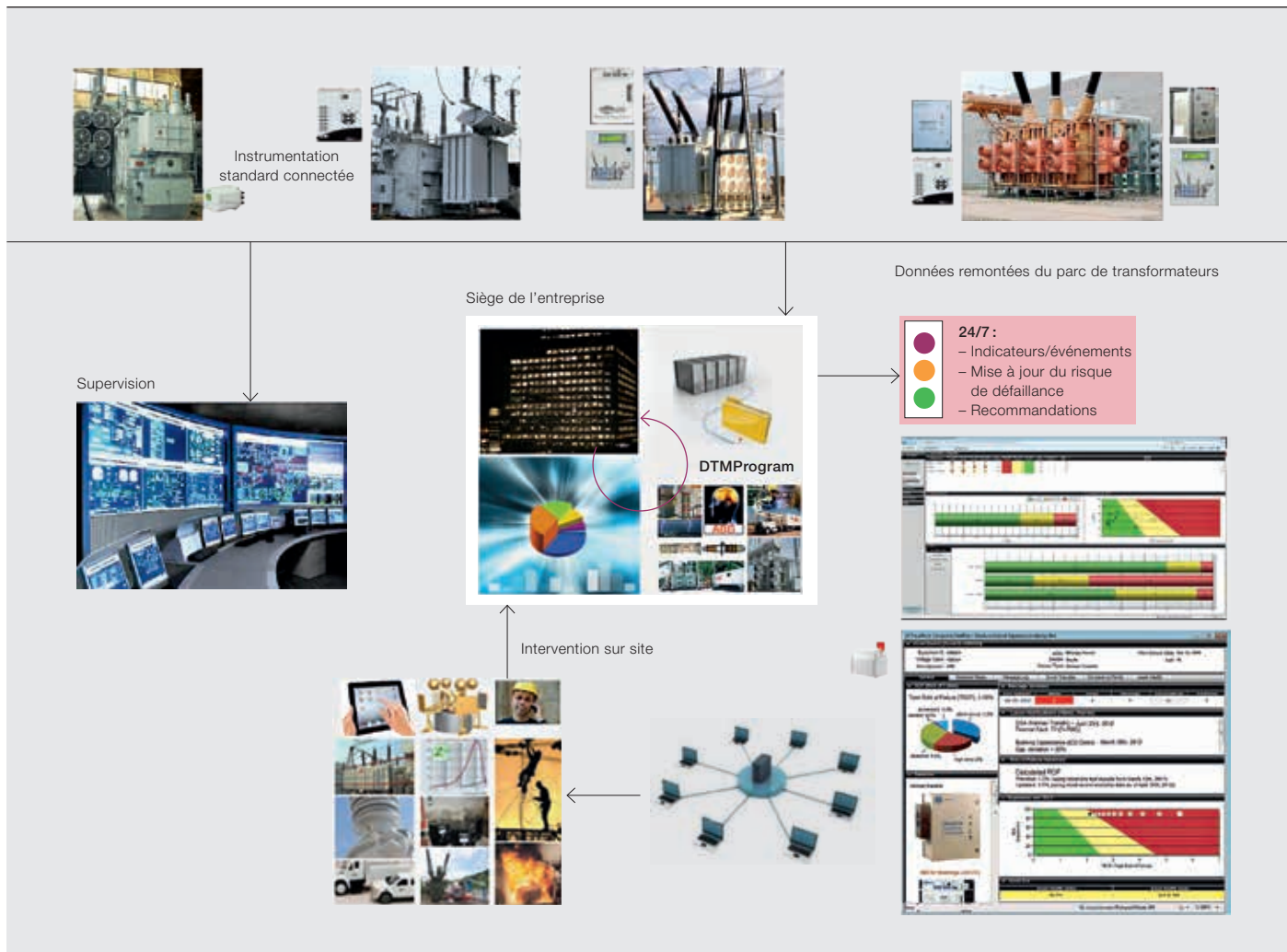
Les données recueillies peuvent être analysées par le programme de gestion *MTMProgram™* (*Mature Transformer Management Program*) d'ABB qui les classe en cinq groupes fonctionnels (domaines thermique, mécanique et diélectrique, accessoires et divers) pour dresser un bilan de santé complet → 3, 4. Des recommandations d'amélioration de la fiabilité sont faites pour chaque transformateur. Les principales fonctions étudiées sont les contraintes types, la sollicitation du réseau, la tenue aux courts-circuits, les caractéristiques thermiques et diélectriques.

L'analyse établit un lien étroit entre les éléments les plus dégradés, les exigences de chaque transformateur et la contribution de chaque paramètre à la fonctionnalité recherchée. Elle calcule ensuite le risque de défaillance pour chaque appareil étudié du parc. Après plus de dix années d'analyse et près de 10 000 transformateurs évalués dans leur globalité, MTMProgram a donné satisfaction à un grand nombre d'utilisa-

teurs de transformateurs, dans différents domaines.

Ce programme fournissant un instantané complet de la santé du transformateur, il convient d'actualiser au quotidien le risque de défaillance et les recommandations de maintenance ou d'exploitation au fur et à mesure de l'évolution des contraintes ou de l'ajout de nouvelles données. Pour s'adapter à cette dynamique, ABB a développé le système expert *DTMProgram™* (*Dynamic Transformer Management Program*), dont les algorithmes analysent chacun des aspects fonctionnels du transformateur pour les classer ensuite dans les cinq catégories de MTMProgram. Ils sont alors capables de sonder le transformateur dans sa globalité, et non de manière fragmentaire comme le ferait un indice de santé → 5. Ce système balaye l'ensemble du parc et peut croiser tous les problèmes rencontrés sur le transformateur.

Des algorithmes pour batteries et disjoncteurs ont été développés sur ce même principe par les experts métier d'ABB ; bien d'autres sont à l'étude pour des équipements industriels stratégiques. Le recours à des experts en phase de conception est un facteur décisif de réussite. Très souples, les algorithmes de transformateur peuvent s'intégrer dans une multitude de plates-formes logicielles. Quels que soient l'origine des données et les systèmes logiciels en place, il y a toujours une solution pour appuyer une stratégie de maintenance conditionnelle.



L’algorithme est capable de sonder un transformateur dans sa globalité, et non de manière fragmentaire comme le ferait un indice de santé.

Autres solutions

Parmi les solutions complémentaires figure le centre de services AHC (Asset Health Center) d’ABB, qui conjugue son expertise en technologies opérationnelles et en technologies de l’information pour offrir le dernier cri du suivi d’état en ligne d’un parc de transformateurs.

Après une première analyse sommaire, le logiciel exploite les données en ligne de l’instrumentation et/ou les saisies hors ligne des traditionnels rapports d’essais pour mener automatiquement des évaluations d’état quotidiennes et, partant, formuler des recommandations d’expert. À cela s’ajoutent d’autres fonctions comme

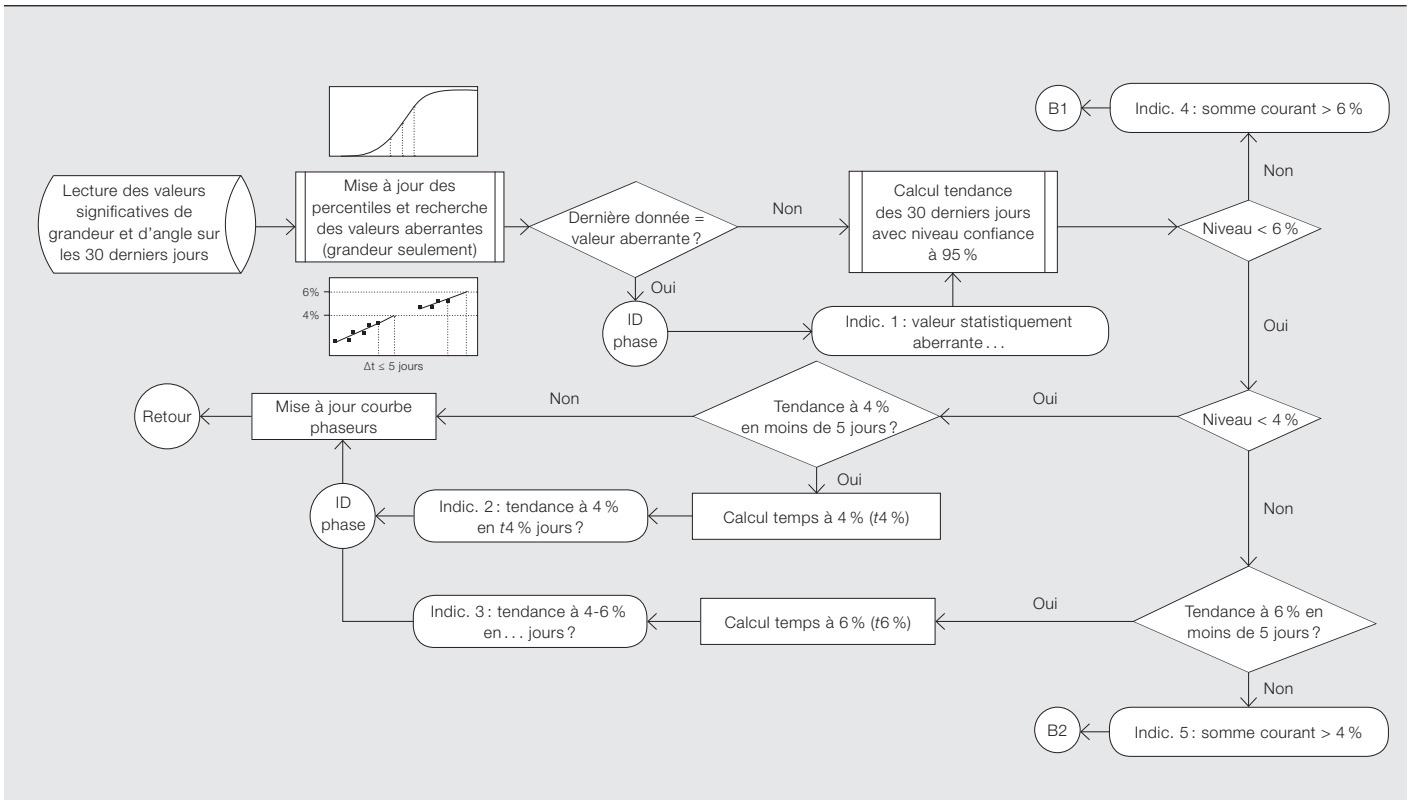
le suivi d’état et des caractéristiques évolutives du parc, l’analyse du risque de défaillance et des tendances, les

comparaisons de gammes d’équipements, les alertes par courriels et SMS, et l’édition de rapports variés.

Des tableaux de bord explicites et faciles d’emploi permettent de visualiser l’état de santé du parc en un coup d’œil. Des voyants tricolores signalent rapidement les équipements ou zones nécessitant une attention plus poussée afin de réserver le budget et les ressources de maintenance aux actifs qui en ont le plus

Les experts métier d’ABB ont également développé des algorithmes pour des batteries et des disjoncteurs, entre autres.

besoin, mais aussi et surtout, d’éviter les arrêts intempestifs. L’interface permet à l’utilisateur d’affiner son diagnostic en



descendant, si besoin, jusqu'au niveau capteur. Et quand la situation commence à se dégrader et franchit un seuil d'alerte, il en est automatiquement avisé par courriel ou SMS.

Viellissement des équipements, hausse de la demande en énergie et nécessité impérieuse d'éviter les pannes inopinées sont autant de défis auxquels sont confrontés les énergéticiens et les industriels du monde entier. À l'inverse des programmes de maintenance et des compétences expertes, premières cibles des coupes budgétaires, les exigences de rentabilité accrue ne fléchissent pas. Face à ce dilemme, les responsables maintenance doivent multiplier les outils (évaluations, capteurs, données analytiques et logiciels) pour passer à la maintenance conditionnelle. Ces solutions peuvent aider à bien mieux cerner les risques de défaillance des transformateurs et à renforcer le niveau de confiance dans l'état d'un parc vieillissant.

Surveillance rapprochée, rentabilité et prédictibilité

L'algorithme du système expert DTM Program d'ABB recommande des mesures d'optimisation de la maintenance et de l'exploitation des transformateurs. Classer les interventions par priorité permet

de focaliser les budgets sur les besoins réels. Éviter les défaillances et diminuer les risques grâce à la maintenance conditionnelle, structurer et hiérarchiser les programmes de remplacement, utiliser des capteurs pour fournir des données en quasi temps réel... toutes ces actions fiabilisent le fonctionnement des transformateurs, réduisent leurs coûts globaux et optimisent la performance pour, *in fine*, maximiser le retour sur investissement. L'analyse des données de transformateurs permet de lister les priorités de maintenance d'un parc complet. C'est en évitant les interventions inutiles sur des actifs en ordre de marche, au profit des équipements critiques, que l'on rentabilise au mieux l'investissement tout en respectant les nouvelles réglementations.

Le recours à des experts en phase de conception est la clé du succès.

John Vines

Bernard Banh

Craig Stiegemeier

Poorvi Patel

Luiz V. Cheim

ABB Power Transformers
 Saint Louis (Missouri, États-Unis)
 john.a.vines@us.abb.com
 bernard.banh@us.abb.com
 craig.stiegemeier@us.abb.com
 poorvi.patel@us.abb.com
 luiz.v.cheim@us.abb.com

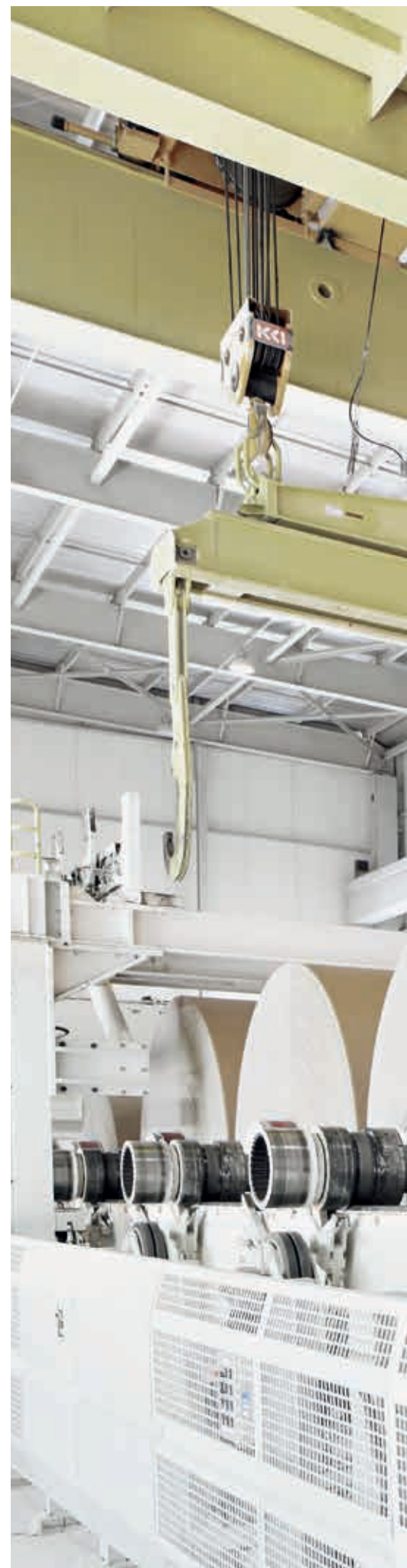
Répartition des charges

Flexibiliser la production pour économiser l'énergie

IIRO HARJUNKOSKI, LENNART MERKERT, HUBERT HADERA, ANTTO SHEMEIKKA, DRAGOLJUB GAJIC, LUCA ONOFRI – Nombreux sont les procédés électro-intensifs (acier, papier, ciment, par exemple) à devoir jongler au quotidien avec les conséquences de l'augmentation et de la fluctuation des prix de l'énergie sur la production. Certes, les nouveaux outils de mutualisation que procurent les réseaux électriques « intelligents » (*smart grids*) permettent de planifier de manière optimale la consommation électrique pour faire chuter les coûts. Reste une difficulté : comment flexibiliser la production pour que l'industriel soit en mesure d'acheter son électricité quand elle est bon marché et même la revendre au réseau en période de pointe, pourquoi pas, au centuple de ce qu'elle a coûté ? ABB s'est penché sur la question et apporte aujourd'hui des réponses.

Photo

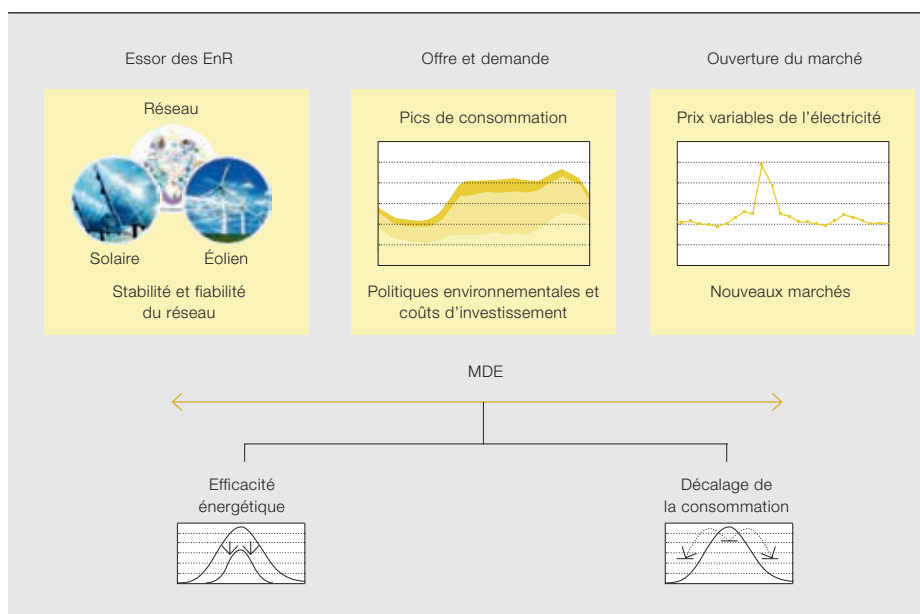
Faire tourner les machines en heures creuses peut faire économiser beaucoup d'argent aux gros consommateurs industriels. Encore faut-il savoir prendre en compte les nombreuses variables, contraintes et spécificités de l'industrie pour produire un modèle optimisé.





Les gros consommateurs ont commencé à inclure les prévisions énergétiques dans leur planning de production.

1 Principaux fondements de la maîtrise de la demande d'électricité (MDE)



Le remplacement des sources d'énergie traditionnelles, stables et gérables, par des énergies renouvelables (EnR) naturellement fluctuantes brouillent les règles de l'approvisionnement énergétique et de son coût. Pour lever l'incertitude, les outils d'achat et de vente de l'électricité sur le marché sont aujourd'hui une nécessité quasi impérieuse pour les procédés industriels énergivores. Le prix de l'électricité ayant un impact direct sur le coût de production, ces gros consommateurs ont commencé à intégrer les données énergétiques dans leurs programmes de production. Cette démarche, associée à l'efficacité énergétique, concourt à la « maîtrise de la demande d'énergie » (MDE) → 1.

À la différence des stratégies d'efficacité énergétique, qui visent à produire autant mais avec moins, la MDE cherche à reporter la consommation sur des plages horaires plus avantageuses. Concrètement, cela revient à adapter la production d'un site en fonction de ce que lui coûte l'énergie à un instant donné. De fait, si l'on dispose d'informations permettant d'anticiper le prix de l'électricité – hypothèse retenue dans cet article –, de nombreux procédés peuvent alors en tenir compte pour ajuster leur planification ou ordonnancement à court terme.

Gestion d'énergie

Cela fait plus de dix ans qu'une solution ABB permet d'optimiser le portefeuille énergétique d'un plan de production: le gestionnaire d'énergie *cpmPlus*. Cet outil de gestion collaborative de la production CPM (*collaborative production management*) assure à la fois la conversion et l'achat d'énergie auprès de plusieurs marchés, et aide à la planification de la production, en particulier celle des procédés continus. La solution a fait florès chez un grand nombre d'industriels du papier, de la métallurgie, de la mine, etc.

Voyons-la à l'œuvre dans une usine de fabrication de pâte à papier thermomécanique *TMP* (*thermomechanical pulp*). Le bandeau supérieur de l'écran → 2 illustre le programme des trois lignes de production, et celui du milieu, le niveau de la cuve de stockage de la fibre; une optimisation mathématique permet de prendre simultanément en compte tous les postes de consommation et de production d'énergie avec la possibilité d'acheter ou de vendre l'électricité au réseau, au prix du marché. En dessous, le diagramme à barres verticales reproduit la consommation électrique des trois lignes TMP, le trait jaune retraçant l'évolution du prix de l'électricité.

Cet exemple illustre la manière dont une solution CPM peut collecter et croiser les données de plusieurs sources pour élaborer les stratégies de production les plus économiques tout en tenant compte

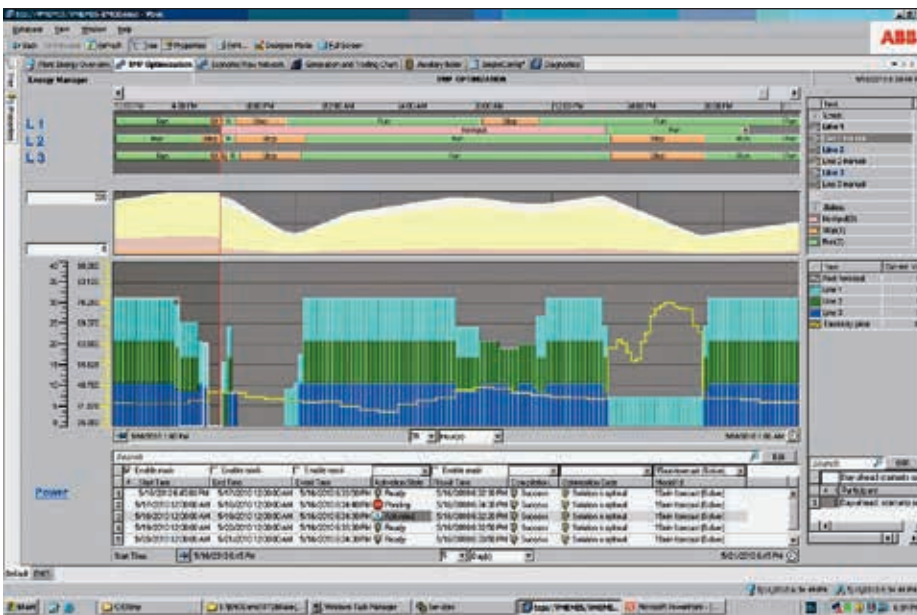
des coûts de l'électricité. La solution incluant d'autres unités de production, elle permet de décider du moment où l'on fera tourner telle ou telle ligne, compte tenu de paramètres comme la demande totale de vapeur en aval, la capacité et le coût d'autres sources de vapeur, le plan de production des machines à papier, les planchers et plafonds de production de chaque ligne de raffineurs.

Optimisation globale

Notre exemple suppose l'existence d'au moins un programme de production préétabli → 3a. La difficulté, du point de vue scientifique, réside dans l'optimisation

Contrairement aux démarches d'efficacité énergétique, qui visent à produire autant avec moins, la maîtrise de la demande électrique cherche à décaler avantageusement la charge dans le temps.

2 Solution de gestion énergétique pour la fabrication de pâte à papier thermomécanique : toutes les lignes sont à l'arrêt quand les prix de l'électricité sont au plus haut.



La difficulté tient à ce qu'il faut optimiser en même temps le programme de production et la stratégie d'achat d'électricité.

concomitante du programme de production et de la stratégie d'achat d'électricité → 3b. L'idée première est de planifier la production à l'optimum tout en tenant compte des volets contrôle-commande, ordonnancement et logistique du procédé. La programmation linéaire mixte-entier MILP (*mixed-integer linear programming*) est une technique très prometteuse pour résoudre des problèmes d'optimisation holistique comme celui-ci, aux finalités en partie contradictoires. Les solveurs MILP ont en effet beaucoup progressé et sont aujourd'hui capables d'apporter une solution à des problématiques nettement plus complexes que celles rencontrées il y a une dizaine d'années.

Par contre, l'optimisation simultanée des aspects gestion énergétique et planification de production n'a pas encore trouvé de solution dans des environnements de production réalistes. Les chercheurs ABB ont planché sur la question en partenariat avec un aciériste ; leurs travaux ont débouché sur des concepts qui sont aujourd'hui testés en conditions réelles.

L'exemple métallurgique

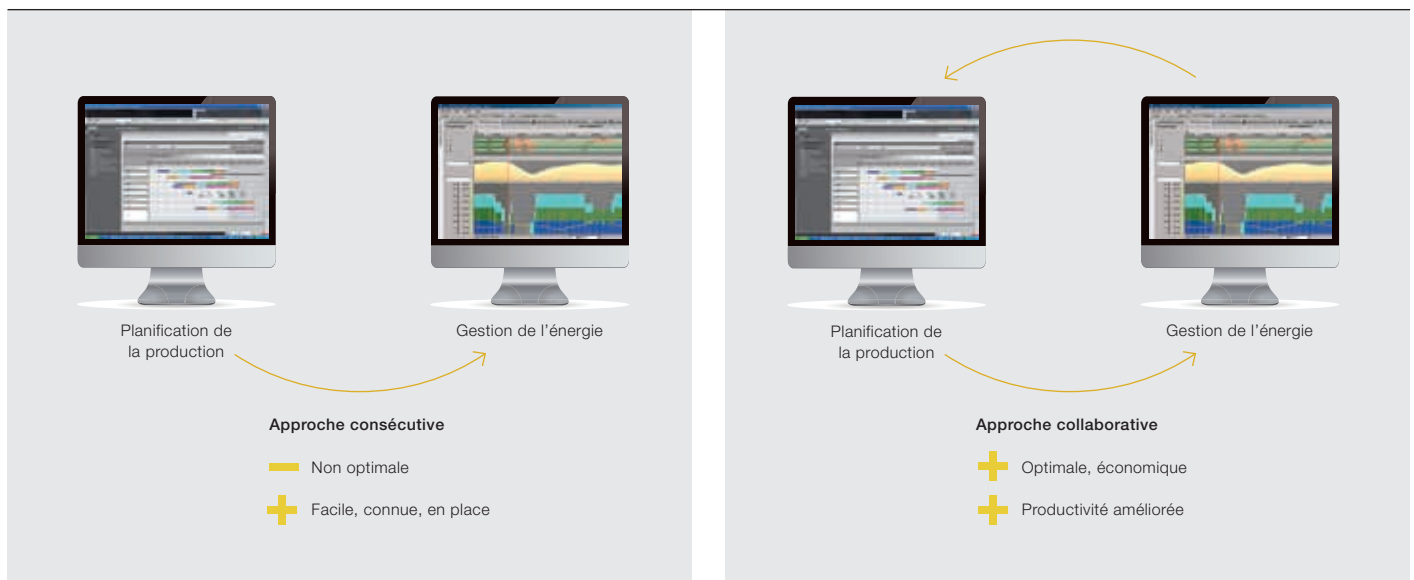
Planifier la production d'une aciérie n'est pas chose aisée, du fait notamment des températures extrêmes auxquelles sont exposés *process* et matériaux. Tout retard de fabrication, par exemple, entraîne un refroidissement des matières entrant dans la composition du produit, qui doivent ensuite être réchauffés. C'est pourquoi

la filière attend beaucoup de l'optimisation automatique des programmes de production. Il faut aussi être attentif à d'autres aspects de la mise en œuvre, comme la possibilité de diversifier les configurations d'atelier et les gammes de produits, l'utilisation d'interfaces opérateur appropriées, l'intégration à d'autres systèmes d'information (gestion de production ERP, management de l'énergie, contrôle-commande, par exemple). Sans tous ces aspects, même le modèle d'optimisation de la planification le plus abouti ne saurait être déployé dans un environnement de production réel.

Maîtrise de la demande d'énergie industrielle

Les nouveaux concepts mis au point par ABB vont dans le sens de la maîtrise de la demande d'énergie industrielle par l'optimisation automatique de la planification de la production au regard des coûts de l'électricité. Les ingénieurs ont commencé par rechercher les modèles monolithiques permettant d'intégrer ces deux composantes.

La solution retenue → 4 consiste à superposer une grille horaire au planning de production original pour contrôler la consommation d'électricité dans chacun des créneaux temporels ainsi délimités. L'énergéticien ou le marché fixe le prix de l'électricité pour chaque tranche de 15 à 60 minutes. En théorie, cette optimisation par modèle holistique débouche sur un « optimum global », c'est-à-dire une



3a Au moins un planning de production en partie préétabli existe.

3b Le planning de production et la stratégie d'achat d'électricité sont simultanément ou itérativement optimisés.

Les solveurs MILP ont beaucoup progressé et sont aujourd'hui capables de résoudre des problèmes bien plus épineux que ceux rencontrés il y a une dizaine d'années.

solution conciliant au mieux la production et la facture électrique. Hélas, ce type de modèle est très souvent compliqué ou impossible à résoudre dans un temps raisonnable : il faut alors affiner la modélisation.

Des modèles plus précis

Dans les process comptant de nombreuses étapes de fabrication ou produisant par lots (cas de l'acier), les équipements ne tournent pas tous en continu. Il en résulte une flexibilité qui permet d'adapter la production aux besoins de la gestion énergétique. De même, les procédés échelonnés comportent souvent des tampons de stockage des matières premières et des produits intermédiaires et finis. En fonderie, par exemple, les demi-produits sont très chauds ; par conséquent, une mauvaise coordination des étapes successives de production entraîne des pertes d'énergie par refroidissement. Autre contrainte : les gros consommateurs d'électricité doivent habituellement s'engager sur des prévisions de charge et s'acquitter de pénalités financières en cas d'écarts.

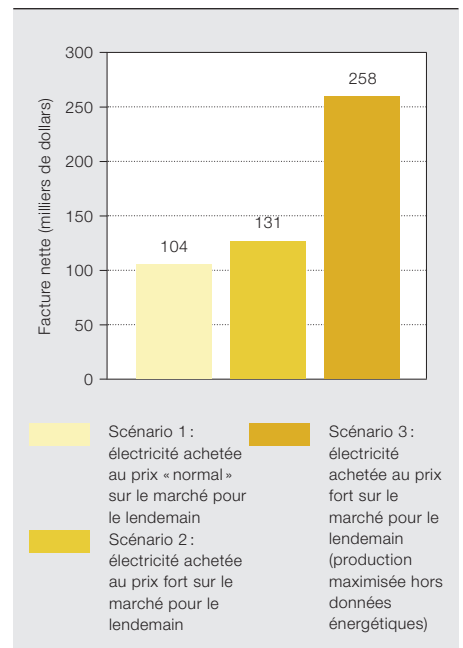
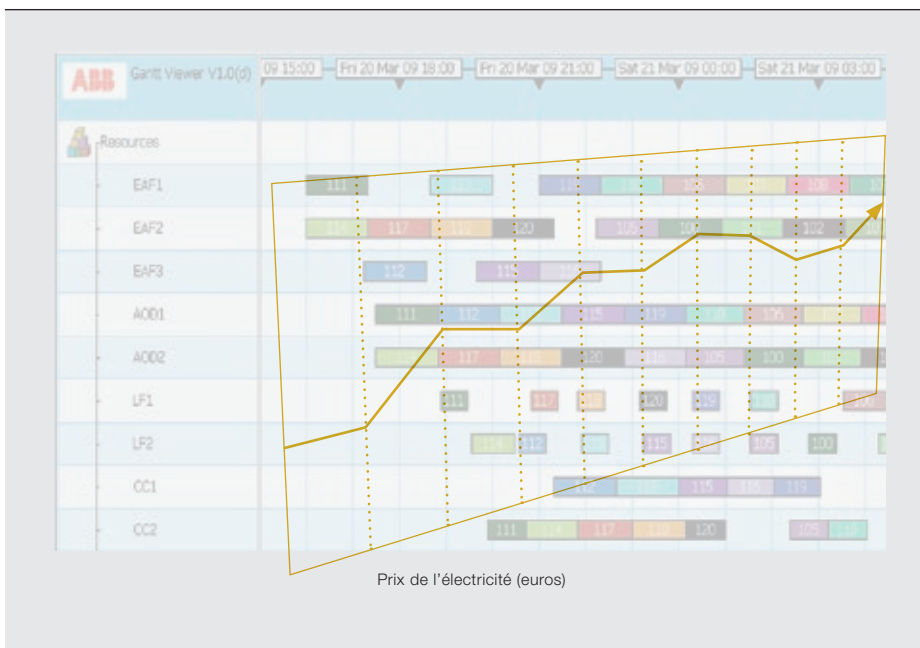
Dans l'étude ABB, le modèle de planification en temps continu (*exact*) de la fonderie a été affiné pour tenir compte à la fois du prix de l'électricité et des écarts par rapport à la courbe de charge prévue. La méthode présente l'avantage d'inclure les paramètres énergétiques dans le modèle de planification original

en ajoutant de nouvelles variables de décision pour calquer la consommation d'électricité sur chaque tranche horaire de la grille. Elle aboutit à des solutions réalisables offrant un vrai potentiel d'économies d'énergie. Pour autant, ce modèle de base n'est pas efficace pour les cas plus complexes. Il a donc fallu envisager des méthodes fondées sur d'autres principes de modélisation (comme la planification par tâches-affectation des ressources, par exemple) et des algorithmes de décomposition.

Étude de cas

Sur la base de données réalistes, une étude hypothétique a été menée pour déterminer l'influence sur la facture énergétique de trois scénarios d'achat d'une quantité fixe d'électricité, chacun à un tarif contractuel connu, dans le cadre d'un problème type de planification sur 24 heures → 5. Précisons qu'il est possible d'alléger la note totale en revendant le surplus d'électricité. L'aspect prévision de charge est également pris en compte.

Le premier scénario illustre une journée où les prix de l'électricité sur le marché pour le lendemain sont « normaux ». Avec la planification fondée sur le prix de l'énergie, la facture nette d'électricité avoisine 110 000 dollars. Le deuxième scénario s'appuie sur des prix tributaires de la météo : la note s'alourdit de 27 000 dollars. Le troisième fait l'impasse sur le



prix de l'énergie, n'optimisant que le rendement de la production : la facture est multipliée par deux ! On voit bien ici le fort potentiel d'économies que recèle le tandem planification collaborative-optimisation énergétique, les jours de flambée des prix de l'électricité.

Dans ce cas pratique, la planification tenant compte de l'énergie participe à un net allègement de la dépense électrique. Cela dit, la comparaison des plannings des scénarios 2 et 3 montre clairement que cette planification tente d'éviter les tarifs heures pleines très élevés (pavés rouge et orange du diagramme de Gantt → 6), mais au prix d'un allongement du temps total de production. Certaines opérations de fabrication peuvent accuser un retard, induisant par là même des coûts de réchauffage. Dans notre étude, le coût des pertes thermiques n'intervient pas dans le calcul des économies réalisées. Pourtant, avec des modèles de refroidissement réalistes, il est tout à fait possible d'en tenir compte.

La solution ABB

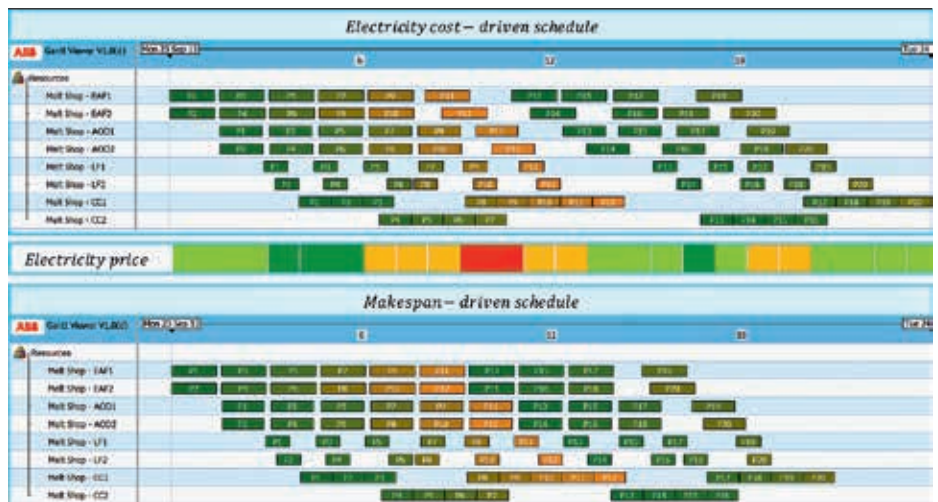
ABB a déployé un nouveau système de planification de la production par programmation MILP pour une application très complexe : l'atelier de fonderie de l'un des premiers producteurs au monde de produits plats en acier inoxydable, Acciai Speciali Terni (groupe Thyssen). En quelques minutes, l'ordonnanceur est capable de créer et d'optimiser automa-

tiquement un nouveau plan de production, ou d'actualiser manuellement un plan existant sur un horizon de sept jours maximum. Le système est assez souple pour prendre en charge différentes configurations de fonderie et toutes les informations utiles (traitement, transport, temps de mise en route et de nettoyage, etc.) qui serviront à élaborer un plan de production réalisable. Il gère également les programmes de maintenance, l'état de l'atelier et la disponibilité des équipements, les délais et les pénalités pour retard de production ou dépassement des temps de séjour entre les différentes étapes du procédé, etc. De plus, une interface web opérateur, créée par l'acériste, facilite le choix des équipements ou étapes de production à optimiser et à planifier : fours à arc, fours poches, etc. → 7. Chaque élément occupe deux lignes du diagramme de Gantt : la première, *Monitoraggio*, suit son état et affiche les événements correspondants ; la seconde, *Programma*, indique ce qui a été planifié et ordonnancé. Cette interface permet également à d'autres services de l'entreprise de lancer les actions appropriées pour minimiser les pertes potentielles et les retards (reprogrammation ou léger report de production pour cause de prix élevé de l'électricité, par exemple). Ce nouveau système est en relation avec les autres systèmes d'information de l'aciérie, dont l'ERP et le contrôle-commande, mais aussi avec le marché de l'électricité pour le lendemain

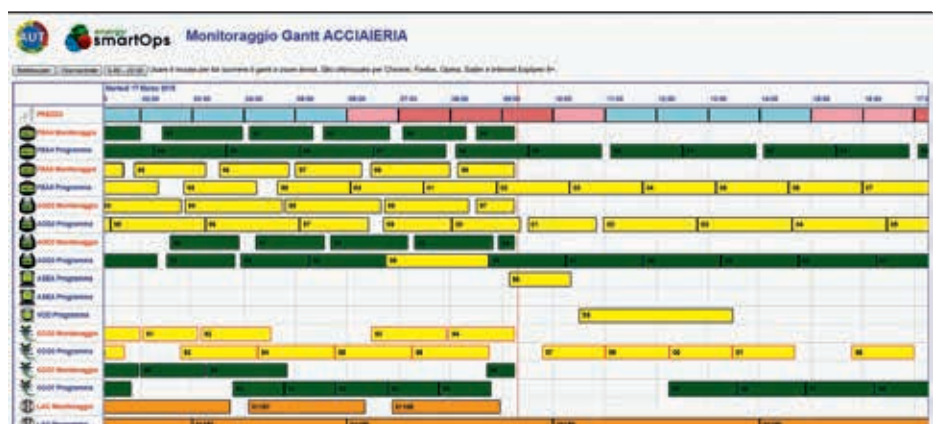
Dans l'étude ABB, le modèle de planification de l'atelier en temps continu a été affiné pour tenir compte à la fois du prix de l'électricité et des écarts par rapport aux prévisions de charge.

Quelques minutes suffisent pour créer et optimiser automatiquement un nouveau plan de production, ou actualiser manuellement le plan existant jusqu'à sept jours.

6 Comparaison des plannings fondés sur le coût de l'électricité (*en haut*) et le rendement de la production (*en bas*)



7 Interface web du nouveau système de planification montrant l'évolution horaire des prix.



afin de pallier en dynamique la volatilité des prix.

Qui plus est, en collaboration avec ABB, l'aciériste a intégré au nouveau système de planification une solution pointue d'optimisation du planning de production, qui tient aussi compte des prix de l'électricité. L'aciérie peut optimiser sa facture d'électricité et ses temps de production, et participer ainsi plus activement aux programmes MDE et contribuer à la fiabilité et à la sécurité du réseau électrique.

Il est indéniable que la mise en œuvre de la solution a amélioré la coordination entre les différentes étapes de production et, du coup, diminué les temps de séjour intermédiaires et la consommation d'énergie. Le système s'est également avéré très utile pour mener plusieurs simulations et tester des hypothèses. Les bénéfices estimés sont de l'ordre de 2 à 5 %, soit une économie considérable au vu des budgets énergétiques en jeu.

Priorité à la souplesse

La planification de la production est également de plus en plus complexe dans d'autres secteurs industriels que l'acier, en raison principalement de la multiplication des petites commandes de produits différenciés. Les unités de production doivent alors redoubler d'agilité et de réactivité aux changements de dernière minute. Ces filières se heurtent aussi à la complexité engendrée par des prix de l'électricité qui, pour être plus abordables, varient d'heure en heure sur le marché pour le lendemain. Dans ces conditions, la planification combinée de l'énergie et de la production doit toujours être recoupée avec des données temps réel. Grâce à une offre complète d'automatismes de process et de réseau électrique, ABB a les outils pour aligner l'offre et la demande à l'aide de mécanismes de tampons en cours de fabrication et de déplacement de la charge adaptés à un large éventail de secteurs industriels.

Iiro Harjunkoski

Lennart Merkert

Hubert Hadera (ancien collaborateur ABB)

ABB Corporate Research

Ladenbourg (Allemagne)

iiro.harjunkoski@de.abb.com

lennart.merkert@de.abb.com

Antto Shemeikka

ABB Process Automation, Process Industries

Helsinki (Finlande)

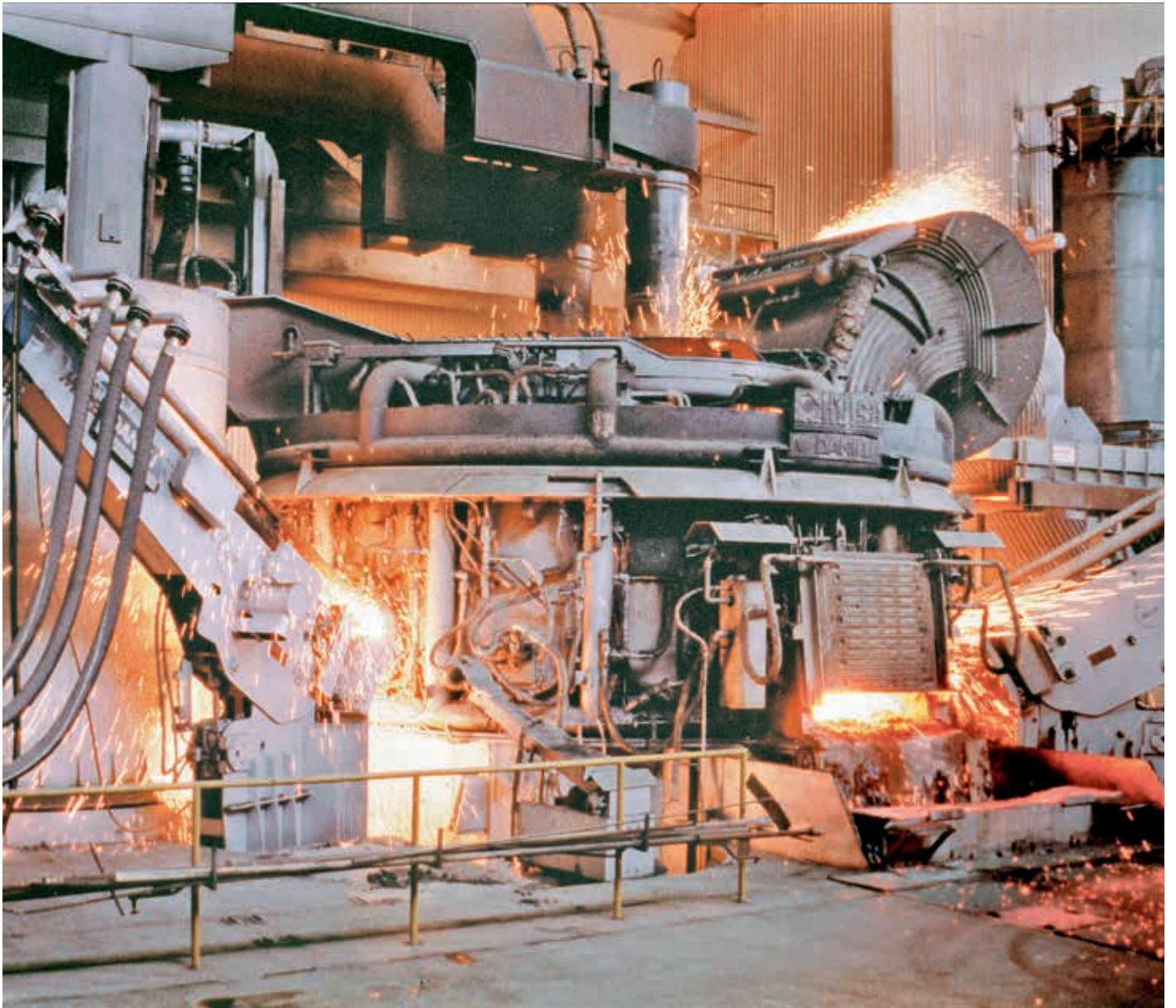
antto.shemeikka@fi.abb.com

Dragoljub Gajic

Luca Onofri

ThyssenKrupp AG, Acciai Speciali Terni SpA

Terni (Italie)



Effets détonants

Des fours à arc électrique plus productifs et économiques avec le brasseur électromagnétique ArcSave®

LIDONG TENG, AARON JONES, MICHAEL MEADOR, HELMUT HACKL – ArcSave® est un brasseur électromagnétique ABB de nouvelle génération qui accroît la sécurité et la productivité des fours à arc électrique tout en réduisant leur coût d'exploitation. Les résultats d'essais à chaud réalisés sur le premier système ArcSave installé en 2014 sur un four de 90 tonnes montrent un fonctionnement plus stable de l'arc et un meilleur transfert de chaleur et de masse dans le four. Il s'ensuit une fusion plus rapide de la ferraille, une moindre surchauffe du laitier pendant

la formation de l'arc, un bain plus homogène, une décarburation accélérée et un plus grand rapport d'ouverture du trou de coulée excentré. ArcSave contribue également à réduire la température et l'oxygène de coulée dans l'acier, pour un rendement de production plus élevé et une moindre consommation de ferroalliages dans le four poche. Économies d'énergie, réduction du temps de cycle de fusion et fonctionnement plus régulier du four se conjuguent pour faire progresser la productivité et la sécurité.

Depuis plus de 70 ans, ABB développe des solutions électromagnétiques innovantes pour renforcer la qualité, la productivité et la sécurité des aciéries.

Depuis plus de 70 ans, ABB s'emploie à développer des solutions électromagnétiques innovantes pour renforcer la qualité, la productivité et la sécurité des aciéries. Le tout premier brasseur électromagnétique pour four à arc électrique fut livré en 1947 au Suédois Uddeholms AB ; à ce jour, plus de 150 systèmes ont été installés dans le monde. ArcSave, dernier-né des brasseurs électromagnétiques ABB, a été conçu pour répondre aux besoins de puissance de brassage accrue des fours à arc produisant à la

technologie, considérant que chaque tonne d'acier devait être produite avec le plus d'efficacité et de sécurité possible. C'est pour cette raison que l'entreprise accepta de participer au projet ArcSave d'ABB.

Principes de fonctionnement

Le brasseur électromagnétique ArcSave est placé sous une plaque d'acier non magnétique (acier inoxydable austénitique) → 1a. La circulation d'un courant électrique basse fréquence dans les enroulements du brasseur produit un

champ magnétique progressif qui pénètre par le bas du four et met en mouvement l'acier liquide → 1b. L'intensité du brassage peut être adaptée selon la phase du procédé : fusion de la ferraille, homo-

Un four à arc équipé du brasseur ArcSave se distingue principalement par l'intensité de la convection dans le bain de métal.

fois des aciers ordinaires et des aciers fortement alliés.

générisation, fusion d'alliages, décarburation, décarassage et coulée.

En juillet 2014, le premier système ArcSave est installé et mis en service sur un four à arc à courant alternatif de 90 t de l'aciériste SDI (Steel Dynamics, Inc.) à Roanoke, aux États-Unis. Pour maintenir sa compétitivité, SDI a toujours misé sur

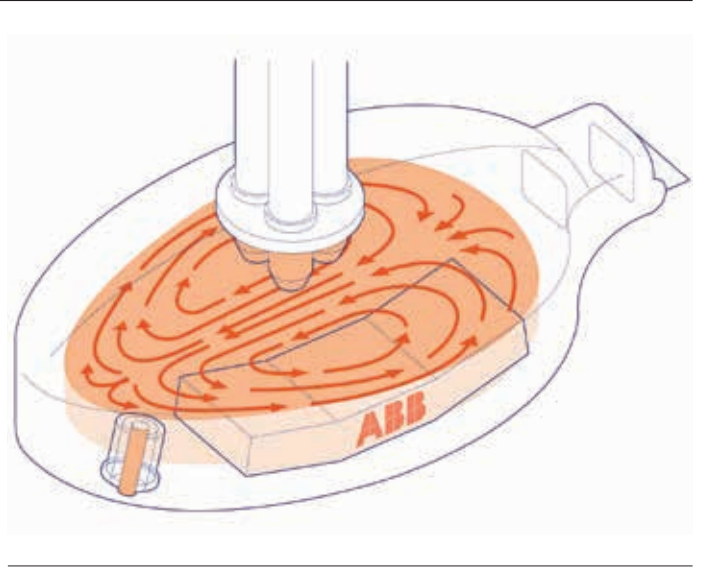
La vitesse moyenne théorique de brassage tourne autour de 0,5 m/s. La figure → 2 est un exemple de simulation du schéma d'écoulement horizontal moyen à environ 25 cm sous la surface du bain dans un four à arc de 150 t à

Photo p. 25

Les brasseurs électromagnétiques participent à l'efficacité des fours à arc électrique. La nouvelle génération de brasseurs ArcSave d'ABB est testée depuis un an au sein d'une aciérie. Les résultats sont-ils probants ?



1a Brasseur ABB monté sous le four



1b Brassage du métal liquide dans le four

trou de coulée excentré. On voit que l'écoulement est légèrement asymétrique. Comparé à la méthode d'injection de gaz par bouchons poreux, ArcSave induit un brassage circulaire au cœur du bain qui homogénéise plus rapidement sa température et sa composition chimique, et accélère les réactions chimiques de l'acier avec le laitier.

Le système ArcSave se compose du brasseur électromagnétique, d'un convertisseur de fréquence, d'un transformateur et d'un circuit d'eau de refroidissement → 3. Ses principales caractéristiques sont :

- Absence de contact avec le bain d'acier ;
- Utilisation d'un garnissage réfractaire normal ;
- Inversion du sens de brassage par inversion du sens du courant ;
- Maintenance très réduite.

En favorisant la cinétique de transfert de chaleur et de masse, ArcSave offre des avantages substantiels à chacune des étapes du cycle de fusion, comme le montrent les essais à chaud réalisés chez SDI. Revue de détail.

Bilan énergétique amélioré

L'homogénéisation accrue du mélange brassé réduit le gradient de température de 75 %. C'est dire combien le brasseur électromagnétique limite la surchauffe de la surface du bain et permet de transmettre rapidement la chaleur de l'arc à la ferraille à fondre. Le moindre rayonne-

ment de l'arc vers les parois et la voûte du four réduit les pertes thermiques et la consommation d'électricité. Comme le brassage accélère la fonte de la ferraille et la décarburation, le cycle de fusion est plus court, réduisant encore les pertes

Avec ArcSave, le moindre rayonnement de l'arc vers les parois et la voûte du four réduit les pertes thermiques et la consommation d'électricité.

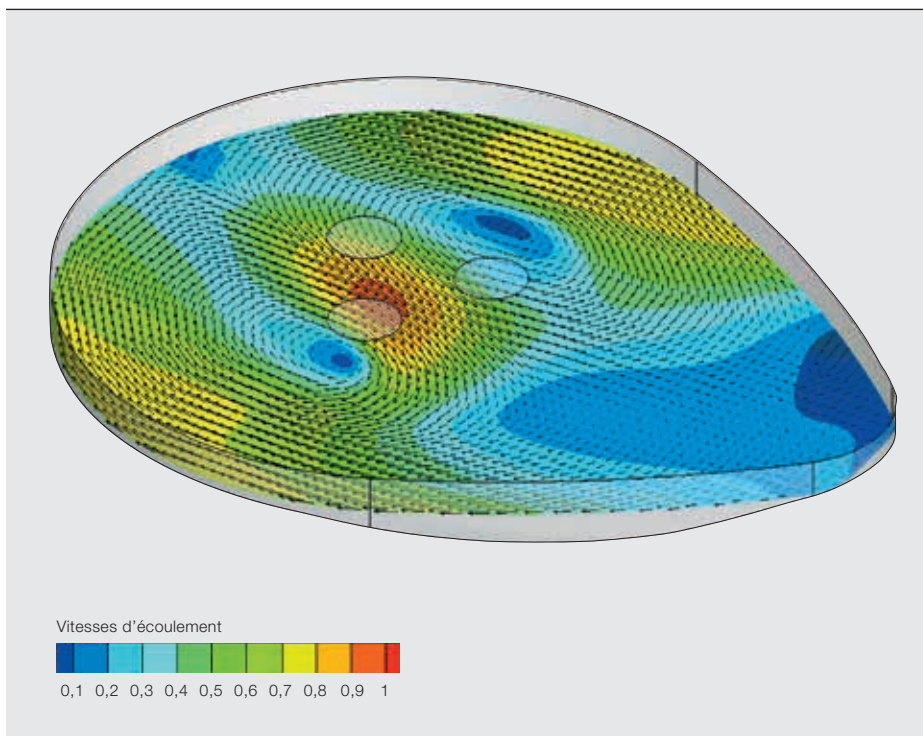
thermiques. Lors des essais réalisés chez SDI, le bilan énergétique total fut amélioré de 14 kWh/t (soit 4 %), notamment grâce à la moindre consommation d'énergie chimique (gaz naturel, carbone et oxygène) et à la baisse de la teneur en oxydes de fer (FeO) du laitier. Cette double amélioration du rendement électrique et thermique réduit d'environ 5 % le temps de mise sous tension.

Fusion de la ferraille

Un four à arc équipé du brasseur ArcSave se distingue principalement par l'intensité de la convection dans le bain de

Le brassage du métal liquide dans le four à arc pousse la réaction carbone-oxygène plus près du point d'équilibre et réduit la teneur en oxydes de fer du laitier de 2,5 %.

2 Schéma d'écoulement horizontal du métal fondu brassé



métal. Cette convection forcée améliore la fusion des gros morceaux et paquets de ferraille, contribuant à une distribution homogène de la température et de la composition, et à une moindre stratification de la ferraille. Sans brassage, la différence de densités ne produit qu'une très faible convection.

Chez SDI, le brassage a également permis de diminuer le temps de stabilisation des électrodes de quelque 10 % après

voquant de brusques mouvements qui perturbent fortement le courant d'arc. Avec ArcSafe, l'écart-type des variations de courant sur un cycle de fusion avec enfournement de trois paniers est réduit de près de 50 % → 4b, améliorant le rendement électrique et, donc, la productivité.

Une distribution homogène de la température dans le métal offre d'autres avantages comme une coulée régulière et chaude par le trou excentré, ce qui facilite l'obtention des différentes nuances d'acier.

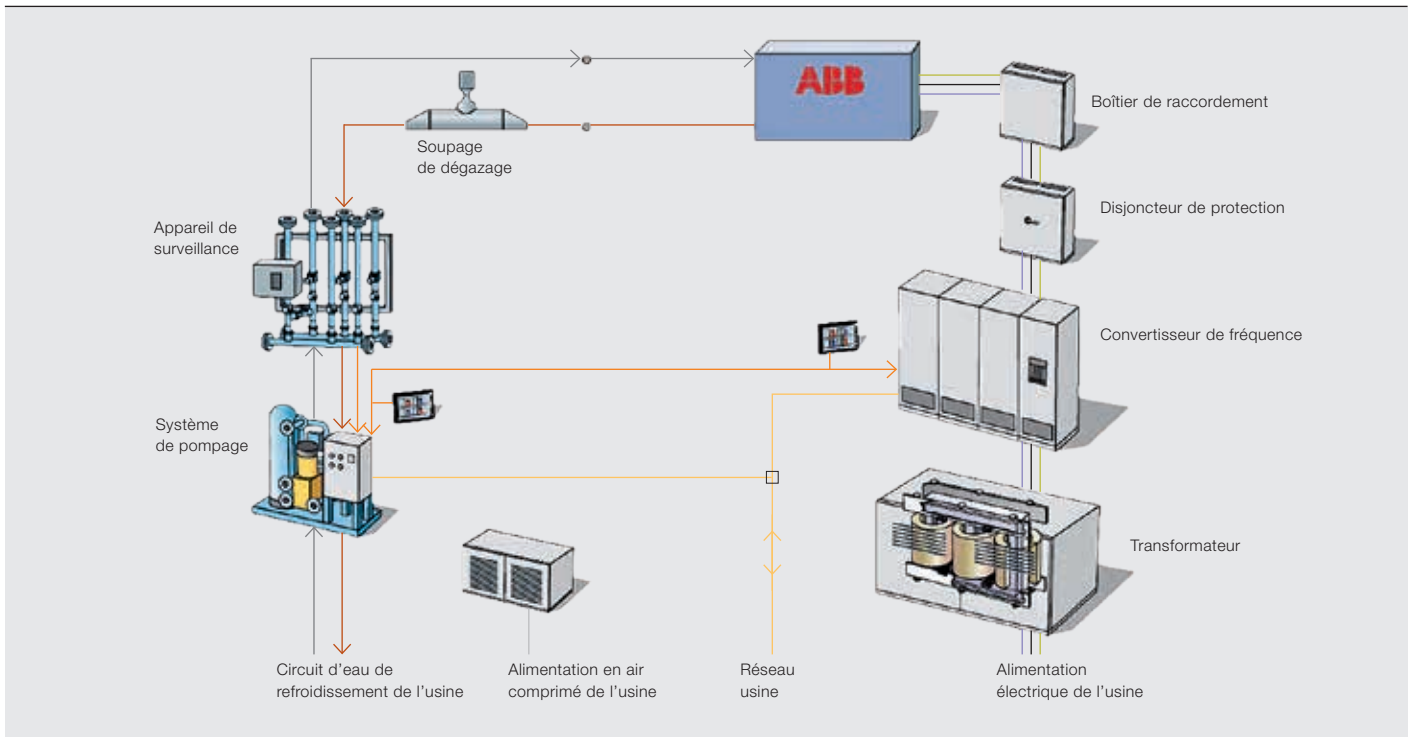
Une distribution homogène de la température dans le métal offre d'autres avantages comme une coulée régulière et chaude par le trou excentré, facilitant l'obtention des différentes nuances d'acier.

enfournement des paniers → 4a. Les essais ont en outre montré que le brasseur électromagnétique stabilisait l'arc en faisant fondre plus rapidement les gros paquets de ferraille et en limitant les effondrements. En effet, en se liquéfiant, la ferraille s'effondre sur elle-même, pro-

voquant de brusques mouvements qui perturbent fortement le courant d'arc. Dans le cas d'un acier à haute teneur en carbone, la vitesse de décarburation est fonction du débit d'oxygène. Sous un certain débit, la vitesse de transfert du carbone vers la zone de réaction est normalement

Décarburation

Une fois toute la ferraille fondue, la phase de décarburation peut commencer. Elle consiste essentiellement à injecter de l'oxygène pour créer une zone de réaction fortement turbulente où le carbone



aussi plus lente, tout comme la vitesse de décarburation. Mais en facilitant le transfert de masse du carbone, ArcSave peut aller jusqu'à doubler ces deux vitesses et réduire la consommation d'oxygène (-5 % chez SDI).

acier, réduisant les coûts de ferraille et de conversion.

Rendement acier

Outre la moindre teneur en FeO du laitier, le rendement acier est nettement amélioré par la diminution des résidus métalliques dans le laitier. En effet, les essais ont montré que les laitiers recyclés contenaient environ 40 % de moins de ferraille, augmentant de quelque 0,6 % le rendement acier. Les raisons de cette diminution sont à l'étude,

mais la forte interaction métal/laitier et la plus grande homogénéité du laitier sont deux explications plausibles.

Enfin, le gain de rendement acier découle également de sa moindre teneur en oxygène de coulée.

Enfin, le gain de rendement acier découle également de sa moindre teneur en oxygène de coulée.

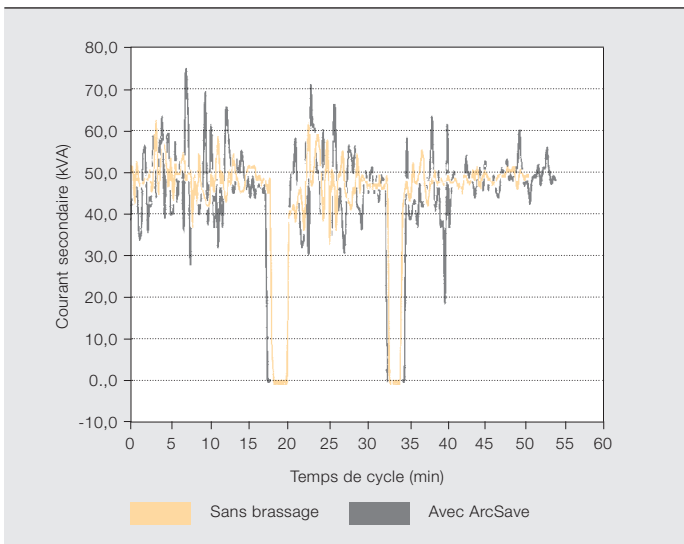
Effet vortex et entraînement de laitier

En théorie, un trou de coulée excentré doit donner un acier exempt de laitier dans le four poche. Or du laitier est toujours entraîné dans ce dernier par effet vortex en fin de coulée. Des modèles d'eau montrent que ce phénomène peut

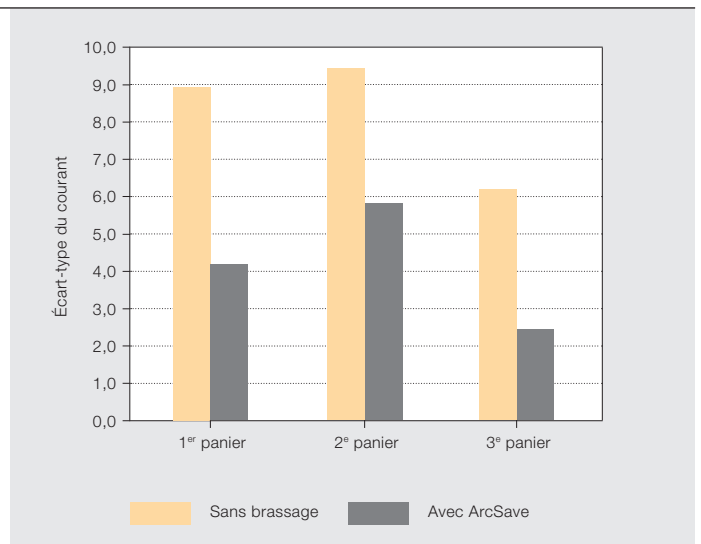
En facilitant le transfert de masse du carbone, ArcSave peut doubler la vitesse de décarburation et réduire la consommation d'oxygène.

Désoxydation

Les essais chez SDI ont confirmé le fait que le brassage du bain liquide dans un four à arc pousse la réaction carbone-oxygène plus près du point d'équilibre [2]. En effet, l'oxygène dans la coulée a été ramené de 618 ppm à 504 ppm, avec une légère augmentation du carbone. Ces résultats prouvent qu'ArcSave permet d'abaisser simultanément les niveaux de carbone et d'oxygène. De même, il réduit la teneur en Fe₂O₃ du laitier de 2,5 %. Selon le calcul des bilans matières, cela se traduit par une hausse de 0,2 % du rendement



4a Courant secondaire d’arc avec et sans ArcSave ; ArcSave réduit les variations de courant.



4b Écart-type de la variation de courant, sur un cycle de fusion avec enfournement de trois paniers, réduit de près de 50 % avec ArcSave.

être supprimé par la puissance de brassage d’ArcSave. L’épaisseur du laitier dans le four poche, mesurée selon la méthode de la tige d’acier à l’aluminium, fut réduite de 50 %.

Garnissage réfractaire du four

Les six mois d’essais à chaud chez SDI ont montré que le brassage ArcSave réduisait de quelque 15 % l’usure du réfractaire, probablement en grande partie du fait de la moindre surchauffe du laitier. En effet, c’est au niveau de la ligne du laitier que les dégradations sont les plus importantes. D’autres facteurs entrent également en ligne de compte : la teneur plus faible en FeO du laitier et en oxygène de l’acier, ainsi que la baisse de 14 °C de la température de coulée, sans incidence sur la température à l’entrée du four poche → 5.

Fiabilité et sécurité

La sécurité et la fiabilité des fours à arc sont des priorités absolues. ArcSave y

rapport d’ouverture du trou de coulée excentré.

ArcSave aide à réduire ou à supprimer les facteurs suivants de contre-performance des fours à arc électrique :

- Effondrements de ferraille ;
- Gros morceaux de ferraille et fonte brute infondus ;
- Brusque ébullition du carbone dans le métal fondu, surtout en cas d’enfournement de fonte brute ;
- Masse et température de coulée hors spécifications ;
- Faible rapport d’ouverture du trou de coulée excentré → 6.

Des aciéries plus sûres, plus productives, plus économes

Pour l’aciériste, ArcSave offre une multitude d’avantages → 7 : cycle de fusion plus sûr, plus court et moins coûteux ; meilleur transfert de chaleur et de masse ; fusion plus rapide de la ferraille, homogénéisation accélérée de la température

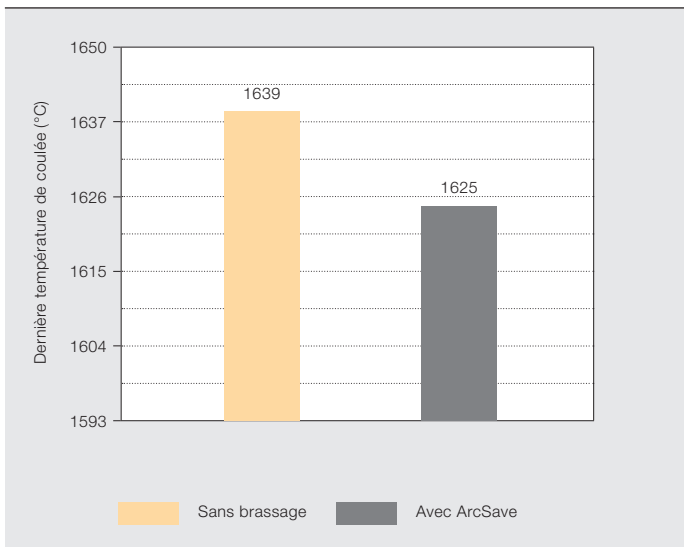
et de la composition chimique du bain d’acier ; réactions métal/laitier plus proches du point d’équilibre ; décarburation plus rapide ; fonctionnement plus fiable du four à arc. Ces

ArcSave offre une multitude d’avantages pour l’aciériste, comme le prouvent les essais réalisés chez SDI.

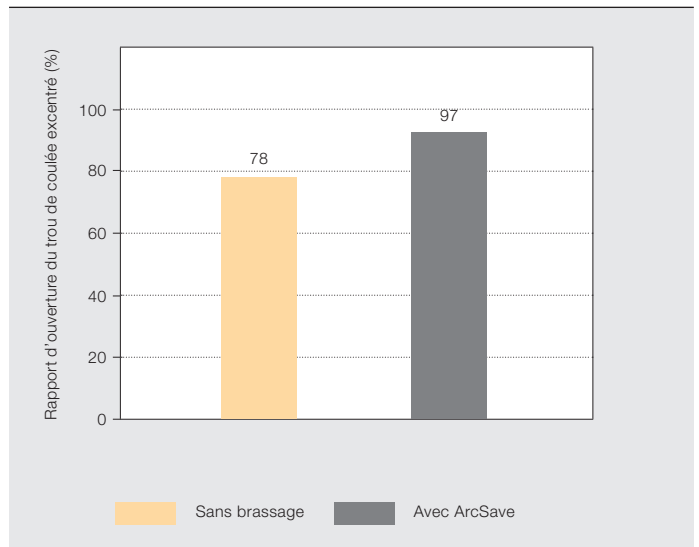
contribue en réduisant la température de coulée et la surchauffe dans les zones chaudes du four tout en augmentant le

avantages sont d’autant plus précieux que l’industriel cherche à améliorer sa productivité.

5 Baisse de la température de coulée avec ArcSave



6 Rapport d'ouverture du trou de coulée excentré avec ArcSave; un rapport élevé améliore la sécurité et la productivité.



7 Avantages procurés par ArcSave

| Paramètres | |
|----------------------------|-------------|
| Énergie totale | -3 à -5 % |
| Électrode | -4 à -6 % |
| Temps de mise sous tension | -4 à -6 % |
| Oxygène | -5 à -8 % |
| Désoxydants | -10 à -15 % |
| Rendement acier | +0,5 à +1 % |
| Productivité | +4 à +7 % |

Les six mois d'essais à chaud ont montré qu'ArcSave réduisait de quelque 15 % l'usure du réfractaire du four.

Les auteurs tiennent à remercier Paul Schuler et Nuno Vieira Pinto de SDI pour leur aimable concours et leurs précieux commentaires lors des essais à chaud réalisés avec ArcSave. Merci également à Chris Curran d'ABB Metallurgy (Canada) pour son aide lors des mesures d'entraînement de laitier ainsi qu'à Boo Eriksson et Jan Erik Eriksson d'ABB Suède pour leurs explications techniques utiles pendant le déroulement des essais.

Lidong Teng

ABB Metallurgy, Process Automation
Västerås (Suède)
lidong.teng@se.abb.com

Aaron Jones

Michael Meador
Steel Dynamics, Inc., Roanoke Bar Division
Roanoke (Virginie, États-Unis)

Helmut Hackl

ABB Metals, Process Automation
Västerås (Suède)
helmut.r.hackl@se.abb.com

Bibliographie

- [1] Widlund, O., *et al.*, «Modeling of Electric Arc Furnaces (EAF) with electromagnetic stirring», *4th International Conference on Modelling and Simulation of Metallurgical Processes in Steelmaking (SteelSim)*, Dusseldorf (Allemagne), 2011.
- [2] Fruehan, R. J., *The Making, Shaping and Treating of Steel, Volume 2: Steel Making and Refining*, The AISE Steel Foundation, 1998, p. 125–133.

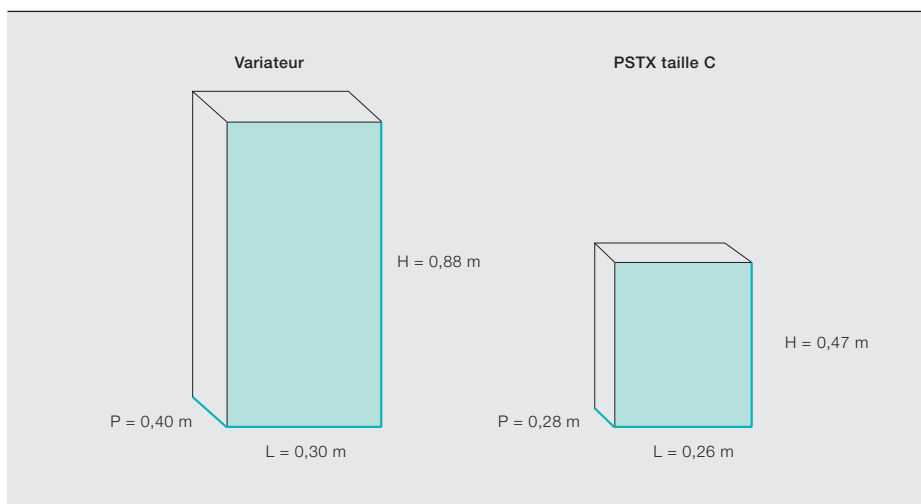


Le meilleur ami du moteur

ABB enrichit son démarreur progressif PSTX de fonctionnalités jusqu'ici réservées aux variateurs de vitesse

CARL THORSTENSSON, JOAKIM X. JANSSON – Depuis plus d'un siècle, ABB est aux avant-postes de la technologie des moteurs électriques. Or qui dit moteur, dit démarrages brusques préjudiciables à la fois au réseau électrique et à la charge mécanique. Rien d'étonnant donc à ce que le Groupe propose également des solutions de démarrage depuis qu'il fabrique des moteurs. Les premières solutions de branchement direct sur le réseau mettaient en œuvre des dispositifs électromécaniques tels que sectionneurs et contacteurs. Plus tard, l'introduction des variateurs de vitesse permit des démarrages et arrêts sans à-coups. Dans les années 1980,

le démarreur progressif est apparu comme une solution de compromis entre le variateur multifonction et l'appareillage moins encombrant et moins cher de branchement direct sur le réseau. Tel le variateur, le démarreur progressif est un dispositif électronique mais qui est shunté dès que le moteur atteint sa pleine vitesse. Au fil du temps, ABB a développé plusieurs générations de démarreurs progressifs et a récemment interrogé ses clients sur les points à améliorer. Leur réponse: réduire l'écart entre démarreurs progressifs et variateurs de vitesse. ABB a donc ajouté certaines fonctionnalités à son nouveau démarreur progressif PSTX.



Si le nouveau PSTX d'ABB est doté de nombreuses fonctions qui étaient jusqu'à présent l'apanage des variateurs de vitesse, il conserve les atouts fondamentaux des démarreurs progressifs : compacité → 1, dissipation thermique limitée et coût réduit. Il possède, par exemple, des fonctions de protection du moteur contre l'échauffement anormal et les surtensions/sous-tensions, de vitesse limite et de freinage moteur. L'innovation qui le rapproche le plus du variateur reste, pour autant, la rotation pas-à-pas (mode jog) du moteur à vitesse lente.

Fonction à valeur ajoutée

Pour réguler la vitesse de rotation d'un moteur sur une courte durée, l'utilisateur s'affranchit désormais du variateur, plus coûteux et encombrant. En effet, grâce à sa fonction jog, le démarreur progressif PSTX peut faire tourner le moteur à trois vitesses réduites différentes, dans les deux sens de marche (avant/arrière). La règle de proportionnalité fréquence/vitesse fait qu'en abaissant la fréquence de sortie du démarreur, on réduit la vitesse du moteur.

Cette fonction permet, par exemple, de résoudre le problème récurrent de l'engorgement des canalisations ou du gripage des pompes en combinant mode jog en marche arrière et démarrage avec impulsion (*kickstart*). Ce mode est également utilisé pour le positionnement des bandes transporteuses, simplifiant la

au point d'intersection de la courbe de la fréquence fondamentale et de la composante inférieure ou du sous-harmonique recherché.

Sur le graphique → 2, le trait pointillé vert représente le sous-harmonique de rang 7 et le trait plein turquoise celui

de rang 5, chacun correspondant à une vitesse de rotation du moteur. Les traits verticaux roses et violets marquent les signaux positifs et négatifs d'amorçage du thyristor.

En régulant la vitesse de rotation d'un moteur sur une courte durée, le PSTX permet à l'utilisateur de s'affranchir du variateur.

maintenance des machines et la mise en route des équipements.

Démonstration

Pour réguler la vitesse, on joue sur la fréquence comme suit :

$$n = \frac{2 \times f \times 60}{p} \Rightarrow n \propto f$$

n désignant le nombre de tours/minute du moteur, f la fréquence et p le nombre de pôles du moteur. En réduisant la fréquence de sortie du démarreur progressif, la vitesse chute dans les mêmes proportions :

$$f \downarrow n \Rightarrow n \downarrow$$

À la différence d'un variateur, le PSTX génère des harmoniques non pas supérieurs mais *inférieurs* à la fondamentale (fréquence réseau de 50/60 Hz) – qualifiés ici de « sous-harmoniques » –, en amorçant les thyristors selon une séquence donnée,

Ce mode de production d'une fréquence inférieure à la fondamentale est nettement avantageux car il génère notamment moins d'harmoniques qu'un variateur dans pareil cas. En effet, le PSTX ne hache pas le signal d'entrée mais en retient uniquement les composantes requises. Les thyristors ne sont conducteurs que pendant des parties des demi-périodes pour créer la fréquence de sortie désirée. Les trois phases sont illustrées en → 3, avec le mode de production du sous-harmonique 7.

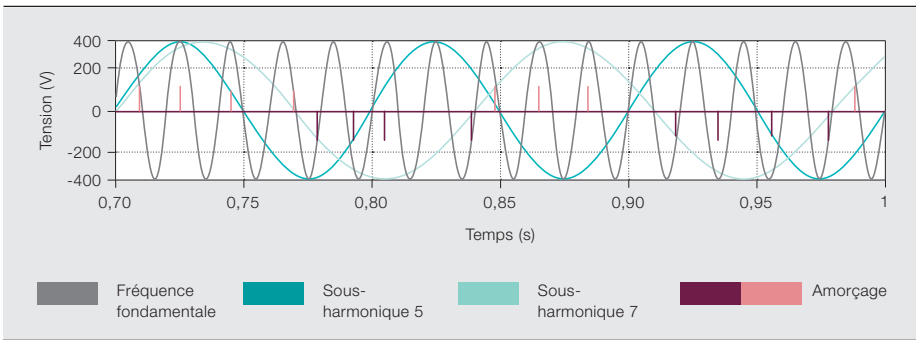
Marche arrière à vitesse lente

Si le démarreur progressif PSTX peut faire tourner le moteur en marche avant à différentes vitesses lentes, la même technique de production de fréquences inférieures à la fondamentale autorise aussi la marche arrière.

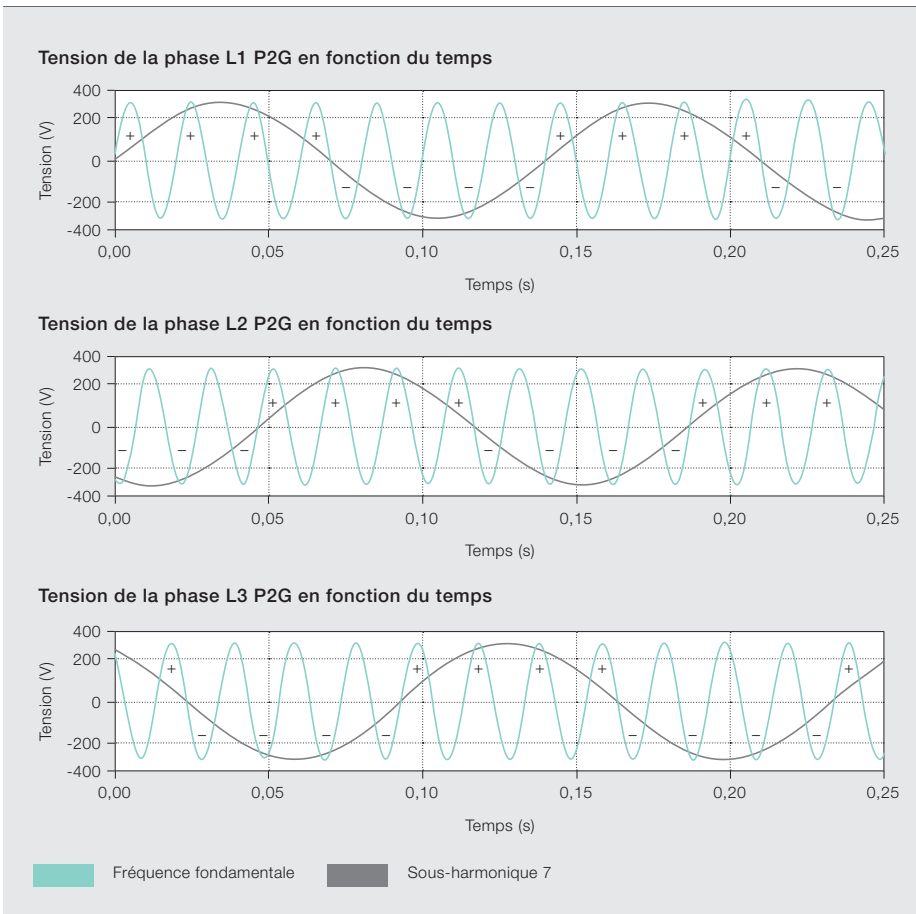
Photo p. 32

Le démarreur progressif PSTX d'ABB se rapproche des variateurs de vitesse.

2 Les sous-harmoniques autorisent des vitesses plus lentes.



3 Production du sous-harmonique 7 sur les trois phases



L'inversion du sens de marche s'effectue par inversion du sens de rotation du champ magnétique, en modifiant l'ordre de déclenchement des phases. Normalement, il faut deux contacteurs pour permuter deux phases ; la technique mise en œuvre par le PSTX est plus simple.

Les différentes vitesses de rotation proposées par le PSTX en marche avant et arrière figurent en → 4.

Le démarreur progressif gagne du terrain

En dotant son nouveau démarreur progressif PSTX de fonctions de régulation de vitesse élémentaires, ABB offre une

solution de démarrage plus compacte et plus économique qu'un variateur tout en élargissant et en diversifiant la palette d'applications. La rotation du moteur à vitesse réduite sur une courte durée est avantageuse pour des tâches comme le nettoyage des pompes, le rinçage des canalisations, le positionnement précis d'un engin de levage ou d'une bande transporteuse. Pour simplifier son utilisation, la fonction jog est exécutable avec la micro-console débrochable, par boutons-poussoirs ou encore à distance sur bus de terrain.

4 Trois vitesses différentes dans les deux sens de marche

- Pas-à-pas rapide en avant
Sous-harm. 3 ≈ 33,3 % de la vitesse nominale
- Pas-à-pas en avant
Sous-harm. 7 ≈ 14,3 % de la vitesse nominale
- Vitesse lente en avant
Sous-harm. 13 ≈ 7,7 % de la vitesse nominale
- Vitesse lente en arrière
Sous-harm. 11 ≈ 9,1 % de la vitesse nominale
- Pas-à-pas en arrière
Sous-harm. 5 ≈ 20,0 % de la vitesse nominale
- Pas-à-pas rapide en arrière
Sous-harm. 3 ≈ 33,3 % de la vitesse nominale

La rotation du moteur à vitesse réduite sur une courte durée cumule les avantages.

Carl Thorstensson

Joakim X. Jansson

ABB Low Voltage Products

Västerås (Suède)

carl.thorstensson@se.abb.com

joakim.x.jansson@se.abb.com



Prime à la performance

Une alimentation statique sans interruption (ASI) pour la moyenne tension

PERRY FIELD – Lancée en 2014, l'offre PCS100 MV d'ABB a hérité des nombreuses caractéristiques de son homologue basse tension (BT) pour se tailler une place de choix sur le marché de la moyenne tension (MT), où prédominent habituellement les ASI dynamiques « rotatives » utilisant une machine tournante pour produire la tension alternative de

sortie. Contrairement à ces dernières, la PCS100 MV s'appuie sur des composants électroniques pour réaliser l'ondulation du courant, ce qui lui vaut le qualificatif de « statique ». Modulaire, elle facilite la montée en puissance de l'ASI de base à 2 MVA pour s'adapter aux besoins croissants des clients.



L'efficacité énergétique est aujourd'hui l'objectif prioritaire de nombreux responsables de sites industriels ou tertiaires. Dans le cas des *datacenters*, par exemple, infrastructures gourmandes par excellence, la consommation électrique est l'un des rares postes de dépenses sur lequel peut jouer l'exploitant. L'ASI statique est ici une réelle source d'économies : avec son rendement de 99,5 %, la PCS100 MV d'ABB surclasse le marché.

Les ASI ont pour mission première d'améliorer la qualité de l'onde électrique. Nombreux sont les secteurs industriels (semi-conducteurs, chimie et agroalimentaire, entre autres) dont les vastes installations et procédés sensibles sont tributaires d'une tension de qualité, qui fait souvent défaut au réseau de distribution. Or les importantes pertes de production imputables aux coupures secteur sont tout bonnement intolérables. La situation s'est d'autant plus compliquée que les économies d'échelle ont favorisé la course au gigantisme de ces infrastructures et, par voie de consé-

quence, exacerbé les exigences de sécurité de l'alimentation électrique, dans des puissances atteignant fréquemment des dizaines de mégawatts (MW). Pour corser le tout, les unités de production très énergivores ont souvent foisonné au sein d'un même site. De même, la distribution électrique doit franchir de longues distances pour alimenter de vastes étendues, comme les aéroports ou les méga-usines de composants électroniques qui essaient dans le monde entier.

Autant de freins que peuvent lever une distribution électrique MT et des appareils calibrés pour ce niveau de tension, dont les ASI.

À tension moyenne, technologie reine
Première règle : une alimentation de qualité irréprochable en MT ne doit pas être onéreuse. Il coûte souvent moins cher d'investir dans une ASI statique MT que dans une solution BT rotative ou en parallèle. Car en BT, qui dit puissances élevées, dit conducteurs de forte section, tableaux volumineux et disjoncteurs multiples ! Le budget maintenance en pâtit, surtout dans le cas d'une ASI rota-

tive avec ses inconvénients (pièces en mouvement, connexions, etc.). Et bien sûr, en MT, les pertes sont plus faibles et les équipements plus compacts puisqu'il faut moins de courant pour acheminer la même puissance.

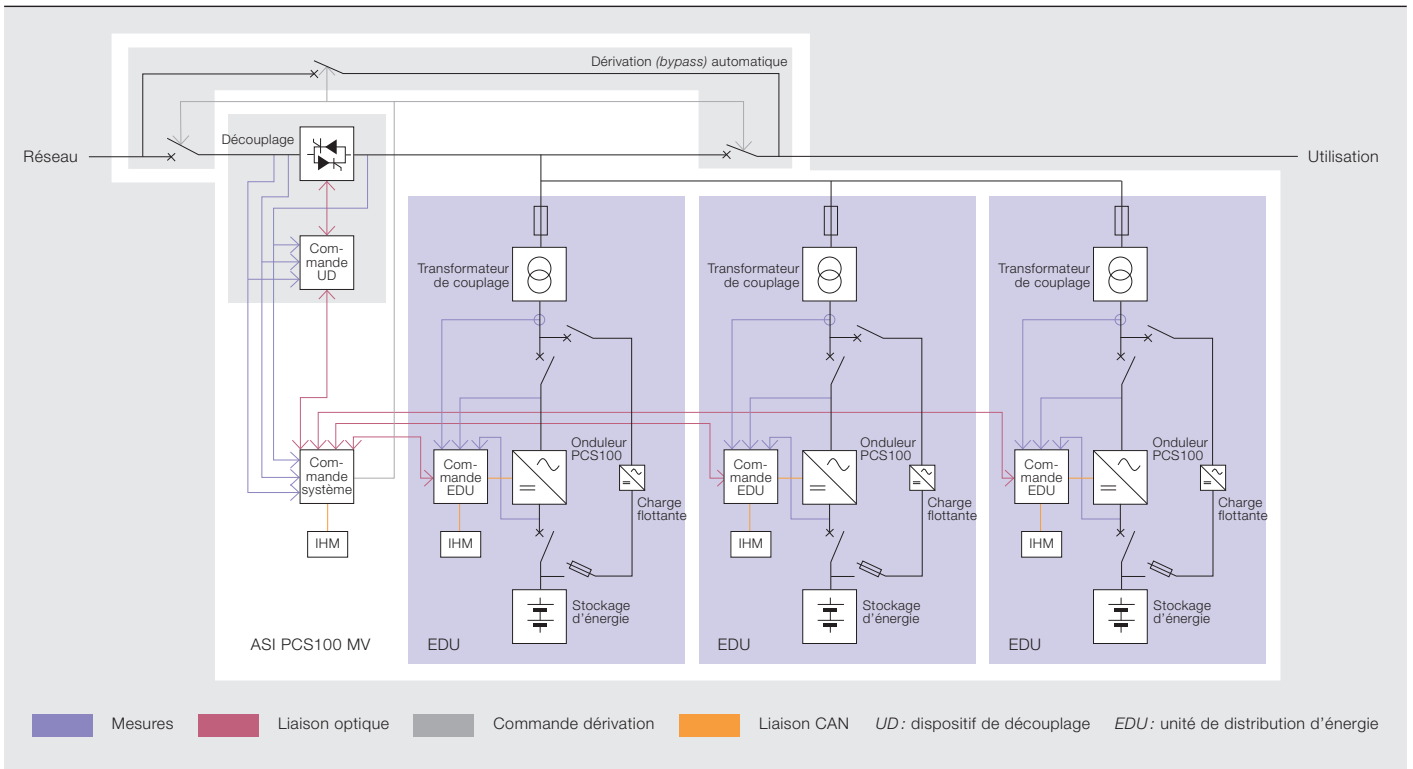
Modulaire, l'architecture PCS100 MV → 1 permet de remplacer simplement l'interface réseau BT-charge par des compo-

L'extension des sites isolés a accentué les exigences de sécurité d'alimentation électrique, souvent dans des puissances de plusieurs dizaines de mégawatts.

sants MT. Les pièces maîtresses de l'ASI, notamment l'électronique de puissance et le stockage sur batterie, ultra-fiables, sont les mêmes qu'en BT. On conserve de la sorte les fonctionnalités éprouvées et la maintenabilité de l'ASI basse tension tout en exploitant les avantages de la MT avec, en prime, de hauts niveaux de disponibilité et de fiabilité.

Photo p. 35

L'ASI statique moyenne tension PCS100 MV d'ABB met toute sa puissance au service des applications critiques.



Les ASI moyenne tension occupent déjà le terrain des complexes industriels à forte composante technologique, comme les usines de semi-conducteurs. Elles sécurisent l’approvisionnement électrique du site, le protègent des perturbations du réseau et, en cas de panne secteur, servent de tampon avant de basculer sur le groupe électrogène. Plus souvent, l’ASI est fondamentale pour « nettoyer » l’alimentation secteur de toutes ses imperfections (creux de tension, microcoupures, etc.). C’est là qu’intervient le stockage d’énergie par supercondensateur. Pour les fortes puissances, la faible emprise au sol de la solution et sa densité de 1000 kW/m² ont clairement l’avantage.

Dans les grands datacenters, la philosophie est la même. De nombreuses configurations sont possibles, l’une d’elles consistant par exemple à réaliser la fonction ASI aux niveaux MT et à distribuer la MT à chaque étage du centre. Des transformateurs, complétés d’inverseurs de sources statiques à proximité des équipements informatiques, peuvent servir à créer une ligne de secours isolée redondante, avec deux circuits différents d’alimentation des charges [1].

Avantages MT

La protection des applications stratégiques par une ASI moyenne tension réduit la consommation de courant. Par exemple, une puissance de 1 MW dans un système de 400/230 V alternatif nécessite 1443 A par phase ; pour acheminer une puissance égale sous 15 kV, il ne faut plus que 115 A. Autre caractéristique avantageuse de la solution MT : la centralisation du système, qui permet de mieux gérer la charge et l’encombrement au sol, le manque de place étant l’un des plus lourds facteurs de coût d’un datacenter ou d’une usine. Réduire l’espace utile aux équipements de servitude, comme les alimentations, c’est autant de place libérée pour les baies informatiques ou les équipements de production.

Souvent, l’espace réservé aux ASI est restreint et figé, en particulier dans les bâtiments existants, alors que les besoins explosent. Par leur puissance et leur compacité, les ASI statiques MT relèvent le défi.

Les pertes électriques posent également problème, surtout dans le cas de sites industriels ou d’infrastructures (aéroportuaires, par exemple) déployés sur de vastes étendues : le câblage est d’autant plus déterminant que les longueurs de distribution augmentent. Là encore, la moyenne tension a l’avantage.

En moyenne tension, les pertes sont plus faibles et les équipements plus compacts puisqu’il faut moins de courant pour véhiculer la même puissance.



Pièce maîtresse de l'infrastructure d'un grand *data-center*, l'ASI gagne à fonctionner en moyenne tension.

L'onduleur de la situation

Évolutivité et modularité sont les points forts de la PCS100 MV. Calibrée de base à 2 MVA, elle peut monter en puissance en fonction des besoins → 3 : une exclusivité ABB sur le marché des ASI moyenne tension statiques. Cette modularité vaut pour l'unité de distribution d'énergie *EDU* (*energy distribution unit*) mais aussi pour l'onduleur → 2, dont la redondance garantit une disponibilité maximale. Pour le client, c'est le double avantage d'un moindre investissement de départ et d'un déploiement en souplesse de son installation, au rythme de l'activité.

Proposée dans des puissances de plusieurs mégawatts, la solution PCS100 MV est taillée pour fournir une électricité « propre », fiable et économique aux grands sites informatiques, tertiaires et industriels énergivores. Ici, la simple conversion s'impose naturellement ; les pertes sont infimes et les rendements bien supérieurs à 99 %. La PCS100 MV est en mesure de protéger toute l'alimentation ou une sélection de charges sensibles.

L'apanage des grands ?

Densification et exigences accrues de puissance et de fiabilité... telles sont les tendances marquantes de l'industrie, qui doivent être satisfaites par des architec-

tures de distribution et d'alimentation sans interruption adaptées ; la moyenne tension est la prochaine étape logique de cette évolution. Elle diminue les sections et longueurs de câbles ainsi que les pertes, pour un meilleur rendement global. Qui plus est, des ASI de forte puissance intégrées peuvent réduire le nombre de composants (appareillage et câblage, par exemple) et la surface au sol ; un argument précieux quand le foncier est rare ou cher. Une ASI moyenne tension améliore indéniablement la configuration du système de grande puissance et en maîtrise la complexité.

Pour en savoir plus sur les protections électriques ABB : www.abb.com/ups.

Perry Field

ABB Discrete Automation and Motion
Napier (Nouvelle-Zélande)
perry.field@nz.abb.com

Bibliographie

- [1] Herbener, F., *Isolated-Parallel UPS Configuration*, [en ligne], disponible sur : <http://www.piller.com/documents/en/2129/isolated-parallel-ups-configuration-en.pdf>, mars 2013.



Chronique d'une fin annoncée

Les enjeux de l'après-Windows XP

VOLKER JUNG, ANTHONY BYATT – Depuis plus de dix ans, Windows XP de Microsoft est le système d'exploitation le plus vendu au monde. Pourtant, malgré ses quelque 30 % d'utilisateurs inconditionnels dans l'univers Windows, il a fait son temps. D'où la décision de Microsoft, en avril 2014, de ne plus en assurer le support technique, ni les mises à jour automatiques, correctifs, etc. La sécurité,

la fiabilité et la compatibilité avec la majorité des dernières générations d'ordinateurs, de composants informatiques, de périphériques et d'équipements réseau seront de moins en moins garanties. C'est dire combien l'arrêt d'XP bouscule nombre d'applications industrielles, obligeant ses utilisateurs à prendre les devants.

- La sécurité ;
- La conformité réglementaire ;
- L'absence de support par les éditeurs de logiciels indépendants ;
- L'assistance technique des constructeurs informatiques.

La sécurité arrive en tête des préoccupations.

Alerte à l'usine

En 2010, le ver Stuxnet défraye la chronique en s'attaquant aux systèmes de contrôle-commande d'au moins 14 sites industriels en Iran, dont un centre d'enrichissement d'uranium. Ce code malveillant, d'à peine 500 kilo-octets, a sévi en trois temps : il a d'abord scruté les machines et réseaux Windows, puis visé les logiciels d'automatismes, également sous Windows, pour enfin s'infiltrer dans les automates programmables aux commandes des machines.

Depuis, les imposants systèmes d'information des complexes industriels sont la cible répétée de pirates informatiques qui affûtent sans relâche leurs armes. C'est l'exemple de l'attaque « par point d'eau » qui consiste à reconnaître ou à observer les sites web habituels d'une entreprise pour y déposer un code malveillant et, par ce biais, infecter les ordinateurs de ses visiteurs. Une stratégie de double « compromission », par le Web et la machine cible, d'autant plus pernicieuse qu'elle s'appuie sur des sites de confiance pour piéger en toute transparence les victimes du secteur d'activité ou de l'organisation ciblés.

Qui plus est, l'attaquant est capable de manipuler les profils utilisateurs authentifiés d'un système pour autoriser les accès de l'extérieur. Sont également visées les configurations informatiques dans lesquelles les PC peuvent, par exemple, héberger des « chevaux de Troie », ces codes malveillants contenus dans des programmes d'apparence saine qui permettent au pirate de prendre le contrôle d'une machine distante, à l'insu de son utilisateur. Ces chevaux de Troie pour accès distant ou *RAT* (*remote access trojan*) se glissent dans la simple pièce jointe d'un courriel. Une fois le PC hôte

1 Systèmes de contrôle-commande et interfaces homme-machine concernés

| Système | Remarques |
|--------------------------------------|---|
| 800xA | Noyau 800xA : versions 5.0 et antérieures |
| Freelance | Versions 6.2 à 9.1 |
| Power Generation Portal (PGP)/Tenore | Toutes les versions sous Windows |
| Conductor NT | Toutes les versions sous Windows (en nombre de serveurs, pas de systèmes) |
| Process Portal B (PPB) | Toutes les versions |

infiltré, l'intrus en profite pour diffuser d'autres chevaux de Troie et former ainsi un réseau de machines « zombies » ou *botnet* (contraction de *robot network*) qui propage l'infection.

Cette mainmise à distance permet de l'attaquant d'exécuter à sa guise une longue liste d'actions malveillantes : suivre le comportement de l'utilisateur de la machine cible à l'aide d'enregistreurs de frappe ou autres logiciels espions, activer une webcam, accéder à des informations confidentielles, reformater des disques, effacer ou modifier des fichiers, etc.

En juin 2014, un nouveau RAT nommé Havex fait la une des journaux en s'attaquant aux systèmes de contrôle-commande (ICS) et de supervision (SCADA) de grands groupes industriels, notamment du sec-

Un attaquant peut aller jusqu'à manipuler des profils utilisateurs authentifiés pour autoriser les accès de l'extérieur.

teur de l'énergie. Le mode opératoire est le même : les pirates commencent par distribuer de nouvelles versions du RAT pour s'introduire ensuite sur les sites des fournisseurs de solutions ICS/SCADA et détourner leurs bases de téléchargement de logiciels légitimes. Au total, 88 variantes de ce programme malveillant ont infiltré 146 serveurs après avoir « traqué » 1500 adresses IP pour identifier ses victimes. De quoi ébranler la forteresse industrielle !

Il fut un temps où, dans l'industrie, personne ne voulait entendre parler de Windows ! Pourtant, quand Microsoft annonce XP en 2001, les industriels tendent l'oreille et font volte-face : le nouvel OS ne répond-il pas à leurs exigences de stabilité, de flexibilité et de fonctionnalité ? Dont acte : XP ne tardera pas à investir un nombre incalculable d'applications.




Hélas, tout règne a une fin : le 8 avril 2014, Microsoft sonne le glas du support XP. Si ses clients ont été amplement informés et préparés depuis longtemps à tourner la page, la même litanie d'interrogations demeure : un système XP autonome peut-il continuer à tourner sans encombre ? même intégré dans un autre système ? Faut-il investir dans de nouveaux matériels ? et à quel prix ? À combien se chiffre cette transition pour toute l'entreprise ? La virtualisation est-elle la solution ? De quelle assistance dispose-t-on pour accompagner la migration ?

Les réponses à ces questions ne vont pas de soi. La fin du support XP soulève en effet quatre grandes problématiques :

Photo p. 39

Le 8 avril 2014, Microsoft a mis un terme au support Windows XP. Quelles en sont les conséquences pour l'industrie ?

2 Stratégies de migration

|  | | Contrôle-commande | |  |  | |
|---|------|-------------------|---|---|--|------|
| 800xA | 3.1 | Tous | → | 800xA | 5.1 | 6.0 |
| | 4.0 | | | | | |
| | 4.1 | | | | | |
| | 5.0 | | | | | |
| Freelance | 6.2 | Tous | → | Freelance | 2013 | 2015 |
| | 7.1 | | | | | |
| | 7.2 | | | | | |
| | 8.1 | | | | | |
| | 8.2 | | | | | |
| Conductor NT | Tous | DCI | → | 800xA | 5.1 | 6.0 |
| | | Freelance | → | Freelance | 2013 | 2015 |
| | | | → | 800xA | 5.1 | 6.0 |
| | | | → | 800xA | 5.1 | 6.0 |
| PPB | Tous | Harmony | → | Symphony + | 2.0 | |
| | | MOD 300 | → | 800xA | 5.1 | 6.0 |
| | | | → | Freelance | 2013 | 2015 |
| | | | → | 800xA | 5.1 | 6.0 |
| PGP/Tenore | Tous | Freelance | → | 800xA | 5.1 | 6.0 |
| | | | → | 800xA | 5.1 | 6.0 |
| | | Harmony | → | 800xA | 5.1 | 6.0 |
| | | | → | Symphony + | 2.0 | |

En juillet 2014, c'est au tour de l'attaque ciblée «*Energetic Bear*» d'infecter plus d'un millier d'entreprises du secteur de l'énergie, en Europe et aux États-Unis, dans le but théorique de prendre le contrôle des centrales.

Ces exemples pointent les vulnérabilités de l'informatique industrielle et, en l'absence des indispensables mises à jour de sécurité Windows XP, son exposition aux attaques virales, aux logiciels espions et autres malveillances visant à dérober ou à détruire les données et informations d'entreprises. Les antivirus n'assurant plus de protection complète, tout équipement encore sous XP est une porte d'entrée béante dans les réseaux informatiques ciblés. Et même les ordinateurs exploitant des OS supportés risquent la «*compromission*».

Matériel en sursis

Les constructeurs informatiques ont pour la plupart déjà cessé de supporter Windows XP sur leur nouveau matériel et retiré de leur catalogue les pilotes de périphériques XP (disques durs, imprimantes, cartes graphiques, équipements réseau, etc.). Acheter un ordinateur de rechange XP ne sera guère aisé ni économique; obsolète, le matériel XP sera difficile à trouver. De même, les arrêts intempestifs dus à l'indisponibilité des composants vont devenir monnaie courante.

Conformité

En restant sous XP, les entreprises et organismes très réglementés, comme ceux soumis aux États-Unis à la loi *HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act)* sur la santé et l'assurance maladie, peuvent s'estimer dans l'incapacité de respecter leurs obligations. De nos jours, l'explosion du stockage des données personnelles et de la vie privée sur des serveurs fait de la sécurité informatique une priorité.

Support: obsolescence programmée

De nombreux éditeurs de logiciels n'assurent plus le support de leurs produits sur XP puisqu'ils ne reçoivent pas de mises à jour. Pour preuve, la nouvelle suite Microsoft Office, par exemple, tourne sur le dernier-né de Windows mais plus sur XP.

Antidotes

Devant ces problématiques, quelle démarche adopter? Microsoft et tous les experts en sécurité recommandent aux fournisseurs de solutions de contrôle-commande distribué exploitant Windows XP et ses prédécesseurs → 1, 2 de passer à Windows 7 ou 8.

Il est bien sûr possible de chiffrer le coût de la sécurisation des installations XP par rapport à celui de la migration. Conserver Windows XP oblige à beaucoup investir dans la maintenance et dans l'arsenal préconisé par les profes-

sionnels de la cyberdéfense. Voici un exemple de plan d'actions :

- Réduire le registre de services au strict nécessaire ;
- Utiliser la technique du «*DNS sink-holing*» qui consiste à rediriger les noms de domaine malveillants vers un ou plusieurs serveurs non menacés afin de bloquer l'accès au site web visé ;
- Déclencher une alerte sur détection d'une connexion au réseau virtuel ou à un poste bureautique distant par un équipement terminal ;
- Interdire aux utilisateurs temporaires l'exécution de binaires dans le système de fichiers ou, le cas échéant, lancer l'alerte ;
- Créer une liste blanche des binaires de service dans le système d'exploitation ;
- Alerter en cas de démarrage, d'arrêt et de changement de service ;
- Auditer les listes de contrôle d'accès, entre autres ;
- Effectuer des sauvegardes régulières du système de contrôle-commande ;
- Acheter un stock de composants informatiques compatibles XP.

Pour autant, conserver Windows XP est de moins en moins réaliste. L'évolution des systèmes d'information industriels est inéluctable; leur parc logiciel, à l'image de Windows XP, n'échappe pas à la règle. La migration permettra aux utilisateurs de répondre aux exigences de sécurité, de compatibilité (matérielle et logicielle) et de conformité de l'informatique industrielle moderne.

ABB recommande vivement à ses clients exploitant XP de faire le point sur le cycle de vie de leurs systèmes et d'élaborer une stratégie de réduction des risques. Dans le même temps, ABB propose des palliatifs et des solutions pour les aider à mieux protéger leurs sites et leur personnel tout en garantissant la sécurité et la pérennité de l'activité. L'offre de services ABB est adaptée aux attentes et contraintes de chaque client, y compris celui qui n'a pas la possibilité d'évoluer tout de suite ou qui a fait le choix de rester sous XP.

Volker Jung

Process Automation Division
Mannheim (Allemagne)
volker.jung@de.abb.com

Anthony Byatt

Consultant rédacteur
Louth Village (Irlande)



*PASS*age en classe supérieure

Appareillages hybrides ABB sous 420 kV

ALBERTO ZULATI – Prémonté, testé en usine et facilement transportable, le module de connexion et de coupure haute tension *PASS (Plug And Switch System)* d'ABB est plébiscité pour sa compacité, sa fiabilité et sa rapidité de mise en œuvre: des atouts aujourd'hui au service des applications de 72,5 kV à 420 kV.



Fort d'un parc installé de plus de 8000 modules PASS, ABB propose depuis 2013 une version haute tension sous 420 kV.

Pour beaucoup, les matériels électriques haute tension (HT) se répartissent traditionnellement en appareils isolés dans l'air (AIS) et leurs homologues à isolation gazeuse (GIS). Auparavant, le choix de l'une ou l'autre solution était dicté par les contraintes d'encombrement ; en l'occurrence, l'isolation gazeuse, certes plus chère, occupait bien moins de place dans le poste électrique. Schématiquement, l'AIS se réservait le milieu rural, et le GIS, l'espace urbain... jusqu'à ce que l'apparition de la variante « hybride » PASS d'ABB, il y a une vingtaine d'années, bouleverse la donne.

Le meilleur des deux mondes

La solution PASS concilie les avantages des deux techniques en une version hybride ou « mixte » (MTS), selon la terminologie du Conseil international des Grands réseaux électriques (CIGRÉ). Si ce type d'appareillage est plus cher à

«[...] En conjuguant les avantages de l'isolation dans l'air et de l'isolation gazeuse, la technologie mixte est un bon compromis » → 1. Et de conclure, dans une étude de cas : «[...] L'appareillage MTS permet d'importantes économies sur le coût global, même si l'équipement

coûte au départ plus cher. Les économies engendrées sont la conséquence directe du gain de place. Le temps de montage total est également diminué, comme l'atteste un projet pilote d'implantation de trois postes

La lignée PASS couvre aujourd'hui la plage de tension de 72,5 à 420 kV avec des courants de coupure de 31,5 à 63 kA.

l'achat que l'AIS, son coût global est moindre puisque son encombrement réduit permet d'économiser la surface foncière et d'écourter le temps de mise en œuvre. Ce que confirme le CIGRÉ :

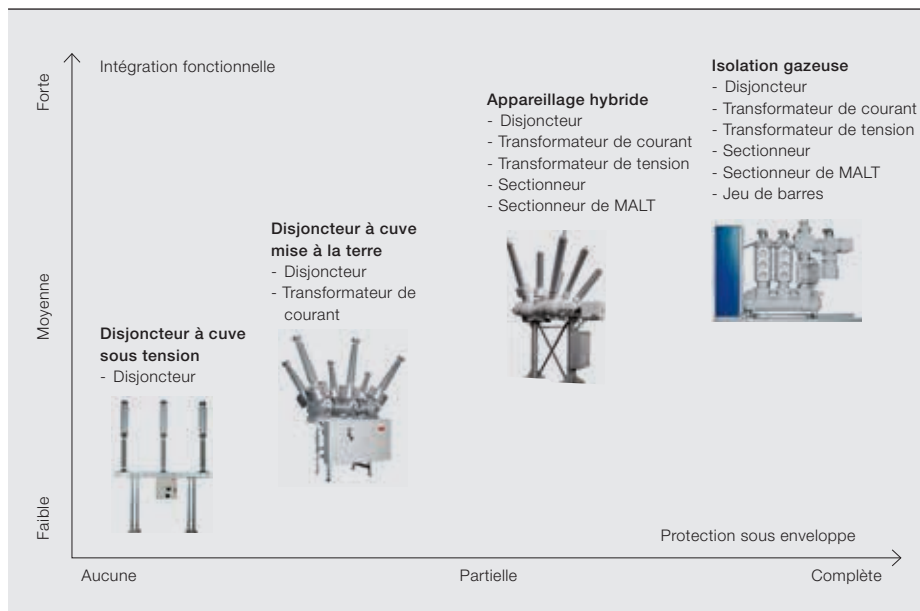
électriques en zones périurbaines. Autres bénéfices, cette fois indirects : le moindre impact visuel du poste accélère l'obtention des permis de construire et la réduction de l'emprise au sol facilite la

Photo

L'appareillage hybride PASS d'ABB conjugue le meilleur de l'isolation gazeuse et de l'isolation dans l'air, pour des applications haute tension jusqu'à 420 kV.

Le PASS 420 kV hérite des vertus multifonctions de ses prédécesseurs, qui font de chaque module l'équivalent d'une cellule complète.

1 L'hybride, entre isolation dans l'air et isolation gazeuse



« négociation avec les propriétaires fonciers. » [1, 2]

PASS panache l'isolation gazeuse pour les composants de coupure du disjoncteur et du sectionneur/sectionneur de mise à la terre (MALT), gage de fiabilité et de compacité, et l'isolation dans l'air pour la connexion au réseau.

La solution fiabilise la construction de postes électriques et en allège la maintenance. Par sa modularité et sa flexibilité, elle est préconisée dans les cas suivants :

- Impératifs d'encombrement : PASS est de 50 à 70 % moins volumineux qu'un poste AIS classique ;

tions en témoignent – car toutes ses parties actives sont isolées dans l'hexafluorure de soufre (SF_6) et protégées dans une enceinte aluminium mise à la terre ;

- Nécessité de connexion ultrarapide au réseau (rétablissement d'urgence de l'alimentation, installations en zones dangereuses ou isolées, par exemple) : l'appareillage étant entièrement assemblé et testé en usine, il est vite installé et mis en service sur site ;
- Applications de traction ferroviaire pouvant utiliser des modules mono ou biphasés à différentes fréquences : plus de 200 PASS équipent à ce jour

des convertisseurs de fréquence ou des sous-stations.

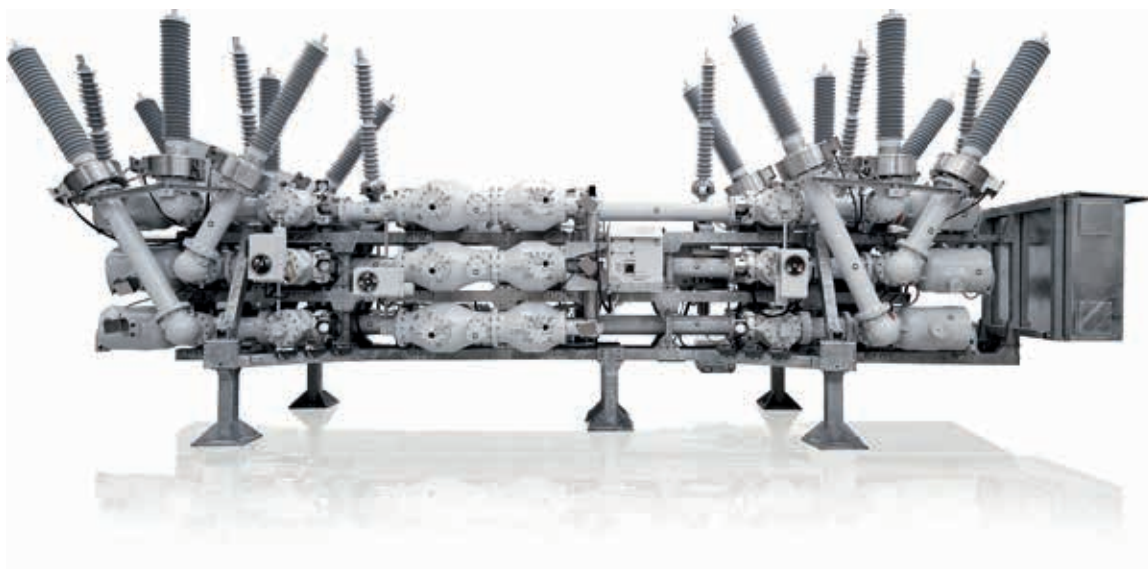
L'appareillage, entièrement prémonté et testé en usine (parties actives incluses), est facilement transportable et vite installé sur site.

PASS MOS 420 kV

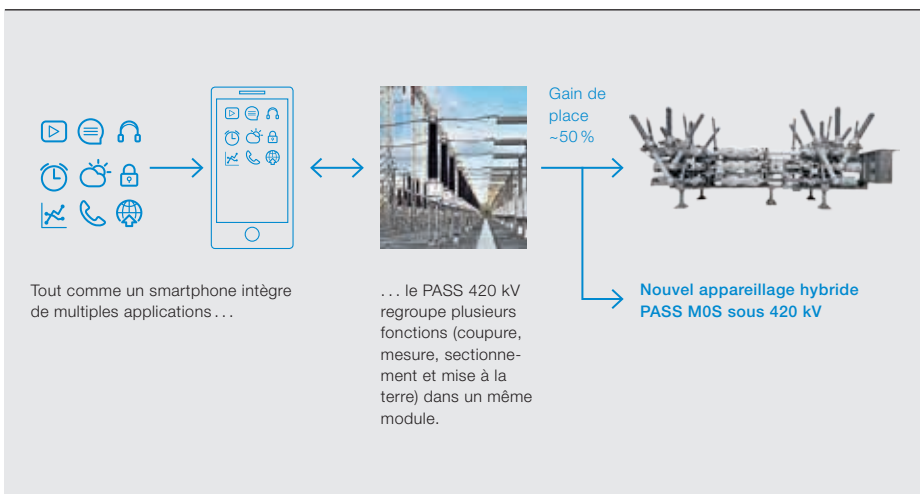
Depuis son lancement, l'alternative hybride d'ABB a fait des émules chez les autres constructeurs, qui l'ont ajoutée

- Déplacement ou montage sur châssis mobile : la compacité du module facilite le transport de toute la cellule ;
- Extension et mise à niveau : PASS est compatible avec tous les types de postes GIS, AIS ou hybrides MTS ;
- Contraintes climatiques ou implantations en milieu très pollué (sites industriels, miniers, etc.) : PASS s'accommode très bien de ces conditions – de nombreuses installa-

tée à leur catalogue. ABB n'en garde pas moins la maîtrise technologique en ouvrant la solution à un nombre croissant d'applications et de marchés. Fort d'un parc installé de plus de 8000 modules, ABB propose depuis 2013 une version HT « MOS » sous 420 kV.



3 Module PASS multifonction



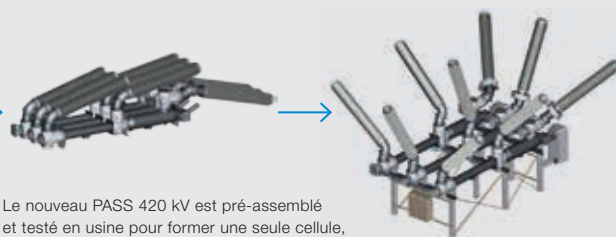
Le PASS MOS 420 kV est le seul appareillage HT à pouvoir être monté et transporté sur remorque ou châssis mobile.

Ce dernier-né permet à la lignée PASS de couvrir des tensions de 72,5 à 420 kV avec des courants de coupure de 31,5 à 63 kA. Aux modules classiques s'ajoute une variante « MOH » spécialement conçue pour réunir dans une seule unité transportable un appareillage HT complet configuré en « H » → 2.

Certes plus grand que ses prédécesseurs, le PASS MOS 420 kV n'en conserve pas moins les vertus multifonctions (coupure, sectionnement et mise à la terre, mesure de courant et de tension) qui font de chaque module l'équivalent d'une cellule complète → 3. Pré-assemblé et testé en usine, il se transporte aisément et s'installe en un temps record → 4. Le PASS MOS 420 kV est le seul module de connexion et de coupure HT à être livré entièrement monté, écourtant l'installa-

tion et la mise en service sur site. Mais ses avantages ne s'arrêtent pas là :

- Maintenance aisée : toutes les parties actives étant isolées dans le gaz, les contacts de l'appareillage n'ont pas besoin d'être régulièrement nettoyés. Leur protection sous enveloppe diminue globalement les temps et coûts d'intervention, même en service, et augmente la fiabilité et la disponibilité ;
- Adaptation aux besoins et spécifications client : la modularité de l'appareillage garantit souplesse de configuration et livraison rapide ;
- Structure en acier compacte, limitant les travaux de génie civil ;
- Possibilité de montage et de transport sur remorque ou châssis mobile ;
- Rapidité de mise en route : moins d'une semaine pour une cellule de 420 kV.



Le nouveau PASS 420 kV est pré-assemblé et testé en usine pour former une seule cellule, installée sur site en 24 heures chrono.

L'ingéniosité du PASS MOS 420 kV réside dans son système innovant de rotation des traversées.

5 Traversées en position basse de transport



Rotation des traversées

L'un des premiers défis auxquels se sont heurtés les concepteurs de PASS fut le transport de cet imposant appareillage pré-assemblé. Comme souvent, la difficulté fut source d'innovation! L'ingéniosité du PASS MOS 420 kV réside dans son système de rotation des traversées qui permet de rabattre en toute sécurité les isolateurs (3,6 m, 350 kg) en position de transport à l'usine pour les relever en position de service sur le site. La manœuvre prend moins de 30 secondes par traversée.

Le principe en est simple: chaque traversée est fixée à l'équipement par deux jonctions coudées isolées dans le gaz, constituée chacune d'une enveloppe en aluminium abritant les raccordements électriques. Leur plan de contact est incliné de façon que la rotation de la jonction supérieure recevant la traversée suffise à basculer de la position abaissée de transport → 5 à la position redressée de service → 6.

La rotation s'effectue avec l'équipement rempli de gaz sous une pression relative de 0,2 bar, niveau habituellement utilisé pour le transport. L'interface entre les

deux jonctions est parfaitement étanche au gaz, en rotation comme après, lorsque l'équipement est rempli à la pression de service.

Les jonctions bénéficient également d'une bonne étanchéité: l'enveloppe inférieure comporte des gorges pour loger un double joint que protègent deux contre-bagues (supérieure et inférieure) réalisées dans un matériau composite spécial, capable d'encaisser d'énormes charges radiales sans se déformer, tout en garantissant un très faible frottement.

L'enveloppe supérieure interagit avec les joints et contre-bagues d'étanchéité par l'intermédiaire d'un épaulement cylindrique usiné, emboîté dans l'enveloppe inférieure.

Même si cette rotation n'est effectuée que deux fois, d'abord à l'usine pour mettre la traversée en position de transport, puis sur site, en position de service, le système d'étanchéité a été testé pour plus de 50 rotations sur le même équipement, sans aucune fuite. ABB garantit ainsi un taux d'échappement de gaz inférieur à 0,5 % par an, valeur de référence pour ses appareils HT à coupure dans le SF₆.



Pour réduire encombrement et masse, les isolateurs sont abaissés à l'usine en position de transport, puis redressés sur site en position de service.

Les deux enveloppes ne sont pas seulement emboîtées pour assurer l'étanchéité, mais aussi bridées et serrées avec 12 boulons. Pour finir, une bague coulissante est fixée à la bride de l'enveloppe inférieure afin de réduire le frottement en rotation.

Le couple nécessaire à la rotation de ces lourdes traversées est fourni par un moteur du commerce monté à l'interface entre les deux jonctions au moyen d'un outil spécial, breveté ABB en 2012. Même si ce moteur tourne à très basse vitesse (de l'ordre de 2 tr/min), cela suffit pour basculer de la position de transport à celle de service en moins de 30 s.

Ce dispositif, primordial pour transporter l'appareillage 420 kV, est un atout clé de la technologie PASS.

Depuis son lancement, le PASS 420 kV a suscité l'intérêt de plusieurs énergéticiens qui ont passé commande aux États-Unis, en Italie et en Algérie, pour n'en citer que quelques-uns. D'autres clients, en Espagne et au Royaume-Uni, s'y intéressent de près. Vite raccordée au réseau, la solution totalement pré-assemblée et prétestée d'ABB fait l'unanimité.

Alberto Zulati

ABB Power Products

Lodi (Italie)

alberto.zulati@it.abb.com

Bibliographie

- [1] Degen, W., *et al.*, CIGRÉ, groupe de travail B3-20, brochure n° 390 « Evaluation of different switchgear technologies (AIS, MTS, GIS) for rated voltages of 52 kV and above », novembre 2008.
- [2] Degen, W., *et al.*, CIGRÉ, groupe de travail B3-20, brochure n° 390 « Evaluation of different switchgear technologies (AIS, MTS, GIS) for rated voltages of 52 kV and above, Appendix A: Introduction to Mixed Technologies Switchgear », p. 44–56, novembre 2008.



Intelligence domestique

La domotique facile avec ABB-free@home®

ALEXANDER GRAMS – La domotique est aujourd’hui parvenue à faire de la maison futuriste une réalité tangible conciliant qualité de vie, confort et sécurité. L’offre d’automatismes ABB-free@home participe pleinement à cette concrétisation.



De nos jours, l'automatisation de l'habitat améliore la performance énergétique du bâtiment mais aussi, et surtout, le bien-être et la sécurité des occupants. Le système ABB-free@home® englobe toutes les fonctionnalités indispensables d'une domotique conviviale et facile à vivre.

ABB-free@home centralise toutes les commandes de pilotage et de surveillance du logement : variation et commutation de l'éclairage, minuterie et programmation horaire, manœuvre des stores et volets roulants, régulation thermique et interphonie *ABB-Welcome*.

Ces fonctions sont totalement personnalisables. L'application permet en effet de modifier et de faire évoluer en quelques clics tous les paramétrages : il est aussi facile de configurer et d'exploiter le système que de surfer sur le Web, sans passer par un logiciel supplémentaire. Si la configuration initiale est du ressort de l'électricien, les réglages ultérieurs sont à la portée de tout utilisateur d'ordinateur ou de tablette doté de HTML5 (indépendant de la plate-forme). De quoi

s'adapter, par exemple, aux nouvelles conditions d'occupation ou à la réaffectation des pièces.

L'éclairage est facilement optimisable, tout comme la manœuvre des volets et le chauffage à l'heure dite, par programmation horaire → 1. ABB-free@home permet de réguler la température des différentes pièces automatiquement ou à la convenance de chacun, selon l'heure et l'usage.

Le chauffage passe en mode « éco » pour abaisser la température la nuit ou en l'absence des occupants, et se coupe à l'ouverture d'une fenêtre. Un bon moyen de réduire la consommation d'énergie, quel que soit le mode de chauffage (classique ou au sol).

Toutes ces fonctions sont commandées depuis un ordinateur, une tablette ou un smartphone, grâce à une interface de dialogue intuitive ; sur les terminaux mobiles, l'affichage est optimisé par l'appli ABB-free@home.

La centrale domotique *System Access Point* est la clé de voûte du système : elle permet tout à la fois de planifier, de paramétrer et de visualiser un projet, mais aussi de faire le lien avec les ordinateurs, tablettes et mobiles par une connexion sans fil. Les fonctions ABB-free@home sont alors pilotables et, au besoin, reparamétrables à distance. Cette centrale de commande et d'accès peut également se connecter à un routeur de réseau local filaire ou sans fil.

Pour faciliter la mise en service du système et s'affranchir des contraintes architecturales du site, elle dispose de son propre réseau sans fil et d'un logiciel

de planification et d'exécution de projet. La configuration de l'installation domotisée peut être sauvegardée et récupérée à tout moment.

Un bus bifilaire facilite la tâche tout en sachant se faire oublier ; il peut cheminer parallèlement au câble d'alimentation, dans le même conduit.

ABB-free@home s'accompagne d'une gamme variée de dispositifs encastrés pour allumer, éteindre et réguler l'éclairage et le chauffage, par exemple. Des fonctions domotiques qui s'installent aussi facilement qu'une prise de courant !

Les modules de commutation, regroupés dans un coffret ou décentralisés dans des boîtiers muraux encastrés, se chargent de convertir en commandes les signaux reçus des interrupteurs et des capteurs (luminosité, température, etc.).

La fabrication du système ABB-free@home se plie aux exigences de la normalisation internationale CEI EN 60669 et CEI EN 50428 ; tous ses constituants sont écocompatibles et conformes à la directive européenne RoHS interdisant l'emploi de substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques.

Alexander Grams

ABB Low Voltage Products, Wiring Accessories
Lüdenschied (Allemagne)
alexander.grams@de.abb.com

Photo p. 48

Le panneau de commande mural ABB-free@home intègre un écran tactile couleur haute résolution.

Droit fil

Connexions débroschables et précâblées ABB : un contact d'avance

VINCENT MENAGER – La mondialisation des marchés de l'électrotechnique oblige les équipementiers de ce secteur fortement concurrentiel à internationaliser leur offre. Dans ce contexte, le traditionnel câblage « en fil à fil » des pupitres de commande, automatismes et appareils de terrain, n'est plus viable. L'heure est aux solutions de raccordement rapide, souple et robuste combinant faisceaux précâblés, blocs de jonction et connexions débroschables.

Les industriels ont coutume de dire que les trois premières causes de défaillance du matériel électrique sont les câbles, les câbles... et encore les câbles. Une mauvaise connectique peut en effet retarder ou grever un projet de lourdes pénalités financières, quand ce n'est pas entacher la réputation de l'entreprise. Ces facteurs, exacerbés par la mondialisation, orientent les constructeurs OEM vers des technologies de raccordement plus efficaces, rapides et fiables, en d'autres termes modulaires, débroschables et précâblées.

La flexibilité du modulaire...

Les ensembles et sous-ensembles qui constituent un câblage modulaire sont fabriqués à part, souvent chez un sous-traitant spécialiste, puis assemblés uniquement pour les essais et l'installation. Ces modules peuvent être testés individuellement, réduisant la complexité des équipements d'essai. Standardisés, ils sont facilement interchangeables quand il faut déposer la connectique pour rechercher un défaut, par exemple. Cette modularité, gage de souplesse, est plébiscitée par les équipementiers.

À cet atout s'ajoute une autre caractéristique fonctionnelle indispensable : le débroschage des connexions.



... et du débroschable

À la différence d'un bornier classique, un bloc de jonction débroschable est pourvu d'un connecteur qui permet de monter ou de démonter l'équipement en un tournemain.

L'offre de blocs débroschables ABB se décline en plusieurs configurations selon le mode de raccordement utilisé (ressort, vis, autodénudant, etc.) et le nombre de liaisons, connecteurs et circuits. ABB maîtrise toutes les connexions : ressort ou insertion directe *PI-Spring*, autodénudante *ADO System®* pour environnements difficiles, et vissée, standard industriel par excellence.

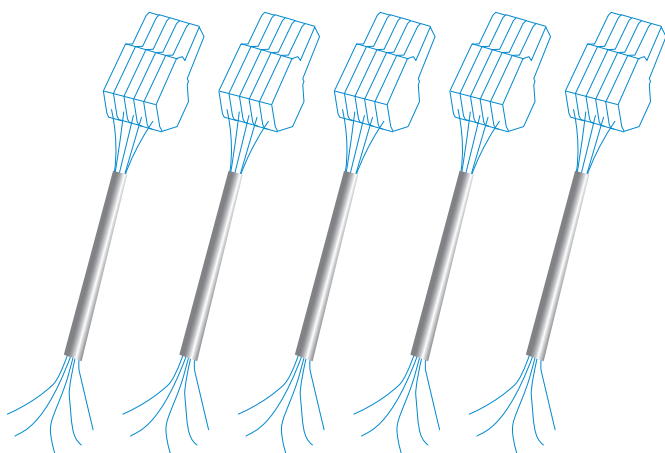
Précâblage

Les fils peuvent être facilement regroupés en faisceaux → 1 avant de monter et tester l'équipement complet. La possibilité de précâbler et de prétester l'ensemble facilite l'exécution du projet en évitant des étapes de fabrication potentiellement risquées. Nombreux sont les avantages de la solution.

Câblage et essais avant mise en production

Le câblage est habituellement sous-traité à un spécialiste qui se charge des tâches laborieuses de coupe et de dénudage des fils, de sertissage des contacts, de repérage et de marquage des bornes, à

1 Le regroupement de fils en faisceau simplifie montage et test.



2 Les connexions débrochantes et précâblées sont particulièrement utiles dans les trains modernes où l'espace est compté.



Les blocs de jonction débrochantes facilitent et accélèrent l'assemblage, les essais et la mise en service usine.

l'aide de machines automatiques spéciales. Le résultat est une connectique de grande qualité, qui coûte normalement bien moins cher que si elle était réalisée en interne. Les essais préalables peuvent facilement être automatisés et réglés pour préparer le terrain de la production série.

Assemblage, test et validation en usine

Avant d'être livré au client, l'équipement doit être assemblé en atelier et intégralement testé; une démarche nettement accélérée par les blocs de jonction débrochantes.

Transport et installation

Les gros équipements doivent parfois être démontés avant expédition pour être ensuite remontés sur site; les blocs débrochantes facilitent grandement la tâche. Qui plus est, les raccordements PI-Spring ou ADO System d'ABB

résistent aux vibrations et aux chocs: l'idéal quand il faut acheminer un équipement déjà entièrement câblé.

Ferroviaire

Les solutions précâblées contribuent pour beaucoup aux gains d'efficacité recherchés par les constructeurs ferroviaires européens dans un contexte mondial d'érosion des prix. ABB est un grand fournisseur de blocs de jonction, débrochantes en particulier, pour le marché ferroviaire → 2.

Par sa compacité (très appréciée dans l'espace restreint d'un train!) et sa tenue aux chocs et aux vibrations, la gamme PI-Spring répond parfaitement aux fortes exigences du secteur. Les connexions autodénudantes ADO System offrent les mêmes garanties de sécurité, de fiabilité et de productivité. Testés selon la norme internationale CEI 61373, ces blocs de jonction résistent aux conditions endurées par le matériel roulant. De même, leur matière plastique est conforme aux exigences strictes du ferroviaire sur l'inflammabilité, la toxicité et l'opacité des fumées (EN 45545-2/NFPA 130).

Automatisation industrielle

Dans l'industrie, où les automatismes brassent des milliers de signaux, les solutions précâblées et débrochantes sont là encore synonymes de simplification et de fiabilité accrue. Le système ABB de précâblage rapide *Interfast* d'automates programmables et de systèmes numériques de contrôle-commande, par exemple, permet de réduire jusqu'à 98 % le temps d'installation.

Appareillage électrique

Les appareils de coupure et de commutation ne cessent d'évoluer, embarquant toujours plus d'électronique et de fonctions pointues de communication. Les blocs de jonction débrochantes SNK d'ABB simplifient leur déploiement. La gamme propose des connexions à double étage qui permettent de chaîner les signaux pour faciliter l'extension du système.

Le ferroviaire, l'automatisation industrielle et l'appareillage électrique ne sont que trois exemples, parmi tant d'autres, d'applications très dépendantes de la connectique, pour lesquelles les solutions précâblées et débrochantes ABB font la différence.

Vincent Menager

ABB France
Chassieu (France)
vincent.menager@fr.abb.com

Photo p. 50

Les fabricants de matériel électrique misent sur la connectique débrochantes et précâblées ABB.



Le réseau apprivoisé

Des techniques de commande avancée pour des réseaux d'énergie plus stables, plus fiables et plus performants

ALF ISAKSSON, SILVIA MASTELLONE – La chaîne d'énergie électromécanique moderne met en œuvre une succession d'équipements complexes de production, de transport, de distribution et de conversion de l'électricité qui aboutit à des machines la restituant sous une forme exploitable. Chaque maillon de cette chaîne se compose de sous-systèmes dynamiques hétérogènes aux multiples interactions. Anticiper et maîtriser leur comportement tant individuel que collectif posent un défi majeur qui doit être relevé si l'on veut optimiser le fonctionnement du réseau électrique. *ABB review* présente une série d'articles sur les problèmes d'instabilité rencontrés tout au long de cette chaîne et les techniques utilisées pour les résoudre.

Une instabilité fonctionnelle dans une centrale au gaz et au fioul peut entraîner une panne générale avec des pertes irrécupérables de production.

Normalement, la stabilité du matériel et de la commande est validée au niveau de chacun des sous-systèmes. Or, une fois ces derniers interconnectés, le comportement de l'ensemble n'est pas toujours aussi stable.

Les interactions des sous-systèmes peuvent en effet faire entrer en résonance et osciller le système complet avec des conséquences imprévisibles, allant d'une légère baisse des performances à l'arrêt complet du système.

Ainsi, une instabilité fonctionnelle au sein d'une centrale au gaz et au fioul peut entraîner une panne générale avec des pertes irrécupérables de production. De même, des oscillations électriques dans le réseau de transport sont susceptibles d'avoir des effets désastreux, y compris un *blackout*.

Ce sont précisément ces scénarios catastrophes qui plaident pour une analyse approfondie et globale des systèmes, et des stratégies de commande avancée aux critères de performance ambitieux ; l'objectif est d'optimiser les systèmes en les poussant à leurs limites physiques, sans ajouter d'inertie néfaste à leur dynamique ni augmenter les coûts.

Sur ce plan, un élément déterminant est la capacité à analyser le système dans le détail et à acquérir une compréhension fine de son comportement en régimes tant stationnaires que transitoires. Les ressources de calcul et les commandes entrent également en ligne de compte. Par le passé, les techniques de commande avancée étaient inapplicables, faute de puissance suffisante. Aujourd'hui, la numérisation croissante du contrôle-commande industriel permet de les mettre en œuvre.

ABB review entame une série d'articles sur les oscillations électriques et mécaniques, et sur les techniques de commande avancée utilisées pour les atténuer à chaque maillon de la chaîne d'énergie électromécanique : production et distribution d'électricité, conversion de puissance en basse et moyenne tension, charges et procédés mécaniques. Ces articles sont par ailleurs l'occasion de faire le point sur les travaux de recherche et développement d'ABB portant sur l'amélioration de la fiabilité de l'alimentation électrique et de la productivité.

Notre premier article est consacré aux convertisseurs de puissance moyenne tension.

Nombreux sont les secteurs d'activité à être confrontés à une complexité prodigieusement croissante liée au progrès technologique. La chaîne d'énergie électromécanique n'est pas en reste. À peine la conception d'un système est-elle achevée que l'on cherche déjà à repousser ses limites pour en améliorer les performances.

En l'occurrence, cette complexification se traduit pour l'essentiel de deux façons : par un degré élevé d'interconnexion des constituants du système et par une hétérogénéité et des temps de réponse différents aux sollicitations. À cela s'ajoutent la recherche permanente d'une plus grande dynamique ainsi que la réduction de taille et de masse des composants découlant de la course à l'innovation.

Photo p. 52

Les ingénieurs doivent impérativement comprendre le comportement oscillatoire des systèmes complexes, comme ici le pont du Golden Gate à San Francisco (États-Unis).

Alf Isaksson

ABB Corporate Research
Västerås (Suède)
alf.isaksson@se.abb.com

Silvia Mastellone

ABB Corporate Research
Baden-Dättwil (Suisse)
silvia.mastellone@ch.abb.com

LE RÉSEAU APPRIVOISÉ

Dossier ABB review



Contrer les oscillations

Les convertisseurs de puissance moyenne tension sont le siège d'oscillations électriques qu'il faut combattre efficacement

PETER AL HOKAYEM, SILVIA MASTELLONE, TOBIAS GEYER, NIKOLAOS OIKONOMOU, CHRISTIAN STULZ – Les convertisseurs de puissance moyenne tension ont la lourde tâche de gérer les échanges d'énergie entre des réseaux électriques et des charges toujours plus complexes. La présence d'oscillations électriques complique encore les choses. Des techniques de commande avancée s'imposent pour obtenir une onde de qualité et atténuer judicieusement les résonances.

Photo

Quelles techniques de commande utiliser pour combattre les résonances dans les convertisseurs de puissance moyenne tension ?

La commande d'un filtre actif doit disposer d'informations sur le contenu des signaux de courant et de tension autour de la fréquence de résonance pour permettre au régulateur d'amortir efficacement les oscillations électriques.

Les variateurs moyenne tension (MT) d'ABB, produits phares du Groupe, intègrent le *nec plus ultra* de l'électronique de puissance, des composants électromagnétiques, des solutions de refroidissement et des automatismes. Accaparant plus d'un cinquième du marché mondial, le Groupe est un acteur majeur de la vitesse variable en MT, que l'on retrouve dans de nombreuses applications industrielles de pompage, ventilation, compression, laminage, etc.

Traditionnellement, les variateurs MT s'intercalent entre le réseau électrique et une machine entraînant une charge mécanique. Or le développement croissant des énergies renouvelables et la numérisation des réseaux électriques font que les convertisseurs de puissance MT se retrouvent de plus en plus à faire l'opération inverse, à savoir injecter du courant dans le réseau. C'est le cas, notamment, de certaines applications de production d'énergie solaire et éolienne, du freinage régénératif en traction ferroviaire, du raccordement de liaisons en courant continu à haute tension (CCHT) aux réseaux de transport en courant alternatif (CA) et des systèmes FACTS (*flexible alternating current transmis-*

sion systems). Dans ces applications, l'électronique de puissance veille à l'adéquation de la forme de l'onde électrique et de sa fréquence au réseau destinataire.

Qu'est-ce qu'un variateur MT ?

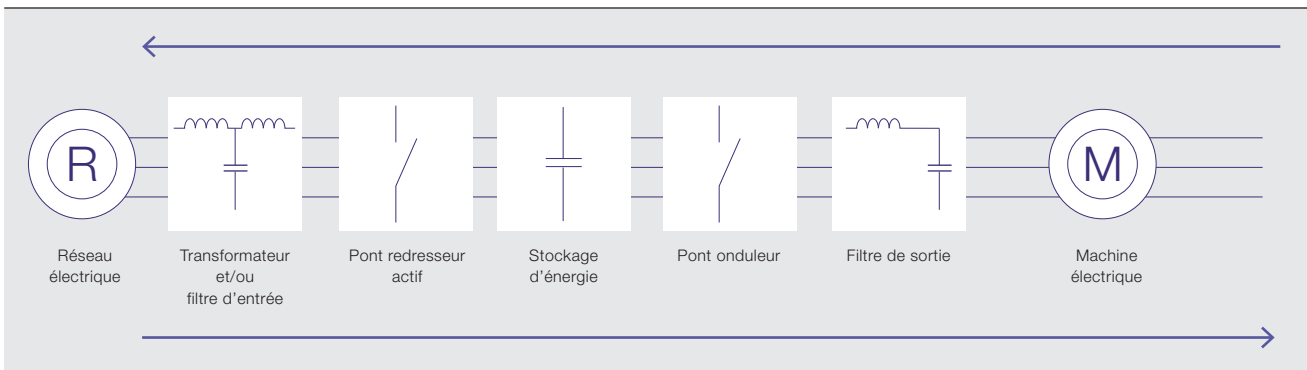
Un variateur MT est un convertisseur de puissance/fréquence qui régule les flux d'énergie. Pour ce faire, il prélève du CA triphasé sur le réseau électrique, le redresse en courant continu (CC) qu'il stocke dans des condensateurs ou des inductances, et le reconvertit en CA dans un pont onduleur pour alimenter un moteur électrique → 1. Le fonctionnement en sens inverse, de la machine au réseau, est également possible : c'est le cas, par exemple, dans une éolienne où un aérogénérateur transforme l'énergie cinétique des pales en CA qui est redressé et stocké en CC, puis reconverti en CA par le convertisseur de puissance pour être injecté dans le réseau électrique.

Distorsion harmonique

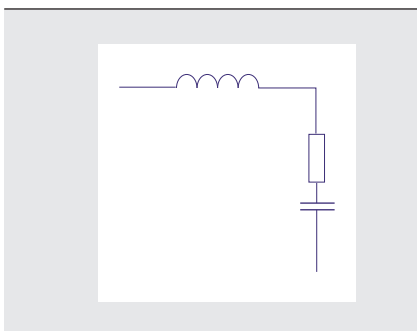
Ce double processus pose des défis, notamment parce que les convertisseurs électroniques ne peuvent réguler la tension de sortie que par gradins, engendrant des harmoniques qui se propagent dans le système et aboutissent dans le réseau ou la machine électrique.

Autre défi d'égale importance : la limitation des fréquences de commutation entre les niveaux de tension disponibles. Généralement, elles vont de plusieurs dizaines à quelques centaines de Hertz car les pertes de commutation du convertisseur de puissance, qui représentent la majorité

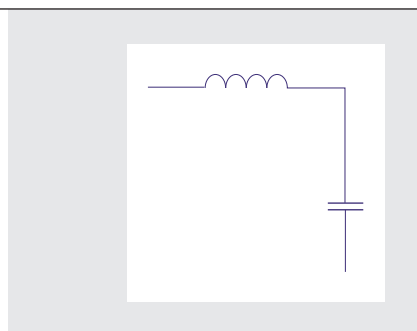
1 Variateur moyenne tension et flux d'énergie



2 Deux principaux types de filtre



2a Filtre RLC



2b Filtre LC

des pertes totales, sont proportionnelles à la fréquence de commutation.

Des fréquences plus faibles diminuent les coûts d'exploitation et renforcent les performances globales du système en termes de robustesse, de fiabilité et de rendement. Par contre, sur le plan de la commande, cette plage limitée de fréquences de commutation est extrêmement contraignante.

Encore plus contraignant est le niveau relativement élevé d'harmoniques de rangs faibles engendrés. En théorie, la tension en entrée et en sortie du variateur MT devrait être une sinusoïde pure. Or la réalité est tout autre, obligeant à minimiser les harmoniques qui se superposent à la fréquence fondamentale. Côté réseau, les règles de raccordement imposent des restrictions aux différents harmoniques injectés et à leur amplitude. Côté machine, cela se traduit par un taux global de distorsion harmonique du courant, mesure de la somme des harmoniques de premier rang comparée à la fondamentale.

Filtres résonants

Des filtres sont souvent installés en entrée et/ou en sortie du variateur MT pour atténuer les effets des harmoniques dans le réseau et la machine. On distingue deux grands types de filtre : les filtres résonants (LC) et les filtres passifs amortis (RLC) → 2. Ces derniers contribuent à la stabilité car ils n'amplifient pas les harmoniques de rangs faibles et atténuent ceux de rangs supérieurs → 3. Toutefois, leurs éléments résistifs affichent des pertes élevées au détriment du rendement global de la conversion de puissance.

Sur le plan de la commande, deux questions se posent : comment éviter de générer des harmoniques autour du pic de résonance du filtre LC et, le cas échéant, comment les atténuer ?

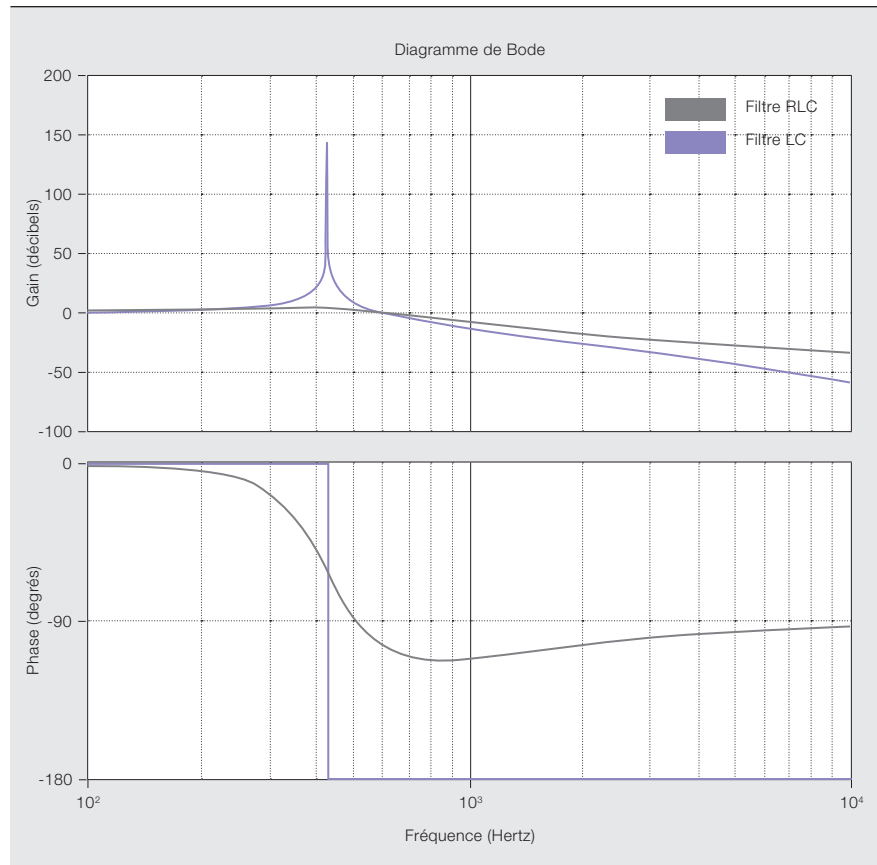
La réponse se trouve dans les filtres actifs.

Filtres actifs

Il s'agit de solutions logicielles qui atténuent les oscillations électriques indésirables du système sans investissement matériel supplémentaire. Elles nécessitent une compréhension fine de la dynamique sous-jacente du sys-

L'essor des énergies renouvelables et la numérisation des réseaux électriques font que les convertisseurs de puissance MT sont de plus en plus utilisés pour injecter du courant dans un réseau.

3 Réponse en fréquence d'un filtre résonant LC et d'un filtre RLC



Si le filtrage actif atténue les oscillations indésirables sans investissement matériel supplémentaire, il nécessite la compréhension fine de la dynamique sous-jacente du système et la maîtrise des techniques de commande, d'estimation et d'optimisation.

tème et une parfaite maîtrise des techniques de commande, d'estimation et d'optimisation.

La régulation par gradins propre aux convertisseurs de puissance électroniques produit des harmoniques de rang infini, phénomène souvent qualifié d'« ondulation de commutation ». Présents dans tous les signaux (tension, courant, énergie, couple, etc.), ces harmoniques peuvent avoir un effet perturbateur direct sur la commande. La commande d'un filtre actif doit donc disposer d'informations sur le contenu des signaux de courant et de tension autour de la fréquence de résonance pour permettre au régulateur d'amortir efficacement les oscillations électriques. Cette capacité d'adaptation demande une étude très soignée des filtres logiciels (passe-bas, passe-bande, encoche, etc.) et/ou des estimateurs avancés.

Tant les laboratoires universitaires qu'industriels proposent une pléthore de techniques pour concevoir des régulateurs atténuant les résonances.

Techniques de commande monovariante

Les premières techniques de suppression des oscillations étaient basées sur une approche fréquentielle et une commande en boucle fermée. S'appuyant sur des travaux menés dans les années 1930 à 1950, elles mettaient principalement en œuvre des boucles PID (proportionnelle, intégrale et dérivée) pour concevoir et paramétrer les systèmes monovariants. Cette démarche peut être combinée, par exemple, aux techniques actuelles de modulation de largeur d'impulsion (MLI) [1] et de commande DTC (*direct torque control*) [2]. Pour autant, elle présente de nombreux inconvénients car le système sous-jacent n'est ni monovariant, ni continu. Au contraire, les interactions des entrées et des sorties sont très complexes.

Techniques de commande multivariante

Les commandes multivariantes, basées sur une approche temporelle (encore appelée « représentation d'état-espace »), remontent aux années 1960. Avec la

En théorie, la tension en entrée et en sortie du variateur MT devrait être une sinusoïde pure. Or la réalité est tout autre, obligeant à minimiser les harmoniques qui se superposent à la fréquence fondamentale.

commande linéaire quadratique (LQ), elles marquent une avancée majeure dans le domaine du filtrage actif.

La dynamique du système est ici reproduite par une série unique d'équations différentielles de premier ordre qui permet de prédire le comportement futur du système, d'optimiser la commande et d'atténuer ainsi les oscillations indésirables sur le long terme. Cette commande multivariable gère les interactions complexes au sein du système et leurs conséquences sur les résonances de manière plus précise que les techniques monovariées antérieures. Reste qu'elle a aussi l'inconvénient de considérer tous les signaux du système comme continus et d'ignorer le phénomène d'ondulation précité.

La commande LQ, qui modifie les signaux de référence permettant d'atténuer les oscillations indésirables, a été utilisée comme boucle externe à deux occasions : d'une part, pour la commande prédictive par modèles du courant continu (côté réseau) et, d'autre part, pour la commande prédictive par modèles des schémas d'impulsion (côté machine) [3].

Traitements temporels et fréquentiels avancés

Bien que très efficaces pour atténuer les oscillations électriques, les commandes multivariables et LQ ont le défaut de ne manipuler que les signaux de référence. Des techniques plus pointues utilisent des modèles d'impulsion optimisés généralement conçus pour éliminer les harmoniques de la fréquence de résonance. Toutefois, des perturbations ou de légères modifications de la position des commutateurs peuvent réintroduire ces harmoniques

indésirables qui, à leur tour, sont amplifiés par le pic de résonance des filtres matériels. Il est donc plus efficace de s'intéresser à chaque commutation dans le système et d'analyser ses effets sur l'atténuation ou la production d'harmoniques au pic de résonance.

Cette démarche analytique est des plus utiles pour savoir si la commutation doit intervenir comme prévu ou être décalée pour aider à amortir la résonance. Des commandes aussi avancées requièrent des rapports extrêmement faibles entre la fréquence de résonance du filtre et la fréquence de commande/commutation. Le système gagne alors en performances et la taille des éléments passifs du système, donc leur coût, sont réduits.

Vision globale

Chez ABB, les automaticiens disposent aujourd'hui d'un arsenal d'outils très efficaces et pointus pour combattre les résonances électriques. Pour autant, les chercheurs ne sont pas au bout de leur peine car les systèmes deviennent de plus en plus complexes du fait de la présence de circuits résonnants côté charge et côté source, comme dans les sous-systèmes intermédiaires. Les techniques développées au siècle dernier permettent d'amortir activement les oscillations dans les configurations monosystèmes. L'évolution des systèmes de conversion de puissance et le développement des configurations multi-systèmes obligent à poursuivre les recherches. L'élargissement de leur champ applicatif et leur complexification posent de nouveaux défis. Il en va de même d'aspects pratiques comme les retards de transmission entre les sous-systèmes et les ressources

de calcul limitées des plates-formes matérielles de contrôle-commande.

Pour atténuer efficacement les résonances, le système de conversion de puissance doit être analysé dans sa globalité et non plus de manière fragmentaire. Cette approche est la clé de l'optimisation des systèmes, de la réduction des coûts et de l'amélioration des rendements.

Peter Al Hokayem

Silvia Mastellone

Tobias Geyer

Nikolaos Oikonomou

ABB Corporate Research

Baden-Dättwil (Suisse)

peter.al-hokayem@ch.abb.com

silvia.mastellone@ch.abb.com

tobias.geyer@ch.abb.com

nikolaos.oikonomou@ch.abb.com

Christian Stulz

ABB Medium Voltage Drives

Turgi (Suisse)

christian.stulz@ch.abb.com

Bibliographie

- [1] Dannehl, J., *et al.*, « Investigation of active damping approaches for PI-based current control of grid-connected pulse width modulation converters with LCL filters », *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 46, n° 4, p. 1509–1517, juillet-août 2010.
- [2] Pahjola, P., Stulz, C., « Method and apparatus for direct torque control of a three-phase machine », brevet US 5734249, 31 mars 1998.
- [3] Hokayem, P., *et al.*, « Active damping for model predictive pulse pattern control », *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Pittsburgh (Pennsylvanie, États-Unis), p. 1220–1227, 14–18 septembre 2014.



L'innovation couronnée

Un Prix ABB pour soutenir la recherche postdoctorale d'excellence dans le monde entier

REINER SCHOENROCK – ABB a créé un Prix international de la Recherche pour honorer celui qui présida son Conseil d'administration jusqu'en avril 2015, Hubertus von Grünberg, et encourager par là même les chercheurs d'exception dans les deux grands domaines d'activité du Groupe, à savoir l'énergie et l'automatisation au

service de l'industrie, des transports et des infrastructures. Cette distinction récompensera les meilleurs travaux menés notamment dans les disciplines du génie logiciel, de l'électronique et des nouveaux matériaux, qui préfigurent les grandes avancées industrielles de demain.



Hubertus von Grünberg, physicien auteur en 1970 d'une thèse de doctorat sur la théorie de la relativité d'Albert Einstein, a beaucoup contribué à l'engagement d'ABB en faveur de la croissance durable et à sa réputation de champion de l'innovation → 1. De 2007 à 2015, il a présidé aux percées technologiques du Groupe, dont le disjoncteur hybride courant continu haute tension (CCHT), qui résout un casse-tête vieux de cent ans et ouvre la voie à une gestion facile du réseau électrique en courant continu.

En honorant Hubertus von Grünberg, ABB entend inspirer et favoriser les travaux des esprits inventifs les plus prometteurs. L'innovation est en effet au cœur de sa stratégie de progrès baptisée «*Next Level*». Dans un environnement agile où l'ingéniosité et la créativité ne connaissent pas de frontières, ABB doit encore élargir son horizon pour repousser les limites de la technologie.

Doté de 300 000 dollars, ce Prix est ouvert aux docteurs ès sciences de toutes les universités spécialisées dans les filières de l'énergie et de l'automatisation. Il sera décerné pour la première fois en 2016, puis régulièrement tous les trois ans.

Des professeurs de l'École polytechnique fédérale de Zurich (ETH), du *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), de l'université Tsinghua de Pékin, de l'*Imperial College* de Londres, ainsi que Hubertus von Grünberg lui-même et Claes Rytøft, Directeur des technologies et Directeur

général adjoint du groupe ABB, comptent parmi les membres du jury.

Détails et modalités de participation : new.abb.com/hvg-award

Date limite de dépôt des candidatures : 29 janvier 2016.

Reiner Schoenrock
ABB Corporate Communications
Zurich (Suisse)
reiner.schoenrock@ch.abb.com

Photo p. 60

Le Prix international de la Recherche ABB sera décerné pour la première fois en 2016, puis tous les trois ans.



Votre avis nous intéresse !

Vos commentaires et vos suggestions nous sont précieux pour faire évoluer la revue et mieux vous servir. C'est pourquoi nous vous invitons à répondre à un court questionnaire en ligne et à gagner peut-être l'un des prix de notre tirage au sort pour vous remercier de votre participation et du temps que vous nous aurez consacré.

L'équipe éditoriale vous donne rendez-vous sur www.abb.com/abbreview (jusqu'au 30 novembre 2015).

Rédaction

Claes Ryttoft

Chief Technology Officer
Group R&D and Technology

Ron Popper

Head of Corporate Responsibility

Christoph Sieder

Head of Corporate Communications

Ernst Scholtz

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 la direction
R&D and Technology du groupe ABB.

ABB Technology Ltd.
ABB Review/REV
Affolternstrasse 44
CH-8050 Zurich (Suisse)

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 directement la rédaction.

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 ©2015
ABB Technology Ltd.
Zurich (Suisse)

Impression

Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH
AT-6850 Dornbirn (Autriche)

Maquette

DAVILLA AG
Zurich (Suisse)

Traduction française

Dominique Helies
dhelies@wanadoo.fr

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 professionnel sur aucun fait ni sujet spécifique, et déclinent toute responsabilité sur leur utilisation. Les entreprises du Groupe ABB n'apportent aucune caution ou garantie, ni ne prennent aucun engagement, formel ou implicite, concernant le contenu ou l'exactitude des opinions exprimées dans la présente publication.

ISSN : 1013-3119

www.abb.com/abbreview



Dans le numéro 4115

Intégration des renouvelables

Dans son numéro 2/2015, ABB review s'était mise à l'heure solaire. Dans notre prochaine édition, elle revisite le monde des énergies renouvelables, en adoptant un large point de vue qui couvre non seulement l'énergie en tant que telle mais aussi ses effets sur le réseau électrique, l'industrie et les utilisateurs. Nous verrons comment les technologies ABB aident tous ces « acteurs » à tirer le meilleur de la part croissante des EnR dans le paysage énergétique mondial.

À vos tablettes

Téléchargez l'application ABB review via le lien
<http://new.abb.com/about/technology/abb-review/app>
ou scannez le QR code ci-dessous.



Toujours et partout

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



Dès l'enregistrement effectué, vous recevrez un e-mail demandant de confirmer votre abonnement.



Toujours et partout en de bonnes mains

Retrouvez-nous sur l'appli *ABB review* pour tablette et smartphone. Polyglotte, riche en fonctionnalités et contenus interactifs (recherche intégrale, galeries photos, vidéos, animations, etc.), cette nouvelle version est téléchargeable sur votre magasin d'applications préféré. Toute l'actualité technologique ABB au bout des doigts
www.abb.com/abbreview

