

ABB

4 | 10

Actualités technologiques
du Groupe ABB

revue

Le poste opérateur de demain 6
Des transformateurs parasismiques 16
Départ-moteur intelligent 27
Filtres actifs : gare aux harmoniques ! 51

Creuset de productivité



Power and productivity
for a better world™



On dit souvent que « *le tout est plus grand que la somme de ses parties* » ; l'argument vaut pour presque toute la sphère industrielle. Limiter nos déchets et réduire au minimum la variabilité, l'imprévu et le risque d'arrêt inopiné sont autant d'objectifs à atteindre en optimisant tous les rouages de la chaîne de production mais aussi en comprenant leurs interactions. Ce numéro de la *Revue ABB* se penche sur les multiples façons de mettre en œuvre et de combiner des technologies d'exception, au service d'une plus grande productivité.



Productivité sécurisée

- 6** **Quête d'efficacité**
Le poste opérateur 800xA, prêt pour la conduite de demain
- 12** **Barrières de sécurité**
La sécurité fonctionnelle des machines et des variateurs de fréquence
- 16** **Secousses sismiques et équipements électriques**
Des méthodes d'analyse innovantes

Productivité maîtrisée

- 21** **Semi-conducteurs de puissance et transport électrique**
Ossatures des réseaux du XXI^e siècle
- 27** **Départ-moteur intelligent UMC100**
L'exemple parfait de départ-moteur modulaire, adaptable et intégré
- 32** **Démarrreur ou variateur ?**
Avantages comparés des démarreurs progressifs et des variateurs de fréquence pour la commande des pompes centrifuges

Puissance mobilisée

- 40** **Lignée eXTraordinaire**
Nouveaux disjoncteurs en boîtier moulé *Tmax XT*
- 47** **Jamais sans mon transformateur**
Transformateurs modulaires à déploiement rapide pour réseaux de transport haute tension
- 51** **Filtres actifs contre harmoniques**
Les solutions *PQF* d'ABB
- 56** **Branchement électrique des navires à quai**
Une technologie ABB pour réduire les émissions polluantes dans les ports

Index 2010

- 61** **La Revue ABB en 2010**
Récapitulatif des articles de l'année

Questions de productivité



Peter Terwiesch
Directeur des technologies
ABB Ltd.

Chers lecteurs,

Produire consiste à transformer des matières premières, du capital, du travail et de l'énergie en des biens et des services. Dans cette optique, les entreprises n'ont de cesse de rationaliser leurs ressources et d'optimiser leurs rendements tout en tenant compte des contraintes sécuritaires, environnementales, réglementaires et autres. La quête de productivité a pourtant changé de cible : plutôt que d'optimiser chaque îlot de production, la tendance est à l'amélioration du procédé dans sa globalité. Les progrès de la supervision, des communications, de l'intégration et de l'analyse en temps réel participent à cette évolution.

Notre premier article s'intéresse à l'échange d'informations entre un site de production et son personnel d'exploitation. La conception des interfaces homme-machine joue un rôle essentiel dans la capacité de l'opérateur à détecter les situations anormales et à réagir en conséquence, avant que l'incident ne tourne à la catastrophe. Des détails de conception, en apparence mineurs, favorisent une détection précoce des problèmes et pèsent lourd sur la productivité du site.

Pour autant, la vigilance des opérateurs ne suffit pas à prévenir toutes les situations anormales. Des systèmes de sécurité surveillent en permanence équipements et procédés, et prennent le relais de l'homme dès qu'un seuil d'alerte est franchi. Si ces systèmes ont toujours été dissociés du contrôle-commande et réclamé un matériel et un câblage spécifiques, l'intégration des fonctions de sécurité à la conduite gagne aujourd'hui du terrain. Notre article sur la sécurité et les variateurs de fréquence en témoigne.

Quand il s'agit de prévenir les anomalies et dysfonctionnements, les « bonnes pratiques » opérationnelles et une solide culture de la sécurité sont la parade idéale aux arrêts techniques et pertes de productivité. Au demeurant, certaines perturbations puisent leur origine dans des circonstances exceptionnelles, externes à la production, comme les séismes. Pour surmonter ces incidents et rétablir un fonctionnement normal dans les plus brefs

délais, il faut des équipements robustes : ce qu'illustre notre article sur la tenue sismique des gros transformateurs.

Même en s'armant de toutes les précautions, les composants majeurs d'une installation ne sont pas à l'abri d'une défaillance intempestive. C'est le cas des gros transformateurs de puissance : difficile de les remplacer du jour au lendemain quand on sait leur délai de fabrication et d'acheminement ! On peut alors recourir à des transformateurs mobiles, le temps de remplacer ou de réparer l'appareil défectueux ; leur faible encombrement et leur masse réduite autorisent un transport rapide, qui s'accommode des infrastructures existantes, et un assemblage sur site. Jusqu'à présent, les transformateurs mobiles plafonnaient à 250 kV ; ABB innove avec une version à 400 kV.

L'électronique de puissance a beaucoup fait progresser la productivité ces dernières décennies, favorisant les économies d'énergie, l'amélioration de la conduite et la simplification de la maintenance. Ce numéro fait la part belle à l'offre d'ABB dans ce domaine, des semi-conducteurs de puissance à la commande intelligente des moteurs industriels.

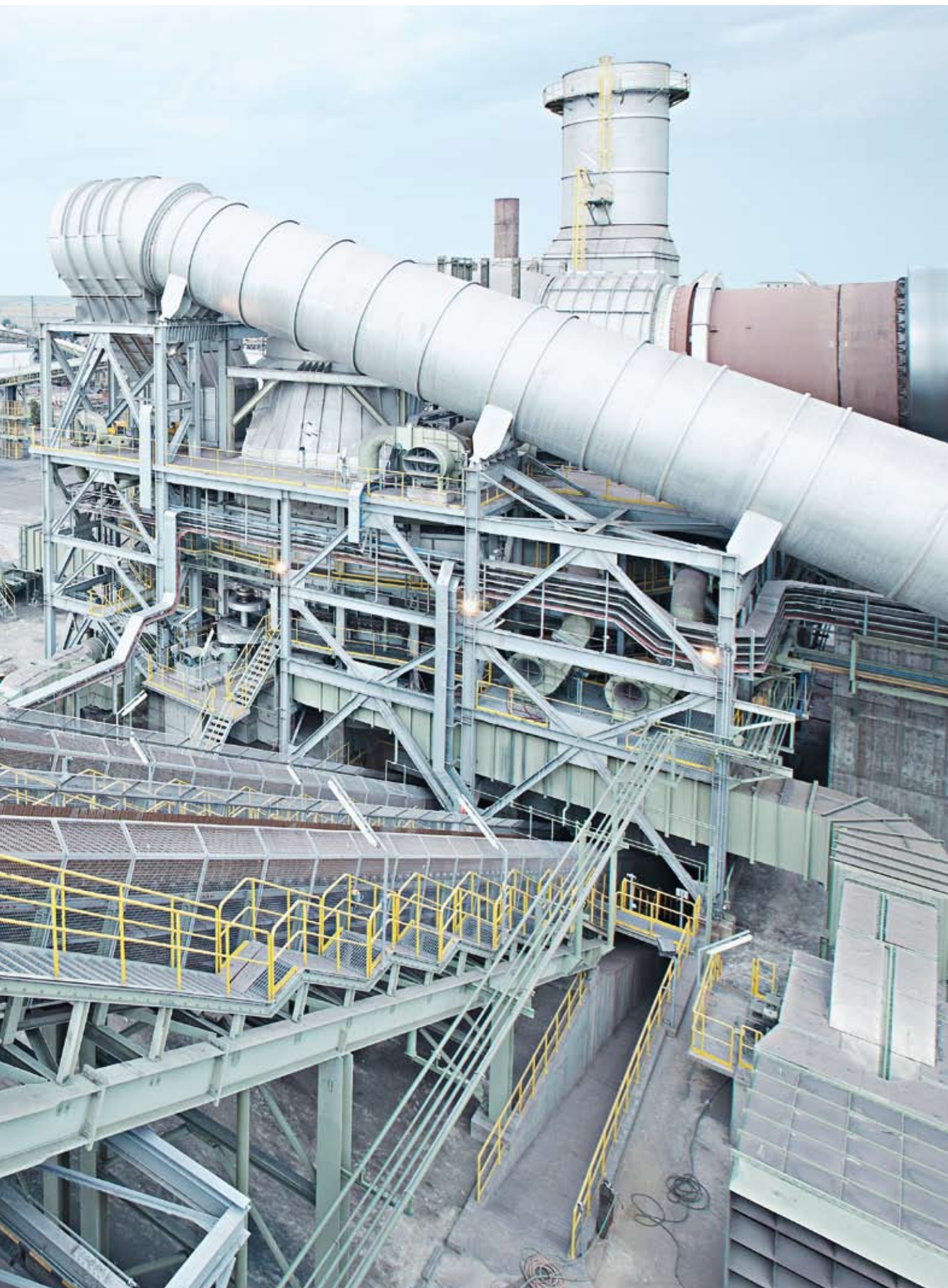
D'autres articles se penchent sur la dernière génération de disjoncteurs en boîtier moulé, les filtres actifs pour contrer les harmoniques et les solutions d'alimentation électrique des navires à quai pour économiser le carburant.

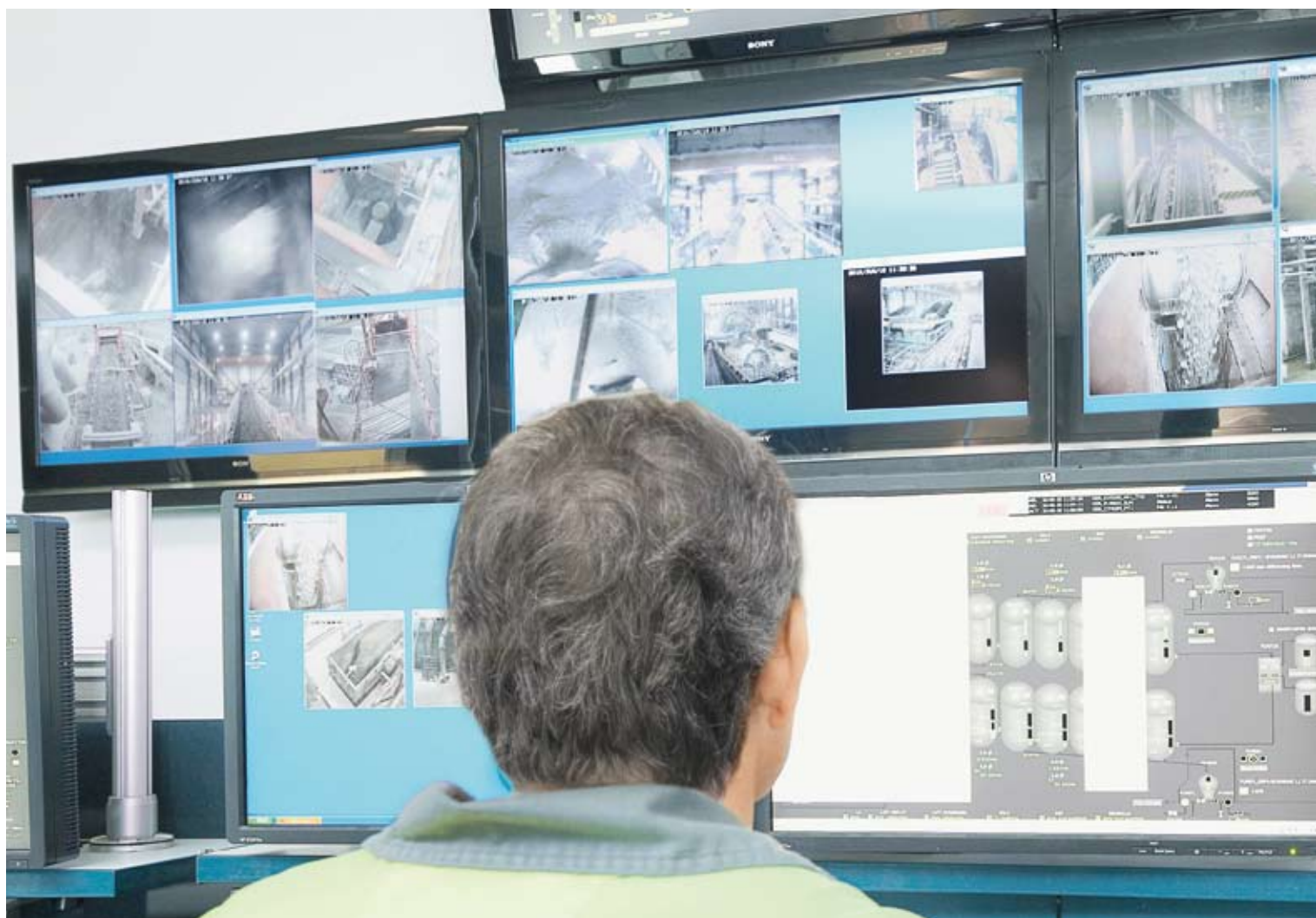
Enfin, je profite de ces colonnes pour remercier tous les lecteurs qui ont participé à l'enquête annoncée dans notre précédent numéro. Nous en publierons prochainement les résultats.

Au fil des pages, la *Revue ABB* égrène cette fascinante thématique de la productivité industrielle avec un florilège d'innovations du Groupe.

Vous souhaitant une lecture « productive »,

Peter Terwiesch
Directeur des technologies
ABB Ltd.





Quête d'efficacité

Le poste opérateur
800xA d'ABB,
prêt pour la conduite
de demain

HONGYU PEI BREIVOLD, MARTIN OLAUSSON, SUSANNE TIMSJÖ, MAGNUS LARSSON, ROY TANNER – L'industrie mondiale des procédés perd chaque année environ 20 milliards de dollars, soit 5% de sa production totale¹. Or on estime que 80% de ces pertes, dont la moitié est imputable à l'homme, peuvent être évitées. En d'autres termes, le potentiel total d'amélioration du secteur se chiffre à quelque 6,4 milliards de dollars... si l'on parvient à s'affranchir de l'erreur humaine! L'efficacité des opérateurs, clé de la pérennité économique du contrôle-commande et de la gestion des procédés, peut être améliorée par une meilleure connaissance de la situation et une gestion plus fine des dysfonctionnements. Mieux armés, les opérateurs prennent des décisions plus éclairées et les procédés gagnent en sécurité et en disponibilité.



Avec le système 800xA d'ABB, les clients peuvent regrouper et rationaliser des données multisources, en toute transparence.

Améliorer l'efficacité des opérateurs impose de relever plusieurs grands défis technologiques et organisationnels. La gestion et la surveillance des procédés industriels, par exemple, sont confrontées à des mutations technologiques inéluctables, un socle cognitif affaibli (en raison des évolutions de la pyramide des âges affectant le personnel) et des opérations toujours plus complexes. Négliger la question de l'efficacité des opérateurs, c'est risquer de voir les coûts s'envoler sous les effets conjugués de ces facteurs.

ABB estime que le développement d'une interface homme-machine (IHM) performante doit tenir compte des procédures de travail et des exigences de l'opérateur ; une opinion que partagent bien des clients ABB récemment consultés sur ce thème.

Note

- 1 Atkinson, T., Hollender, M., *Operator Effectiveness, Collaborative Process Automation Systems*, ISBN 978-1-936007-10-3, 2010.

La règle de quatre

Si l'on s'en tient aux principes fondateurs du système d'automatisation étendue 800xA d'ABB, quatre critères essentiels influent sur la performance globale de l'opérateur :

- L'intégration des opérations ;
- La conception de l'IHM ;
- La prise en compte du facteur humain ;
- Les compétences de l'opérateur.

Intégrer les opérations

Le système 800xA d'ABB permet aux clients de regrouper et de rationaliser en toute transparence des données multisources pour permettre la collaboration de différents systèmes et programmes informatiques. L'opérateur dispose ainsi de toute l'information utile, avec la possibilité de manipuler les données de manière intuitive et de gérer les affichages en dynamique. Conséquence : les manœuvres à exécuter sont repérées plus rapidement.

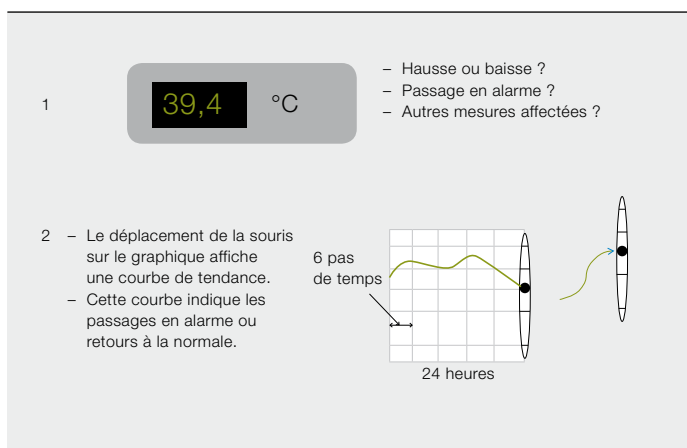
Un site de production moderne peut abriter une multitude d'automatismes programmables (API) et de systèmes de contrôle-commande distribué, de sécurité, d'automatisation des infrastructures et de conduite électrique, etc. S'y ajoutent des systèmes d'information industrielle – gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO), progiciels de gestion intégrée (PGI), vidéosurveillance et historisation – qui aident avantageusement l'opérateur dans sa prise de décision.

La technologie *Aspect Object* du 800xA d'ABB autorise non seulement l'affichage et l'accès intuitifs à ces données multisources mais aussi leur filtrage, en fonction du rôle et des responsabilités de l'utilisateur : un simple clic droit et la sélection d'une commande dans le menu contextuel suffisent, par exemple, pour retrouver l'origine des différentes données affichées sur un graphique.

Optimiser la conception

Nombreux sont les organismes de normalisation et instituts de recherche à

1 Deux modes de représentation des données : traditionnel (1) et personnalisé (2).



2 Poste de travail panoramique 800xA d'ABB



Le simulateur offre aux opérateurs de conduite et aux instrumentistes un environnement sûr et réaliste pour apprendre à maîtriser le procédé.

contribuer au progrès des IHM. Leurs travaux débouchent sur des recommandations dans les domaines de la conception des interfaces, de l'ergonomie, de l'évaluation et de la compréhension de la situation par l'opérateur, et de la gestion des alarmes. Riche de ces apports et de sa propre expertise, ABB soutient l'élaboration de normes adéquates en participant activement aux comités techniques, groupes de travail et commissions scientifiques des instances normalisatrices.

La gestion des situations anormales est un domaine qui influence grandement le développement des IHM. On entend par « situation anormale » les perturbations ou incidents que le système de contrôle-commande est incapable de gérer lui-même et qui nécessitent donc une intervention humaine. ABB s'attache à identifier des pratiques efficaces de supervision et d'intervention pour aider l'opérateur à repérer les situations anormales et à réagir en conséquence ; ces mesures sont mises en œuvre dans le système 800xA. Citons, par exemple, l'agencement personnalisé du poste de conduite pour coller aux méthodes de travail de l'utilisateur ou l'aide à l'élaboration de stratégies évoluées de gestion d'alarmes avec fonctions de masquage volontaire (sur action opérateur) ou conditionnel (automatique) de messages parasites et secondaires pour préserver la lisibilité de l'écran. Ces innovations respectent, voire dépassent les prescriptions des normes et directives en vigueur, dont EEMUA 191² et ISA SP 18.2³.

Autre levier de la conception d'une IHM performante : renseigner au maximum l'opérateur pour mieux appréhender le *process*. D'après Ian Nimmo, spécialiste

de la gestion des situations anormales chez *User Centered Design Services* et co-auteur d'un ouvrage consacré aux IHM⁴, « un opérateur bien informé a une perception précise de l'état actuel du procédé et des équipements, et une compréhension fine des différentes tendances de la production ». Dans cette optique, le choix et l'emploi de couleurs sont essentiels pour visualiser au mieux les dysfonctionnements. Ce concept de connaissance poussée de la situation n'est pas nouveau mais il continue d'alimenter les débats au sein de nombreuses entreprises. Parmi les sujets d'actualité figure l'utilisation de vues du procédé en niveaux de gris ou « graphiques froids ». Le mode de navigation, l'enchaînement des graphiques pour améliorer la réactivité de l'opérateur et l'affichage des données sont autant d'outils qui permettent d'anticiper et d'éviter les anomalies.

À titre d'exemple pour illustrer ce concept, l'ouvrage de Ian Nimmo décrit deux graphiques renfermant les mêmes informations sur l'état du procédé mais renseignant l'utilisateur de manière radicalement différente : d'un côté, un fond d'écran noir et une démultiplication des couleurs qui nuisent à la bonne perception de la situation, même en temps normal ; de l'autre, un affichage graphique à niveaux de gris et alarmes de couleur

Notes

- 2 <http://www.eemua.co.uk/> (consulté en août 2010)
- 3 <http://www.isa.org/> (consulté en août 2010)
- 4 Hollifield, B., Oliver, D., Nimmo, I., Habibi, E., *The High Performance HMI Handbook*, ISBN-10: 0977896919, ISBN-13: 9780977896912, Plant Automation Services, 2008.



vive, qui permet de pointer directement l'information pertinente.

Une meilleure connaissance de la situation peut être décisive en permettant :

- d'augmenter le taux de réussite dans le traitement des anomalies et le retour à un régime normal de fonctionnement ;
- d'accélérer l'exécution des tâches opérateurs, en situation anormale ;
- de renforcer le rôle des opérateurs de conduite dans la détection d'un dysfonctionnement avant même l'apparition d'une alarme.

Se focaliser sur le facteur humain

Être à l'écoute de l'homme : une évidence pour ABB ! Un meilleur environnement de travail peut réduire le stress de l'opérateur, dopant ainsi considérablement ses performances et son efficacité dans les situations anormales, tout en limitant les problèmes de santé et la rotation des effectifs.

Le poste de travail multi-écran *Extended Operator Workplace* → 2 illustre bien ce souci d'ABB. Il est équipé de claviers aux fonctions étendues (raccourcis pour le traitement multi-clients), d'une console avec réglage électrique

des écrans et du bureau, d'un système audio orientable et d'un éclairage variable. À cela s'ajoute un agencement ergonomique de la salle de conduite → 3 qui influence considérablement sur les performances des équipes en poste. Tous ces facteurs contribuent à améliorer l'espace de travail et la vigilance des opérateurs.

buent à améliorer l'espace de travail et la vigilance des opérateurs.

Les procédures de conduite ont aussi leur importance : gages de cohérence des opérations, elles secondent aussi l'opérateur dans l'exécution de tâches peu fréquentes. Les listes de contrôle ou *checklists* font partie de ces outils précieux qui

guident l'opérateur pas à pas pour réagir à certaines circonstances.

La bonne marche des opérations impose également de définir clairement le rôle et les responsabilités de chacun, ce qui revient à répertorier et à documenter l'intégralité des tâches à exécuter, y compris celles sortant du cadre normal de l'activité.

ABB et son système 800xA constituent à cet égard une nouvelle référence dans la réalisation de centres de conduite « intelligents », axés sur l'opérateur. Aidé du fabricant de mobilier pour salles de commande CGM, ABB s'implique très tôt, aux côtés de l'utilisateur final, pour concevoir une salle de conduite optimale faisant la part belle au facteur humain et à l'ergonomie. Il suffit de visiter le centre des opérations de Borås (Suède) pour s'en convaincre ! Acoustique, absorption du bruit, matériaux et revêtements de sol, commandes d'éclairage, état du procédé en couleur... rien n'est négligé.

Renforcer les compétences

Les interactions de l'homme avec le procédé sont souvent lourdes de conséquences économiques. C'est tout particulièrement vrai dans les situations exceptionnelles, l'opérateur devant appréhender et gérer des opérations complexes pour rétablir le procédé. Le système 800xA d'ABB jette les bases d'une formation avancée des opérateurs, à l'aide d'un simulateur qui reproduit fidèlement l'environnement de conduite (graphiques et logique de commande). Cet outil réaliste offre aux opérateurs et instrumentistes un moyen sûr de se rôder au procédé et de gagner en confiance → 4.

Les fondamentaux

L'évolution rapide des technologies, le rajeunissement du personnel et la complexité croissante des tâches obligent à traiter la question de l'efficacité des opérateurs sur toute la durée de vie du système de conduite, avec deux objectifs fondamentaux :

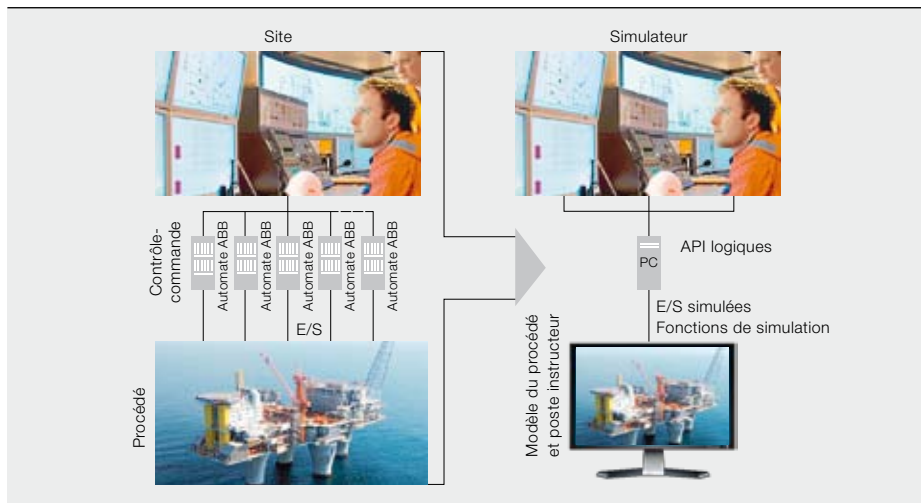
- Impliquer l'utilisateur ;
- Anticiper l'avenir.

Priorité à l'utilisateur

La conception d'une IHM efficace doit accorder une place centrale aux procédures de travail et tâches de conduite. Soucieux de bien appréhender ces paramètres et d'évaluer la performance des

On entend par « situations anormales » les perturbations ou incidents que le système de contrôle-commande ne peut gérer lui-même et qui nécessitent l'intervention de l'opérateur.

Deux modes d'affichage d'une variable process sont illustrés en → 1. Les différents niveaux d'informations fournies à l'opérateur influent sur sa réceptivité et sa capacité à prendre rapidement la bonne décision.



La consultation des opérateurs a révélé les bonnes pratiques et les marges de progrès dans l'exécution des tâches quotidiennes.

opérateurs face à l'abondance de tâches qui leur incombe, ABB réalise, en collaboration avec les équipes de conduite, des études centrées sur l'utilisateur mêlant entretiens, observations et enquêtes sur le terrain.

Au préalable, des questionnaires sont envoyés aux opérateurs pour s'assurer qu'ils ont le profil et les connaissances requises. Ces questionnaires peuvent être structurés ou non, tant dans la nature des questions posées que dans la forme des réponses possibles.

Les enquêtes sur place permettent d'identifier et de hiérarchiser les missions et besoins des opérateurs; l'environnement de travail de l'utilisateur est en effet un terrain d'observation idéal pour comprendre le mode d'exécution des tâches opérationnelles, cerner les attentes et difficultés, et mettre au jour les actions inefficaces ou incorrectes dont le personnel n'a pas conscience. Les opérateurs sont par ailleurs consultés et les retours d'expérience (bonnes pratiques et marges de progrès) directement pris en compte.

Les données recueillies sont analysées. Une synthèse permet ensuite de dégager de chaque étude les principaux concepts et enseignements, et de déterminer dans quelle mesure ils contribuent à améliorer l'efficacité des opérateurs.

Autre moyen d'être en prise directe avec l'utilisateur: constituer un «groupe de références clients» de divers horizons. L'objectif est triple:

- Tenir les clients directement informés des projets en cours et à venir;

- Leur permettre de participer activement au développement ABB de l'interface opérateur 800xA;
- Bâtir un forum d'échange et de réflexion pour évaluer les besoins de l'utilisateur, les tendances et développements futurs, au bénéfice du client et de sa productivité.

Le futur en vue

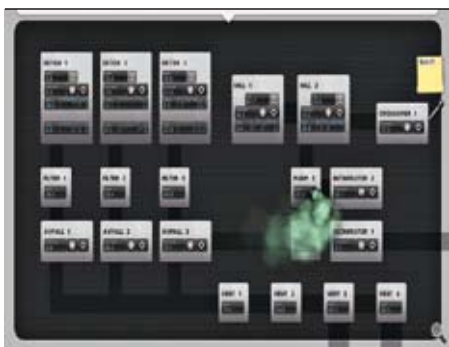
Les progrès constants des techniques logicielles portant sur l'expérience et l'interaction des utilisateurs imposent de faire évoluer les IHM existantes. ABB dispose pour cela d'un laboratoire bien équipé, tourné vers le futur; ses chercheurs y analysent l'impact des technologies émergentes et en explorent les possibilités d'usage efficace et de combinaison avec l'existant. Un nouveau domaine de recherche dédié à l'efficacité des opérateurs vient de voir le jour avec pour mission de recenser les nouvelles technologies du marché et leurs applications industrielles. Citons trois exemples d'investigation: l'interaction homme-machine, la visualisation des données et les techniques de conception.

La recherche-développement d'ABB est à l'origine de nombreuses innovations. En témoigne l'affichage en → 5 qui, grâce à la représentation intuitive d'une alarme, capte toute l'attention de l'opérateur sur l'anomalie en cause.

Autre innovation née du souci d'ABB de se focaliser sur les procédures et tâches opérateur pour concevoir une IHM performante: le «bloc-notes électronique». Chacun sait que la conduite d'un procédé est un travail d'équipe qui suppose de collaborer et de communiquer. D'où la possibilité pour les opérateurs de laisser des messages à l'écran → 6 ou de faire des propositions sur un tableau blanc déroulant → 7. Cet outil collaboratif est multimétier: direction du site, questionnaires de système, responsables, opérateurs et agents de maintenance.

L'efficacité de l'opérateur est une question aussi cruciale qu'intemporelle; ABB étudie donc des solutions d'amélioration tant pour les générations actuelles que futures. Pour certains clients, les attentes des opérateurs évoluent avec la classe d'âge. De nombreuses personnes recrutées aujourd'hui sont des «enfants du numérique» pour lesquels l'apprentissage visuel est une méthode idéale

5 Exemple d'écran visible uniquement en situation anormale



pour se former à la conduite d'un site. Des études révèlent en effet que ces nouvelles recrues jonglent davantage avec les fenêtres ouvertes que leurs aînés et sont aussi plus enclines à personnaliser les écrans ; tout comme elles préfèrent une visualisation graphique du procédé à une représentation séquentielle. C'est pourquoi ABB suit de près les technologies et méthodes de conception de demain pour servir les talents des générations à venir.

Intemporelle, la question de l'efficacité de l'opérateur reste cruciale.

Le quarté gagnant

Améliorer l'efficacité des opérateurs est un défi de taille. Fournisseur de solutions d'automatisation, ABB est en première ligne pour :

- 1) mobiliser une plate-forme d'automatismes capable intrinsèquement de promouvoir et de conforter l'intégration et la centralisation des données, indispensables au travail collaboratif ;
- 2) contribuer au respect des normes et à la conception d'IHM favorisant la compréhension et la gestion des situations anormales, tout en proposant un système d'automatisation adaptable aux exigences et spécificités du client ;
- 3) intégrer le facteur humain et les meilleures pratiques pour atteindre le summum de l'efficacité opérationnelle ;
- 4) fournir aux opérateurs, au-delà de la formation, un environnement de travail exploitant le meilleur des

6 Messages et commentaires déposés sur le bloc-notes électronique



technologies, équipements et connaissances actuelles pour renforcer leur confiance et leurs compétences.

Qui plus est, ABB s'engage activement à promouvoir un environnement de travail favorisant l'efficacité des opérateurs et poursuit ses activités dans les domaines de la conception axée sur l'utilisateur, des technologies de demain et de leurs applications. L'objectif est de limiter l'erreur humaine à travers une plus grande mise à profit des compétences techniques et des acquis de l'expérience, un accès rapide à l'information pertinente, en toutes circonstances, et une aide à la prise de décision. Pour le client, toutes ces avancées sont garantes de la pérennité économique de son activité.

Les solutions ABB pour *booster* l'efficacité de l'opérateur ont jusqu'à présent rencontré un franc succès : elles placent vraiment l'homme au cœur de la conception et s'appuient sur des interfaces de conduite exceptionnelles qui facilitent la prise de décisions, dans tous les modes de fonctionnement. ABB est décidé à rester aux avant-postes de la recherche-développement dans ce domaine pour accompagner ses clients sur le chemin de l'excellence.

7 Esquisse de projet sur tableau blanc déroulant



Hongyu Pei Breivold

Martin Olausson

Susanne Timsjö

Magnus Larsson

ABB Corporate Research

Västerås (Suède)

hongyu.pei-breivold@se.abb.com

martin.olausson@se.abb.com

susanne.timsjo@se.abb.com

magnus.larsson@se.abb.com

Roy Tanner

ABB Inc.

Wickliffe (États-Unis)

roy.tanner@us.abb.com



Barrières de sécurité

De la sécurité fonctionnelle des machines en général et des variateurs de fréquence en particulier

MIKKO RISTOLAINEN – Au sein d'un site industriel, la sécurité passe avant tout, même s'il arrive qu'elle soit en conflit avec les objectifs de productivité. Or de nouveaux concepts de contrôle et de surveillance permettent aujourd'hui de concilier plutôt que d'opposer ces deux obligations. Alors que la sécurité était jusqu'à présent souvent assurée par des dispositifs externes, l'intégration croissante des fonctions de sécurité, de contrôle et de surveillance permet le partage de données et des combinaisons de fonctionnalités auparavant impensables. Dans ce domaine, les variateurs de fréquence ne sont pas en reste, offrant un éventail complet de fonctions, depuis l'arrêt sécurisé jusqu'à une surveillance plus poussée, qui ouvrent de nouvelles perspectives en matière de sécurité des machines.



La sécurité est primordiale. Les législations nationales des pays membres de l'Union européenne (UE) imposent aux machines de respecter des exigences essentielles en matière de santé et de sécurité. Toute nouvelle machine mise sur le marché de l'UE doit respecter les mêmes exigences légales relevant de la responsabilité de son constructeur ou de son importateur.

À l'origine de l'harmonisation des obligations nationales se trouve la directive Machines 2006/42/EC (qui a remplacé le 29 décembre 2009 l'ancienne directive 98/37/EC). Elle vise à s'assurer du niveau de sécurité d'une machine qui doit être conçue et construite de telle façon que son exploitation, sa configuration et sa maintenance présentent un minimum de risque pour les personnes et l'environnement, tout au long de son cycle de vie.

Selon ces exigences, les constructeurs ou leurs mandataires doivent évaluer, recenser et documenter tous les risques et en tenir compte lors de la conception de leurs machines. Chaque risque doit être ramené à un niveau acceptable par des modifications apportées à la conception ou par des moyens de protection *ad hoc*. Après mise en œuvre de toutes les mesures de réduction des risques, tout risque résiduel doit être documenté. La méthodologie de

réduction des risques et de conformité aux exigences peut notamment s'appuyer sur les textes normatifs harmonisés couverts par la directive.

Lorsque les machines sont conçues et réalisées conformément aux normes harmonisées de référence, on suppose qu'elles respectent les exigences essentielles de santé et de sécurité. Dans ce cas, elles ne doivent en général pas être certifiées par une tierce partie. Le constructeur déclare lui-même la conformité à la directive dans sa documentation technique et appose le marquage CE attestant la conformité aux exigences définies.

Les normes harmonisées aident également le constructeur à déterminer le champ d'application de sa machine, ses limites d'exploitation, ses dangers potentiels ainsi que les moyens pour analyser et évaluer les risques. Elles aident à les identifier et à décider si ces risques doivent être réduits ; elles proposent également une stratégie pour les ramener à un niveau acceptable.

La méthode la plus efficace pour réduire ou supprimer les risques ? Concevoir une machine « zéro risque » ! Si cela est impossible ou irréalisable, la mise en œuvre de protections matérielles ou de fonctions logicielles peut être la solution. En prime, elle peut souvent contribuer à accroître la

productivité et la disponibilité de la machine, à atténuer le comportement brusque du système de sécurité et à respecter les exigences légales. Les machines peuvent ainsi être arrêtées rapidement et sans danger ou, mieux encore, fonctionner à vitesse réduite pendant un temps donné pour limiter les risques.

Sur les sites où les personnes travaillent à proximité immédiate des machines, la sécurité fonctionnelle peut à la fois assurer leur sécurité et maintenir l'outil de production en exploitation. Lorsque les systèmes de sécurité sont intégrés aux équipements et procédés, la sécurité des biens et des personnes est garantie, et la productivité reste à un niveau élevé.

Des normes en phase avec l'évolution technologique

Dans un contexte d'évolution technologique et normative, les exigences relatives à la mise en œuvre des systèmes de sécurité ont dû être réactualisées. Auparavant, il était relativement aisé de concevoir des systèmes de sécurité selon la norme EN 954-1 (*Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité – Partie 1 : Principes de conception généraux*) qui fixait des règles simples de conception pour atteindre un niveau donné de sécurité (catégorie de sécurité). Cette norme basée sur une approche de



Le coût d'installation d'un système avancé à sécurité fonctionnelle intégrée est généralement inférieur à celui d'un système complété de dispositifs externes, surtout s'il nécessite plusieurs fonctions de sécurité.

cause à effet met l'accent sur l'utilisation de méthodes et de composants éprouvés.

La norme EN 954-1, relativement simple, concerne principalement les systèmes mécaniques et électromécaniques. Elle ne couvre pas les systèmes de commande complexes ou électriques programmables aujourd'hui largement utilisés pour mettre en œuvre la sécurité fonctionnelle. L'approche déterministe de la conception de l'EN 954-1 a été remplacée par des concepts comme la probabilité de défaillance et la logique de cycle de vie. Ils s'intéressent donc à la durée de vie complète de la machine, depuis ses premières ébauches jusqu'à son démantèlement.

La période de transition pour l'EN 954-1 court jusqu'en décembre 2011, date à laquelle elle deviendra obsolète. Même si elle prolonge l'effet de présomption de conformité de la directive Machines jusqu'à fin 2011, cette norme est techniquement dépassée.

Les normes harmonisées modernes qui entrent dans le cadre de la directive Machines sont l'EN 62061:2005 (*Sécurité des machines - Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité*) pour les systèmes à commande électronique et l'EN ISO 13849-1:2008 (*Sécurité des machines - Parties relatives à la sécurité des systèmes de commande - Partie 1: Principes de conception généraux*)

pour différents types de systèmes relatifs à la sécurité (y compris les systèmes hydrauliques et pneumatiques, par exemple). Ces deux normes sont basées sur la norme « mère » CEI 61508-1 à 7 (*Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité*) qui définit les exigences et procédures générales de conception de systèmes de commande électriques/électroniques de sécurité.

Le service en plus

La mise en place de A à Z d'un système de sécurité pour une machine au titre des nouvelles normes peut être compliquée. Quelle norme utiliser? Comment procéder? Comment effectuer les calculs requis et valider les conceptions? etc. Par conséquent, le secteur du conseil en sécurité est en plein essor. De plus, les fournisseurs de composants doivent assister leurs clients dans la conception de leurs fonctions de sécurité. Selon les prévisions, les entreprises qui, outre leur offre de composants, proposent à leur client de les accompagner dans leur démarche et de partager leurs connaissances renforceront leur position sur le marché. Ce type de prestation pourrait bien devenir obligatoire pour vendre leurs produits de sécurité et la clé de leur réussite.

Sécurité fonctionnelle et variateurs de fréquence

Les progrès accomplis en électronique de commande ont également fait évoluer les

fonctions de sécurité réalisées par les variateurs de fréquence. Les systèmes d'automatisation mettant en œuvre des variateurs utilisent traditionnellement des relais de sécurité électromécaniques, avec une double mission: d'une part, surveiller les dispositifs de sécurité tels que les fins de course et les boutons d'arrêt d'urgence et, d'autre part, actionner les contacteurs servant à couper en toute sécurité l'alimentation des variateurs et/ou des moteurs lors du franchissement de certaines valeurs paramétrées.

L'électronique occupe une place croissante dans les systèmes modernes de sécurité des entraînements électriques à vitesse variable. L'évolution est telle qu'une nouvelle norme sur les exigences de sécurité fonctionnelle des systèmes d'entraînement EN (CEI) 61800-5-2:2007 (*Entraînements électriques de puissance à vitesse variable - Partie 5-2: Exigences de sécurité - Fonctionnalité*) a été harmonisée en 2008. Elle fixe des exigences de conception des systèmes de sécurité pour les entraînements et normalise également un certain nombre de fonctions de sécurité pour les variateurs. Ses définitions aident à harmoniser la terminologie pour commercialiser ces fonctions.

Les contacteurs qui arrêtent le moteur en cas d'urgence ou l'empêchent de démarrer sont devenus inutiles grâce à la nouvelle fonction STO (*Safe Torque-Off*) intégrée au circuit de puissance du variateur:

en interdisant au moteur de produire un couple, elle prévient le démarrage intempestif de la machine entraînée.

La productivité de la machine ou de la ligne de production peut ainsi être renforcée en utilisant cette fonction pour arrêter en toute sécurité le moteur sans couper son alimentation ni sectionner le bus continu commun (CC) du variateur. L'entraînement peut ainsi rapidement être redémarré sans avoir à précharger son bus CC ou rétablir les paramètres de commande.

Si des fonctionnalités plus poussées sont requises, l'option STO peut être complétée de fonctions de surveillance avancées. Parmi les dispositifs externes, citons les relais temporisés ou les systèmes de sécurité configurables, solutions intermédiaires entre les automates et les relais électroniques de sécurité. Aujourd'hui, ces systèmes permettent de réaliser, dans les variateurs, de nombreuses fonctions de sécurité normalisées CEI 61800-5-2. Il s'agit notamment des différentes catégories d'arrêt d'urgence (catégories 0, 1 et 2 de la CEI 60204-1), des vitesses limitées et de sécurité SLS (*Safely-Limited Speed*), du sens de rota-

Les dispositifs de sécurité externes sont généralement câblés et configurés spécialement pour le variateur. Le développement d'une application impose le plus souvent de câbler et de configurer les deux appareils séparément pour bien fonctionner ensemble au prix, toutefois, de considérables efforts de conception, d'installation et de mise en service du système. Le fournisseur du variateur doit par conséquent fournir à l'utilisateur des instructions claires pour la configuration.

Si les fonctions de sécurité doivent communiquer, le système nécessite souvent deux bus de terrain distincts, l'un dédié à l'échange des données de sécurité et l'autre à la commande du variateur. À l'opposé, les systèmes de sécurité configurables, souvent dotés d'un grand nombre d'entrées et de sorties (E/S) supplémentaires, peuvent assurer des fonctions de commande pour d'autres systèmes génériques de machine en dehors du périmètre de sécurité normal.

Étape suivante logique: s'affranchir des dispositifs externes en intégrant la sécurité fonctionnelle dans le variateur lui-même. Les avantages sont nombreux: réduction du câblage, libération des E/S du varia-

teur, gain de place et configuration à partir d'un point unique avec un seul jeu d'outils. Les fonctions de sécurité intégrées étant spécifiques au variateur, la mise en service consiste essentiellement en un paramétrage de valeurs et d'options. Plus besoin de programmer les fon-

ctionnalités de base: un réel progrès sur les systèmes externes qui nécessitent la programmation par blocs de la logique fonctionnelle. De surcroît, une seule connexion bus de terrain peut servir à échanger à la fois des signaux de commande et de sécurité. Le niveau global de sécurité fonctionnelle est optimisé lorsque les fonctionnalités de commande et de sécurité du variateur échangent des données d'état sur un bus. Et il va sans dire que le système tout-en-un précâblé est beaucoup plus fonctionnel.

Cette intégration des fonctions de sécurité dans les variateurs pose un défi aux constructeurs. Néanmoins, le coût d'installation d'un système avancé à sécurité fonctionnelle intégrée est généralement inférieur à celui d'un système complété de dispositifs externes, surtout s'il nécessite plusieurs fonctions de sécurité.

Identifier ses vrais besoins

Les systèmes à sécurité intégrée sont fréquemment évoqués dans la presse professionnelle, les manifestations spécialisées et les publications scientifiques. Les fonctions de sécurité deviennent souvent un levier de différenciation pour les fournisseurs et un impératif pour les utilisateurs.

Il est vrai que la sécurité fonctionnelle peut contribuer à *booster* les performances et la productivité des machines tout en satisfaisant aux exigences réglementaires. Or il faut du temps pour véritablement comprendre les tenants et aboutissants des fonctions de sécurité, et s'assurer qu'elles répondent aux besoins réels de l'application.

De nombreux constructeurs travaillent actuellement sur les spécifications de leurs futures machines. L'offre de sécurité fonctionnelle actuelle n'est pas toujours bien comprise et le choix des clients est orienté par des besoins mal spécifiés. Cette méconnaissance débouche sur l'achat d'un grand nombre de fonctions de sécurité ou d'un niveau de sécurité maximal... au cas où on en aurait besoin! Pour l'acheteur, la connaissance des besoins et la pertinence du choix sont donc importants.

Même si les outils, les techniques et la réglementation ont évolué, la finalité première de la sécurité reste la protection des biens et des personnes. Un client avisé doit savoir faire la distinction entre battage marketing et avantages réels. ABB lui préconise donc de bien s'informer pour être fin prêt; nous restons à ses côtés pour l'aider et le guider dans ses choix.

Mikko Ristolainen

ABB Drives

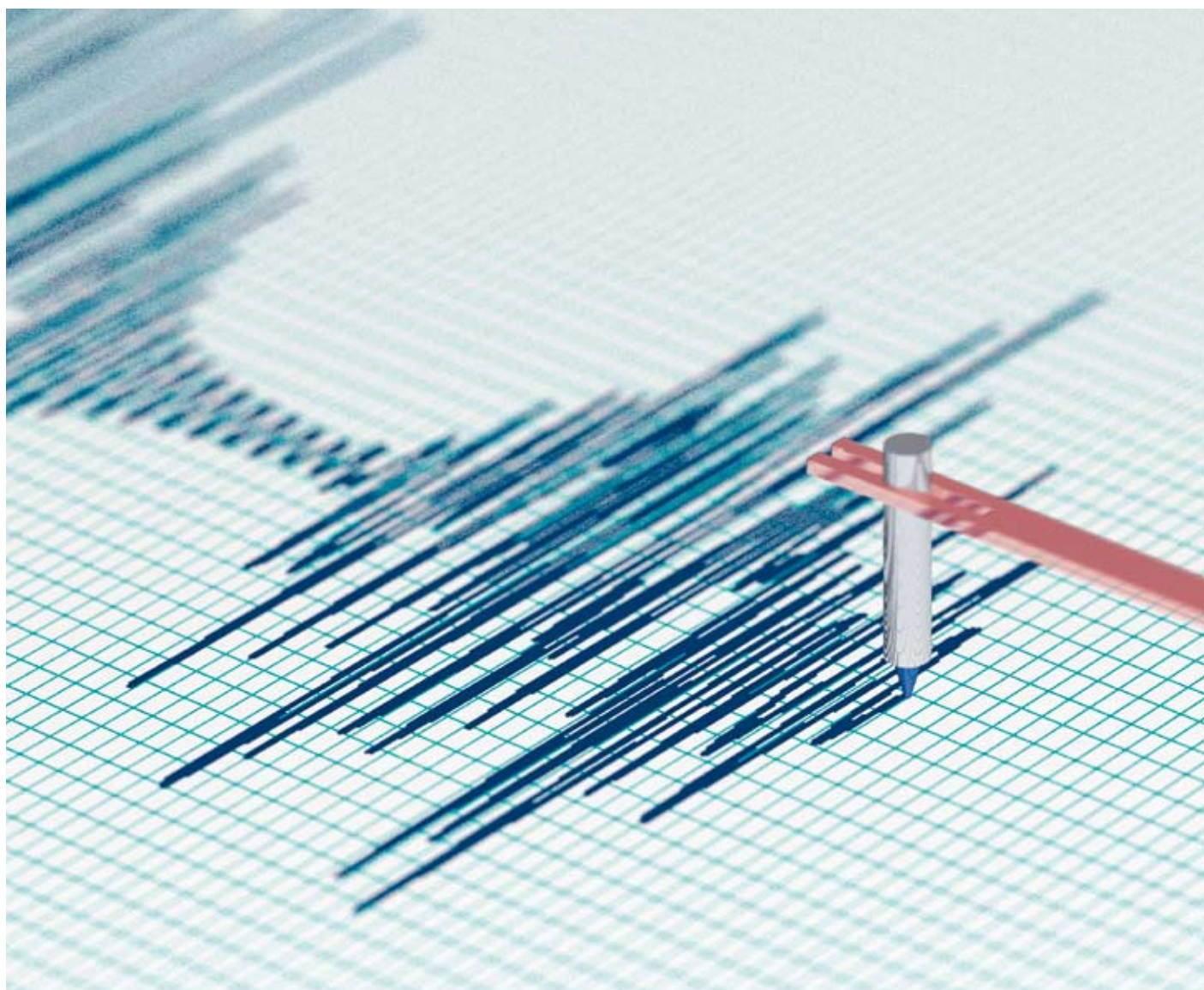
Helsinki (Finlande)

mikko.ristolainen@fi.abb.com

Les contacteurs assurant l'arrêt du moteur en cas d'urgence sont devenus inutiles grâce à la nouvelle fonction STO (*Safe Torque-Off*) intégrée au circuit de puissance du variateur.

tion de sécurité SDI (*Safe Direction*), de l'arrêt fonctionnel de sécurité SOS (*Safe Operational Stop*) qui immobilise le moteur, de la commande sûre du frein (mécanique) SBC (*Safe Brake Control*), etc., soit au total 17 fonctions de sécurité.

Ces systèmes configurables sont surtout intéressants lorsque plusieurs fonctions de sécurité sont mises en œuvre dans un même système. Si une seule fonction doit être assurée, des composants comme les relais temporisés ou deux relais à commande manuelle restent la solution la plus pratique.



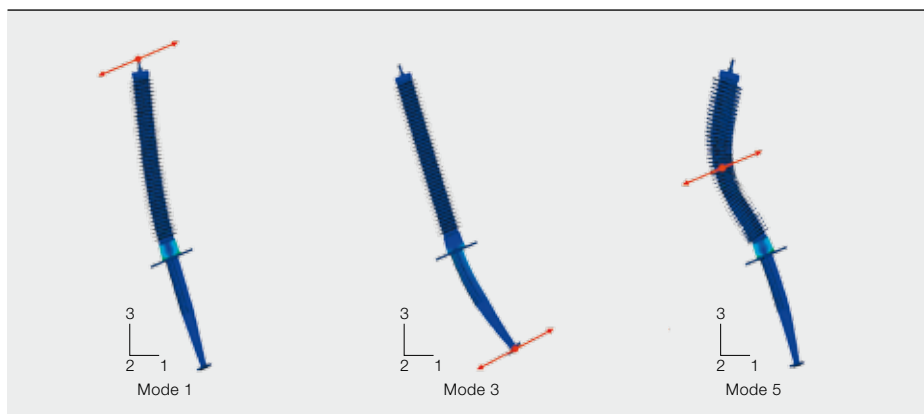
Secousses sismiques et équipements électriques

Des méthodes d'analyse ABB innovantes

ROBERT PLATEK, BOGUSZ LEWANDOWSKI – Les tremblements de terre peuvent faire d'énormes ravages parmi la population et gravement endommager les infrastructures. Outre les dégâts causés aux installations électriques, le temps nécessaire pour revenir à la normale se chiffre aussi en pertes d'opportunité et de productivité. Au demeurant, la construction antisismique ne cesse de progresser et les équipements électriques sont de plus en plus conçus pour résister à pareilles contraintes. La tâche des concepteurs n'en est pas pour autant facilitée : impossible d'installer un gros transformateur avec ses fondations, cuve, traversée,

couverture et raccords sur une table vibrante pour un test en « vraie grandeur » ! Sans compter que l'essai de chaque composant n'est pas forcément représentatif de ses performances sur l'appareil entièrement monté et que le liquide contenu dans le système modifiera encore la tenue sismique globale. Pour lever ces obstacles, ABB a développé d'ingénieuses méthodes d'essai et de simulation qui permettent de mieux comprendre la performance sismique de l'ensemble en vue de réaliser des transformateurs prêts à supporter sans dommages un séisme.

1 Trois déformées modales (amplifiées par un facteur d'échelle) d'une traversée de transformateur 230 kV SeismicRIP™



Plusieurs méthodes permettent d'analyser et d'évaluer la tenue sismique d'un appareillage électrique; elles se fondent habituellement sur le calcul statistique pour estimer les forces engendrées par un événement sismique, à une accélération du sol donnée, et les comparer aux capacités parasismiques de l'équipement. Ces données peuvent être déduites de calculs ou de mesures réelles.

Les deux grandes familles de normes internationales de référence sont l'IEEE 693-2005 [1] et la CEI 61463 [2]. La première aborde les procédures de qualification des équipements de postes électriques pour différents niveaux de performance sismique. Elle recommande vivement de qualifier ces équipements sur la structure porteuse qui sera utilisée sur le poste électrique en place.

La CEI 61463 est une spécification technique sur la qualification sismique des traversées de transformateur. Les traversées satisfaisant aux exigences de l'IEEE 693 sont, dans la plupart des cas, aussi conformes à la CEI 61463.

Même si les essais sur table vibrante sont fortement conseillés pour la qualification sismique des composants critiques, l'analyse numérique s'avère très

utile pour caractériser la tenue sismique de ces produits. A fortiori, quand les essais sont impossibles en raison du poids considérable de l'appareil (cas des transformateurs de puissance, par exemple), c'est le seul moyen de déterminer les propriétés dynamiques du système.

Traversées SeismicRIP™

Les structures complexes peuvent présenter différents modes de résonance¹ dans la plage sismique dangereuse, sur lesquels ABB effectue des analyses modales dynamiques. Les analyses numériques de la traversée de transformateur SeismicRIP™ à 230 kV, sous contraintes sismiques, ont fait appel à la méthode des éléments finis. Dans notre approche, l'étude structurale des événements sismiques se fonde sur l'analyse linéaire, à l'aide des modes de la structure jusqu'à une fréquence maximale

de 33 Hz. Une fois les modes de résonance identifiés, leur orthogonalité² permet de construire la réponse linéaire de la structure en la ramenant à celle d'un certain nombre de systèmes à 1 degré de liberté. Autrement dit, le comportement mécanique de la structure de la traversée exposée à un mouvement sismique du sol découle de la superposition linéaire de ses modes et fréquences propres d'oscillation. En fonction du spectre d'excitation, chaque fréquence propre peut influencer différemment sur le mouvement résultant → 1.

Les simulations montrent une très bonne concordance avec les mesures d'essai: les fréquences de résonance propres diffèrent d'un maximum de 1 à 4%. Pour des accélérations maximales au point de mesure, en partie haute de la traversée, l'écart se situe entre 3 et 14% [3]. Ces conclusions sont précieuses pour parfaire le développement des outils numériques de calcul sismique.

Système transformateur-traversées

Si l'on en croit bien des experts, le comportement dynamique d'une traversée est différent selon qu'elle est montée sur le transformateur ou testée à part; le fait

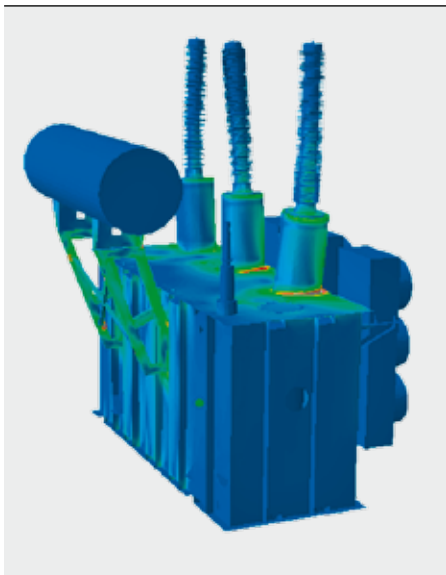
Les nouveaux outils de simulation devraient toujours être vérifiés expérimentalement pour en apprécier la précision, les avantages et les limites.

est que la réponse sismique de l'ensemble transformateur-traversée peut être influencée par ses interconnexions. En outre, le matériel installé sur le terrain

Notes

- 1 Modèle de mouvement dans lequel un corps vibre. Normalement, un corps peut vibrer selon plusieurs modes propres et superpositions de ces modes. Exemple: une poutre à extrémités encastées oscille sous la forme d'une demi-période de sinusoïde mais aussi d'ondes sinusoïdales de plus haute fréquence. Un solide complexe à 3 dimensions affiche bien plus de modes que son homologue simple à 1 dimension.
- 2 Propriété garantissant que les modes de vibration n'engendrent pas d'excitation mutuelle.

2 Distribution des contraintes sismiques dans un transformateur de puissance



3 Premières fréquences propres d'une traversée sur châssis rigide et sur transformateur de puissance

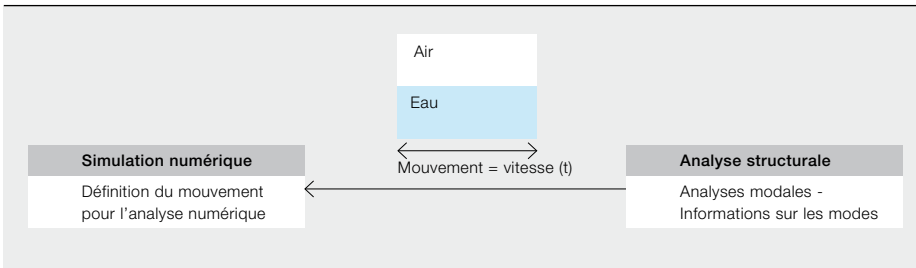
Mode	Fréquence (Hz)	
	Traversée	Traversée avec couvercle, isolateurs et cuve
1	14,13	7,08
2	14,13	7,38
3	-	8,36
4	-	8,74

peut provoquer des dégâts par le biais de ses connecteurs [4]. D'autres études sont nécessaires pour quantifier ces effets. La méthode des éléments finis, appliquée à la traversée SeismicRIP de 230 kV, semble être un bon domaine de recherche complémentaire pour appréhender la dynamique du système transformateur-traversée.

Les simulations réalisées sur traversée seule et sur matériel complet → 2 révèlent une différence de comportement dynamique : les fréquences de résonance propres des traversées simulées séparément sont différentes de celles des traversées montées sur transformateur → 3.

Il en ressort que les analyses sismiques complètes des traversées de transformateur exigent la prise en compte du système dans sa globalité.

4 Première étape d'une analyse sismique par interaction fluide-structure



Quid des interactions fluide-structure ?

De nombreuses études se sont attachées à décrire correctement la dynamique du système transformateur-traversées (cuve, couvercle, isolateurs et traversées [4, 5]), sans toutefois tenir compte de l'importance capitale du fluide de refroidissement. Certes, il existe des études sur l'influence d'un fluide sur la réponse sismique de réservoirs en hauteur [6] et sur ces structures utilisées dans les applications marines et le transport maritime [7], mais aucune de leurs conclusions ne vaut pour le comportement dynamique d'un système transformateur-traversées.

On songea donc à étudier l'influence du fluide sur les caractéristiques dynamiques à l'aide de l'interaction fluide-structure. Cette démarche se fonde sur l'échange de données entre les outils de simulation modélisant l'écoulement et la mécanique du fluide.

Approche couplée fluide-structure

L'analyse sismique globale (balayage sinusoïdal, accélérogramme et excitation sinusoïdale) est complexe. L'essai par balayage sinusoïdal, dans lequel les modes et leurs déformées sont identifiés, doit pouvoir modéliser le fluide sous la forme d'un milieu acoustique. Une première étape consiste à définir les conditions initiales (mouvement) des analyses de simulation numérique d'écoulement des fluides → 4.

L'interaction fluide-structure est ensuite intégralement appliquée → 5. Dans la partie simulation numérique, la structure (cuve) est modélisée avec le fluide, tandis que dans les calculs de structure, elle est traitée à part. La simulation numérique sert aussi à étudier les effets de l'écoulement d'air sur le fluide. Les efforts exercés sur les parois de la structure sont alors transmis à l'outil structural et utilisés comme conditions aux limites. La nouvelle forme de la structure est à son

tour renvoyée à la simulation numérique, qui prépare la mise à jour du maillage pour le pas de temps suivant. On obtient les efforts, contraintes et déformations de la structure en tenant compte de la dynamique des fluides.

Vérification expérimentale de la méthodologie

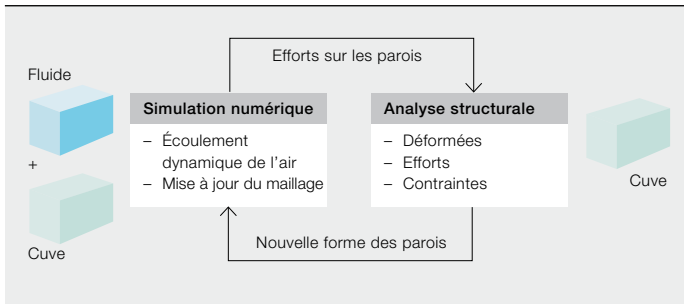
Les nouveaux outils de simulation devraient toujours être vérifiés expérimentalement pour en apprécier la précision,

Les simulations montrent une très bonne concordance avec les mesures d'essai : dans le cas de la traversée SeismicRIP, les fréquences de résonance propres diffèrent de 1 à 4 % maxi.

ainsi que les avantages et limites. Cette vérification fut notamment effectuée sur un prototype de transformateur de mesure combiné haute tension JUK 145 → 6a.

La simulation basée sur l'interaction fluide-structure (milieu acoustique) permet d'édifier un modèle 3D → 6b utilisé pour les analyses modales du transformateur → 6c. Les résultats de la mesure et de la simulation sont comparés en → 7.

Vinrent ensuite les tests de tenue sismique en laboratoire : le JUK 145 réussit les essais de qualification normalisés CEI 60068. Des simulations sismiques



7 Comparaison des fréquences propres (par mesure/simulation avec interaction fluide-structure)

Mode	Fréquence mesurée (Hz)		Fréquence calculée (Hz)	
	Sec	Dans l'huile	Sec	Dans l'huile
1	8,5	5,4	6,21	5,09
2	10,5	6,2	13,88	11,17
3	24,6	24	25,39	16,52
4	25,4		27,5	19,56
5			28,64	20,64
6			28,85	23,75

s'appuyant entièrement sur l'interaction fluide-structure sont envisagées afin de valider l'outil.

Encore plus loin

Les essais de traversées sur table vibrante ont prouvé la bonne performance générale de ces composants au titre de l'IEEE-693 [8]. La modélisation « éléments finis » appliquée aux traversées SeismicRIP montre son potentiel de prédiction de l'accélération et du déplacement relatifs avec une bonne précision pour

L'étude de l'influence du fluide sur la qualification sismique des produits remplis de liquide suit son cours. Il ne fait aucun doute que la démarche proposée est inédite et contribue à la compréhension du comportement dynamique des systèmes électriques afin d'améliorer leur tenue aux contraintes sismiques.

Le fluide de refroidissement influence nettement sur la performance sismique du combiné transformateur-traversées.

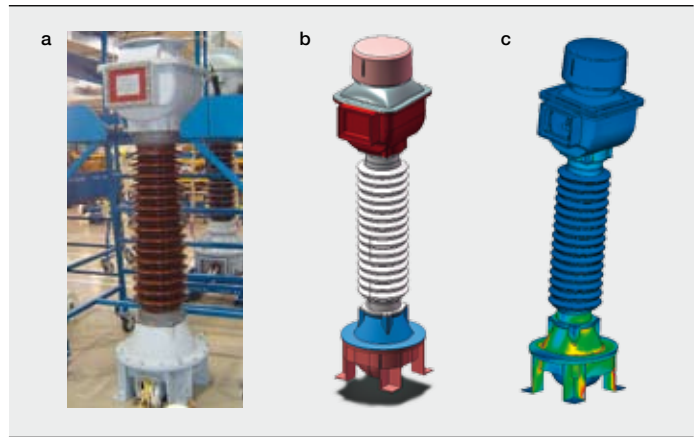
les qualifications sismiques [3]. Toutefois, il est impératif de dépasser ce stade pour comprendre les interactions sismiques entre matériels et fluides des postes électriques en vue d'améliorer la tenue aux séismes des postes électriques et des équipements remplis de liquide.

Robert Platek

ABB Corporate Research,
Cracovie (Pologne)
robert.platek@pl.abb.com

Bogusz Lewandowski

ABB High Voltage Products
Lodz (Pologne)
bogusz.lewandowski@pl.abb.com



6a Transformateur de mesure HT analysé

6b Modèle 3D du transformateur de mesure HT

6c Répartition des efforts durant le premier mode calculé

Bibliographie

- [1] Standard IEEE 693-2005, *IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substations*, IEEE Standard Department, 2005.
- [2] Spécification technique CEI 61463, *Traversées – Qualification sismique*, Luglio, 1996.
- [3] Rocks, J., Koch, N., Platek, R., Nowak, T., « Seismic Response of RIP-transformer bushing » *INMR World Congress on insulators, arresters and bushings*, Brésil, 2007.
- [4] Ersoy, S., Saadeghvaziri, M. A., « Seismic response of transformer-bushing systems », *IEEE Transaction on Power Delivery*, Power Engineering Society, IEEE, 19, p. 131–137, 2004.
- [5] Filiatrault, A., EERI, M., Matt, H., « Experimental Seismic Response of High-voltage Transformer-Bushing Systems », *Earthquake Spectra*, vol. 21, n° 4, novembre 2005.
- [6] Livaoglu, R., Dogangun, A., *Seismic evaluation of fluid-elevated tank-foundation/soil systems in frequency domain*, Karadeniz Technical University, Department of Civil Engineering, 61080, Trabzon, Turquie, 2005.
- [7] Warmowska, M., « Numerical simulation of liquid motion in a partly filled tank », *Opuscula Mathematica*, vol. 26, n° 3, 2006.
- [8] Whittaker, A. S., Fenves, G. L., Giliani, A. S. J., « Evaluation of seismic qualification procedures for high-voltage substation equipment », *Proc. Structure Congr. Expo.*, in Chang, P., Ed. Washington, DC, 2001.



Semi-conducteurs de puissance et transport électrique

Ossatures des réseaux du XXI^e siècle

CLAES RYTOFT, PETER LUNDBERG, HARMEET BAWA, MARK CURTIS – La filière électrique évolue rapidement sous les effets conjugués de l'augmentation croissante de la demande, de la montée en puissance des énergies renouvelables (EnR), souvent éloignées des consommateurs, de la quête d'efficacité énergétique et de qualité de la fourniture. Les progrès des semi-conducteurs et leur emploi dans diverses applications bâties sur l'électronique de puissance facilitent ces nombreuses mutations. Ces composants sont au cœur des équipements de commutation qui régulent le courant électrique et adaptent sa forme d'onde et sa fréquence aux exigences de chaque application. Clef de voûte du génie électrique, l'électronique de puissance façonne les réseaux du futur.

De tout temps, les réseaux électriques ont été construits autour de grosses centrales produisant une électricité stable et modulable en continu. Cet écoulement de puissance unidirectionnel, du producteur au consommateur, était maintenu malgré les fluctuations horaires de la demande. Celles-ci sont toujours de mise mais l'injection accrue d'EnR pour réduire la pollution par le CO₂ oblige aussi les réseaux à compenser les aléas de la fourniture. L'intermittence et la variabilité des EnR (solaire, éolien, etc.)

accentuent le besoin de stocker cette énergie et de recourir à des systèmes permettant de coordonner sources de production et profils de consommation.

Le négoce d'électricité permet, jusqu'à un certain point, d'accorder l'offre à la demande de puissance. Reste que le transport efficace de l'électricité, des générateurs aux utilisateurs, entre réseaux voisins, éventuellement sur de longues distances et dans les deux sens, soulève des difficultés, encore exacerbées par l'envolée de la demande qu'il faut satis-

faire tout en diminuant les émissions de gaz à effet de serre. La double nécessité de monter en puissance pour subvenir aux besoins du véhicule électrique et d'affiner la gestion de la demande ajoutera à la complexité de l'enjeu mais donnera aussi l'impulsion pour déployer des réseaux plus réactifs, plus souples et plus fiables.

Les semi-conducteurs sont au cœur de nombreuses technologies électroniques de puissance qui façonnent les réseaux du futur.

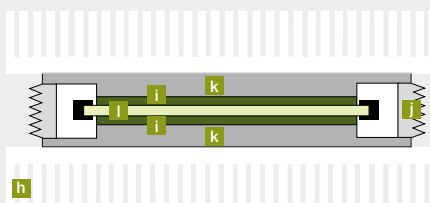
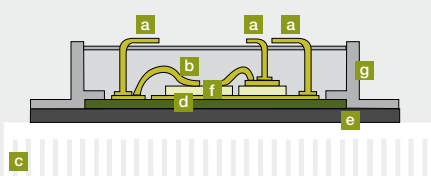
ABB est à l'origine de plusieurs technologies ayant permis à la filière de concilier ces objectifs. Celles-ci reposent sur les semi-conducteurs de puissance, qui ont récemment amené le Groupe à étendre ses capacités de production. La fabrication et le développement continu de semi-conducteurs de puissance spécialisés confortent son *leadership* technologique dans ce domaine. ABB accompagnera la filière énergétique dans le développement de réseaux flexibles, performants et fiables, grâce à des solutions novatrices basées sur des semi-conduc-

1 1 Techniques d'encapsulation

Dans un boîtier isolé, le semi-conducteur → f est isolé galvaniquement du radiateur → c. Les contacts électriques dans le module sont réalisés par fils de métallisation. En cas de défaillance du dispositif, ces fils tendent à s'évaporer, le module cessant d'être conducteur. Dans un boîtier pressé, le courant de charge pénètre par une surface → k et est évacué par l'autre. La faible résistance électrique et thermique des contacts est garantie par une forte pression mécanique exercée sur les deux surfaces. En cas de défaillance, le semi-conducteur au silicium → l et le molybdène → i fondent, et le courant peut continuer de circuler dans le module.



- a Bornes de puissance et de commande
- b Fil de métallisation
- c Radiateur
- d Céramique (en général AlN)
- e Semelle (en général AlSiC)
- f Semi-conducteur
- g Boîtier
- h Radiateur
- i Compensation CDT¹ (Mo)
- j Boîtier (céramique)
- k Cuivre
- l Semi-conducteur



La quasi-totalité des semi-conducteurs de puissance est en silicium ; néanmoins, l'optimisation poussée de cette technologie a rapproché toujours plus les performances du matériau de ses limites physiques, restreignant d'autant les potentiels d'amélioration de la filière. Par contre, la technologie des boîtiers offre encore de considérables marges de progrès.

Il existe deux grands types de boîtier pour semi-conducteurs de forte puissance : le boîtier isolé (ci-dessus à gauche) et le boîtier pressé (droite). Principale différence : dans le premier, le semi-conducteur est isolé galvaniquement du radiateur par un isolant céramique ; dans le second, le courant circule verticalement dans tout le module, y compris dans le radiateur.

Tous deux conviennent indifféremment aux transistors bipolaires à grille isolée (IGBT) et aux thyristors intégrés commutés par la gâchette (IGCT). Pourtant, dans la pratique, ces derniers ne sont proposés qu'en boîtier pressé, alors que les IGBT acceptent les deux variantes. Le boîtier isolé prédomine dans les systèmes de faible puissance, inférieurs à 1 MW pour la plupart, car le circuit électrique, moins complexe, peut être réalisé à moindre coût. Le boîtier

pressé se réserve les puissances supérieures à 10 MW. Plusieurs raisons expliquent ce partage du marché ; on en retiendra deux principales :

- Dans les systèmes de très forte puissance, les semi-conducteurs doivent être mis en parallèle et/ou en série. Les boîtiers pressés ont l'énorme avantage de permettre la connexion des modules par simple empilage avec radiateurs interposés. C'est le cas, par exemple, des stations de conversion CCHT qui peuvent associer jusqu'à 200 modules en série.
- Le boîtier pressé est obligatoire dans les applications exigeant une circulation ininterrompue du courant (convertisseur à source de courant, par exemple). En cas de défaillance du semi-conducteur, les pièces polaires métalliques fondent, garantissant un parcours de courant de faible impédance. Inversement, dans le boîtier isolé, le courant circule dans les fils de métallisation qui s'évaporent sur une impulsion de courant élevé pendant un défaut, laissant le circuit ouvert.

Note

1 Coefficient de dilatation thermique

teurs de forte puissance → 1, conçus et développés pour améliorer les performances du transport électrique.

Renouvelables

En général, c'est loin des centres urbains et industriels, dans les régions les plus reculées du globe, que l'on trouve les EnR les plus fiables (vents forts, ensoleillement intense, masses d'eau en mouvement). Or le transit de cette éner-

gie sur de longues distances, via un réseau classique en courant alternatif (CA), est parfois moins efficace, voire irréalisable pour les câbles sous-marins reliant les éoliennes implantées en pleine mer au réseau terrestre. La difficulté tient au fait que le courant alternatif oscille 50 ou 60 fois par seconde (d'où une fréquence de 50/60 Hz), quel que soit le niveau de tension (basse, moyenne, haute ou très haute). À chaque cycle, le

câble CA se charge et se décharge à la tension réseau, le courant de charge étant proportionnel à la longueur du câble. Au-delà d'une certaine distance, il augmente démesurément au point de ne plus rien laisser à la puissance utile. Pire, bien avant cette limite, le transport CA n'est plus rentable. À l'inverse, un câble à courant continu (CC) ne véhicule pas de courant de charge : la totalité du courant est donc exploitable. Pour acheminer efficacement cette puissance sur de grandes distances, avec de faibles pertes en ligne, l'une des entreprises fondatrices d'ABB, ASEA, mit au point et inaugura au début des années 1950 une liaison CC de 30 mégawatts (MW) pour relier l'île suédoise de Gotland au continent → 2. Cette première traversée sous-marine marqua son époque par sa capacité à acheminer une électricité fiable et

ABB accompagnera la filière énergétique dans le déploiement de réseaux flexibles, performants et fiables.

économique avec de faibles pertes énergétiques ; elle donna lieu à de nombreux développements technologiques d'ABB visant à pallier la fragilité des valves à vapeur de mercure, dont la fonction est de redresser et d'onduler le courant, par de robustes solutions de transport électrique à base de semi-conducteurs de puissance.

Certaines mégapoles, dont Shanghai, Delhi, Los Angeles et Sao Paulo, misent aujourd'hui sur le transport en courant continu à haute tension (CCHT) longue distance (milliers de kilomètres) pour étancher leur soif d'électricité. ABB a également à son actif plusieurs liaisons câblées sous-marines CCHT interconnectant les réseaux électriques de l'Europe de l'Ouest, tel le projet NorNed reliant la Norvège aux Pays-Bas, ou encore le couplage de parcs éoliens marins au réseau CA à terre, comme le site *offshore* le plus éloigné de la côte, *Borwin 1*, à 128 km au large de l'Allemagne, en mer

2 Pose du câble de la liaison CCHT de Gotland (1954)



du Nord. Ces prouesses technologiques sont liées au développement d'une gamme de systèmes de transport CCHT satisfaisant à une panoplie d'applications spécifiques.

CCHT classique

Ce précurseur du CCHT utilisait au départ des valves à vapeur de mercure. Aujourd'hui, la conversion de puissance fait appel à des thyristors (cf. «Semi-conducteurs: inventaire», *Revue ABB*, 3/2010, p. 27), reliés en série et assemblés en modules, chacun pouvant supporter une tension de 8,5 kilovolts (kV). Ces modules (en boîtier pressé) sont à leur tour connectés en série et empilés pour donner des valves à thyristors fonctionnant à tension maximale → 3. La fréquence de commutation de chaque thyristor, en CCHT classique, est de 50 Hz (ou 60 Hz). Ce système convient surtout au transport massif d'électricité sur des liaisons longues distances, tant terrestres que sous-marines, pour stabiliser l'interconnexion des réseaux, point faible du transport traditionnel en alternatif. Les liaisons CCHT affichent aujourd'hui de très hauts niveaux de puissance, des records de fiabilité, de faibles pertes de conversion et des équipements à moindre coût. Le CCHT jouera un rôle majeur dans l'émergence de ces réseaux du futur. ABB jouit pour cela d'une position de choix avec la capacité de produire tous les composants indispensables à leur édification: câbles, convertisseurs, transformateurs, semi-conducteurs, etc.

3 Valves à thyristors



Ultra haute tension

Depuis peu, les progrès technologiques ont ouvert la voie à des tensions de 800 kV. Ce «CCTHT» inaugure un nouveau thyristor de 15 cm et 130 cm², qui porte l'intensité normale à 4 000 A, sans affecter la fréquence de commutation.

Ces innovations constituent la plus grande avancée technologique des deux dernières décennies, en termes de performance et de capacité de transit. Pour preuve, la liaison CCTHT de 2 071 km entre la centrale hydroélectrique de Xiangjiaba (sud-ouest de la Chine) et Shanghai (est) délivre 6 400 MW d'électricité «propre» à quelque 31 millions de personnes → 4.

HVDC Light®

Dans les années 1990, le CCHT classique se dote d'une version ABB *légère*, baptisée «HVDC Light», dans laquelle les gros thyristors ont cédé la place à des transistors, plus contrôlables. HVDC Light autorise aussi le transport longue distance sur des câbles sous-marins et souterrains, ou des lignes aériennes à faible impact environnemental. Elle emploie des interrupteurs à semi-conducteurs ultrarapides, commandés par la gâchette, comme les transistors bipolaires à grille isolée «IGBT» (*Insulated-Gate Bipolar Transistors*), pour réaliser les convertisseurs à source de tension (CST) modernes, pièces maîtresses du CCHT capables d'injecter ou d'absorber rapidement de la puissance réactive. Leur remarquable capacité à stabiliser la tension alternative aux bornes a fait de cette technologie la parade idéale pour

4 Liaison CCTHT de 2 071 km reliant Xiangjiaba à Shanghai.



5 Module d'IGBT StakPak™

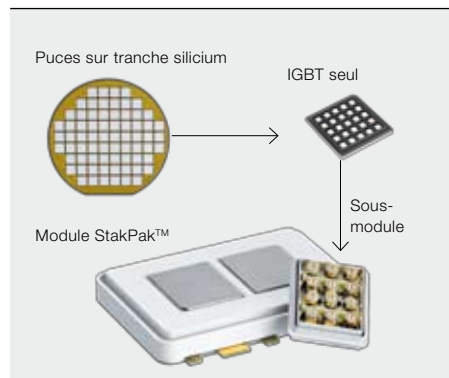


ABB a installé plusieurs interconnexions sous-marines CCHT entre divers réseaux électriques de l'Europe de l'Ouest, telle la liaison NorNed de 580 km reliant la Norvège aux Pays-Bas.



les parcs éoliens souffrant de graves perturbations de tension générées par les turbulences et les fluctuations de la vitesse du vent. Par son exceptionnelle souplesse et précision de commande, HVDC Light s'impose de plus en plus dans le raccordement des plates-formes pétrogazières à la côte et l'interconnexion des réseaux électriques.

Au demeurant, HVDC Light doit surtout sa maniabilité à ses assemblages d'IGBT. Comme les thyristors, ces composants peuvent être raccordés en série pour élever les niveaux de tension.

Néanmoins, à la différence de leurs prédécesseurs commandés par un courant de gâchette, les IGBT se contentent d'un faible signal de tension pour com-

200 Hz et 1 kHz maxi. Ce mode d'assemblage des IGBT donne un convertisseur électronique de puissance compact et très maniable pour stabiliser la tension, même dans les parties de réseau dépourvues de sources d'énergie complémentaires. La première installation HVDC Light remonte à 1997 avec la liaison Hällsjön-Grängesberg de 10 kV, à laquelle ont succédé de nombreuses stations de conversion; la plus importante peut aujourd'hui bloquer 4 000 A maxi en régime normal et supporter près de 18 kA en court-circuit → 7.

Transport flexible en courant alternatif

Le transport CA a toujours été confronté à des problèmes de puissance réactive. Cette composante de la puissance en alternatif est consommée par les condensateurs, transformateurs et moteurs asynchrones qui jalonnent le réseau CA. Ces appareils sont responsables de pertes électriques dues à la production de champs magnétiques (par les éléments inductifs du réseau) ou électriques (éléments capacitifs) qui font chuter la puissance utile (cf. *Revue ABB*, 3/2009, p. 35). On y remédie en commutant automatiquement des dispositifs de compensation de puissance réactive, tels que des batteries de condensateurs → 8 qui élèvent la tension réseau, en présence de charges inductives, ou des inductances qui consomment l'énergie réactive du

ABB occupe une position de choix dans l'édification des réseaux du futur avec la capacité de produire tous leurs composants clés, des câbles, convertisseurs et transformateurs aux semi-conducteurs de puissance.

muter. La réalisation d'un HVDC Light de 300 MW nécessite 6 000 modules StakPak → 5 connectés en série, alignant quelque 200 000 IGBT → 6; chaque StakPak intègre 2, 4 ou 6 sous-modules. La fréquence de commutation de l'IGBT, réglable en fonction de l'application, est normalement comprise entre environ

Liaisons	Stations de conversion	Mise en service
1 Hällsjön	2	1997
2 Hagfors (SVC)	1	1999
3 Gotland	2	1999
4 Directlink	6	2000
5 Tjæreborg	2	2002
6 Eagle Pass	2	2000
7 Moselstahlwerke (SVC)	1	2000
8 Cross Sound Cable	2	2002
9 Murraylink	2	2002
10 Polarit (SVC)	1	2002
11 Evron (SVC)	1	2003
12 Troll A	4	2005
13 Holly (SVC)	1	2004
14 Estlink	2	2006
15 Ameristeel (SVC)	1	2006
16 ZPSS (SVC)	1	2006
17 Mesnay (SVC)	1	2008
18 Martham (SVC)	1	2009
19 Liepajas (SVC)	1	2009
20 Siam Yamato (SVC)	1	2009
21 BorWin 1 (Nord E.ON 1)	2	2010
22 Caprivi Link	2	2010
23 Valhall	2	2010
24 Liepajas Metalurgs (SVC)	1	2010
25 Danieli – GHC2 (SVC)	1	2011
26 Danieli – UNI Steel (SVC)	1	2011
27 EWIP	2	2012

système (exprimée en VAR) et abaissent la tension réseau, sous charges capacitives. Faute de compensation locale de la puissance réactive, celle-ci se propage dans les lignes de transport, déstabilisant le réseau au risque d'engendrer la coupure d'alimentation totale. L'appellation «FACTS» regroupe un ensemble de technologies et d'équipements visant à renforcer la sécurité, la performance et la flexibilité du transport électrique sur les lignes existantes et nouvelles; ces dispositifs se raccordent en série avec le circuit à compenser, comme le condensateur «TCSC» (*Thyristor-Controlled Series Capacitor*) ou l'inductance «TCSR» (*Thyristor-Controlled Series Reactor*), tous deux commandés par thyristors, ou en parallèle, comme le traditionnel compensateur statique «SVC» (*Static Var Compensator*) et son successeur synchrone «STATCOM» (*STATIC COMPensator*). Ces équipements optimisent le transfert d'énergie et stabilisent la tension en compensant le réactif avec des semi-conducteurs de puissance.

8 Batterie de condensateurs



Compensation série

Les thyristors peuvent servir à commuter automatiquement des condensateurs (par des TCSC) ou des inductances (TCSR) pour stabiliser la tension. Les premiers se prêtent tout particulièrement à l'interconnexion des grands réseaux de transport : au Brésil, par exemple, l'énergéticien Eletronorte exploite depuis le printemps 1999 un TCSC et cinq condensateurs série fixes d'ABB au point de jonction en 500 kV de ses réseaux nord et sud → 9. ABB a installé près de 1 100 MVar de condensateurs série assurant la stabilité dynamique des deux systèmes raccordés.

Compensation statique

En CCHT classique comme en CCTHT, il faut recourir à des compensateurs statiques, au point de raccordement avec le réseau CA, pour injecter ou absorber du réactif. La raison en est que les liaisons CCHT ne peuvent transmettre que de la puissance active, barrant la route au réactif. Si cette barrière naturelle a l'avantage d'éviter, par effet domino, l'écoulement de réactif dans tout le réseau et le risque d'effondrement de tension et de panne générale, elle a aussi l'inconvénient de réduire les sources disponibles de puissance réactive. Pour combler ce déficit, il faut installer des SVC au point de jonction avec le CCHT afin de stabiliser le réseau à l'aide d'un dispositif local de consommation ou de production de réactif.

Les réseaux interconnectés qui favorisent les échanges d'énergie électrique transfrontaliers ont leur revers : une vulnérabilité accrue aux pannes en cascade. L'intérêt d'utiliser des systèmes CCHT pour relier les réseaux CA est double : on

9 Compensateurs série à thyristors (Imperatriz, Brésil)



l'a vu, ils font obstacle au transit de réactif mais permettent aussi de raccorder les grandes artères fonctionnant à des fréquences différentes et/ou des réseaux de même fréquence nominale mais sans relation de phase fixe (non synchrones) ; ces connexions se contentent d'une petite station CCHT dos à dos, regroupant onduleurs et redresseurs statiques dans le même bâtiment.

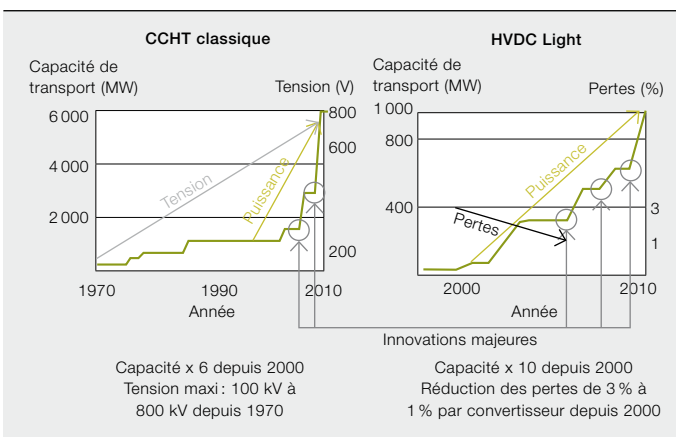
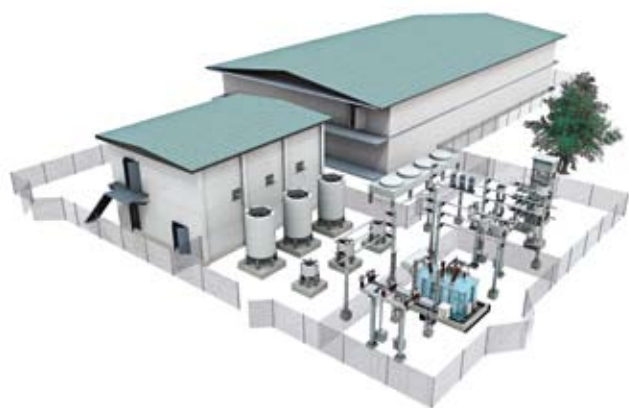
Compensation statique synchrone

Comme HVDC Light, SVC Light® s'appuie sur des IGBT pour remplir les fonctions de convertisseur à source de tension et de compensation rapide de la puissance réactive. C'est un compensateur statique synchrone (STATCOM), fonctionnellement assimilable à un SVC classique, à la différence près qu'il est bâti sur un CST et non des thyristors. Ses IGBT sont des modules StakPak reliés en série pour obtenir la tension requise → 10 ; leur commande plus pointue améliore la qualité du courant en atténuant les variations de tension du fait de charges très fluctuantes, comme les fours à arc, particulièrement gourmands en énergie active et réactive. Pour vite compenser ces appels variables de réactif, il faut un dispositif tout aussi véloce ! Les IGBT de dernière génération ont cette réactivité. Grâce à ces semi-conducteurs à amorçage et blocage commandables, aptes à gérer de fortes puissances, SVC Light peut répondre à la très grande dynamique des exigences de puissance réactive dans le réseau, de quelques dizaines à plus de 100 MVA.

10 Modules StakPak de SVC Light®



La nécessité de monter en puissance pour subvenir aux besoins du véhicule électrique et d'affiner la gestion de la demande ajoutera à la complexité tout en créant l'impulsion pour déployer des réseaux plus réactifs, plus souples et plus fiables.



La solution SVC Light à stockage d'énergie assure la régulation dynamique et indépendante des puissances active et réactive transitant dans le réseau.

SVC Light® et stockage d'énergie

L'accroissement de la part des EnR dans le mix énergétique accentue le risque d'instabilité du réseau. Pour renforcer sa stabilité et sa fiabilité, la dernière innovation d'ABB en matière de FACTS est un SVC Light à stockage dynamique d'énergie → 11 sur batteries lithium-ion. Ce nouveau dispositif peut fournir non seulement du réactif, tout comme un SVC Light ordinaire, mais aussi de la puissance active, se substituant ainsi aux dispositifs de soutien des réseaux de transport et de distribution pour maîtriser les pointes de consommation. À l'heure actuelle, il affiche une puissance assignée et une capacité de stockage avoisinant couramment 20 MW sur environ 15 à 45 min ; et les 50 MW durant 60 min sont d'ores et déjà à la portée de cette technologie.

Contrôle-commande informatisé MACH2™

L'électronique de puissance appliquée aux réseaux électriques est un moyen de bien gérer l'intensité et le sens du transit d'énergie. Des outils efficaces d'analyse, de protection et de conduite des liaisons CCHT ont été créés pour préserver et maximiser la performance des réseaux ; MACH2™ d'ABB en fait partie. Il intervient aujourd'hui dans la compensation de puissance réactive, le CCHT classique, SVC Light et d'autres applications pour commander la commutation très rapide et précise des semi-conducteurs en vue d'une régulation fine de la tension et de la puissance.

Les réseaux électriques du XXI^e siècle exigent un haut niveau de sophistication pour garantir la stabilité, la ponctualité et la fiabilité de la fourniture, malgré l'intermittence des EnR (éolien, solaire, énergie des vagues et des marées). Pour

alléger le poids de ces nouvelles contraintes, l'électronique de puissance multiplie les innovations et améliore sans cesse les performances des composants qui bâtiront les réseaux d'aujourd'hui et de demain.

Les solutions CCHT classique et HVDC Light ont connu une progression rapide au cours des dix dernières années → 12. Leur percée se poursuivra dans des projets visionnaires, tels Desertec, et dans l'avènement du transport électrique en courant continu.

Claes Ryttoft

ABB Power Systems
Zurich (Suisse)
claes.rytoft@ch.abb.com

Peter Lundberg

ABB Grid Systems
Västerås (Suède)
peter.lundberg@se.abb.com

Harmeet Bawa

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

Mark Curtis

Communication ABB
Zurich (Suisse)
mark.curtis@ch.abb.com



Départ-moteur intelligent

L'UMC100 est l'exemple parfait de départ-moteur modulaire, adaptable et intégré

PETER O. MÜLLER, ABHISEK UKIL, ANDREA ANDENNA – Les grands sites industriels comptent souvent plusieurs milliers de moteurs qui entraînent un large éventail de machines. L'arrêt inopiné ou brutal d'un moteur peut perturber la production et coûter très cher. Par conséquent, une gestion et une protection fiables du parc moteurs conditionnent la maîtrise de l'outil industriel. Actuellement, certains circuits d'alimentation de moteurs sont constitués d'éléments monofonctions comme, par exemple, un relais bilame pour la protection thermique du moteur. Dans ce cas, la mise en œuvre des fonctions de commande et de protection ainsi que leurs interverrouillages sont contraignants et compliqués car ils doivent être programmés dans l'automate. De même, les

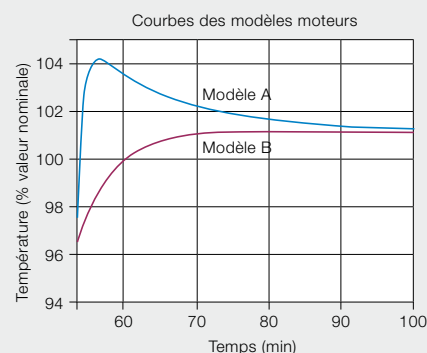
signaux de commande et de mesure sont transmis par des modules d'entrées-sorties (E/S) qu'il faut concevoir et câbler. Enfin, l'ajout d'une protection, comme la surveillance thermique des enroulements par sonde PTC, impose des dispositifs et un câblage additionnels. Toutes ces fonctions, et de nombreuses autres, sont désormais intégrées dans un seul appareil: le départ-moteur universel UMC100. Ce dernier assure des fonctions de commande, de protection, de diagnostic et de communication sur bus de terrain avec le système de contrôle-commande. Comparés aux démarreurs traditionnels, les départs-moteurs offrent de nombreux avantages sur le cycle de vie complet d'un site industriel.

Chaque départ-moteur intelligent a besoin d'un modèle moteur qui évalue l'échauffement de ce dernier pour le déclencher en cas de dépassement d'un seuil pré-réglé. Le choix de ce modèle est une étape clé de la conception d'un départ-moteur car il a un impact sur les performances de la fonction de base de l'appareil. Or cette conception suppose un compromis : d'une part, le modèle doit être aussi simple que possible car, trop complexe, il sera incompatible avec la plate-forme électronique du départ-moteur et comportera trop de paramètres difficiles à identifier et à régler par le client ; d'autre part, la température du moteur doit être évaluée avec une précision suffisante pour protéger correctement le moteur.

Les exigences minimales des modèles moteurs sont spécifiées dans la norme CEI 60947-4-1 [1] qui précise les durées minimale et maximale des surcharges ponctuelles pour différentes hauteurs d'axe en fonction du courant de déclenchement (« classes de déclenchement »). Par exemple, un relais ou un départ-moteur qui protège un moteur avec une classe de déclenchement 20 doit arrêter le moteur entre 6 et 20 secondes lorsque le courant de surcharge atteint 7,2 fois la valeur nominale.

La conformité à cette norme est une obligation minimale pour un départ-moteur intelligent. Un modèle trop simpliste ne tiendra pas compte de la dynamique thermique du moteur avec suffisamment de précision et ne déclenchera pas en cas d'échauffement excessif. Il faut savoir que la température des enroulements

d'un moteur est influencée directement par le courant statorique à cause de l'effet Joule et indirectement par la conduction thermique avec les autres parties du moteur. Un modèle moteur efficace (modèle A) doit tenir compte de cette double influence alors qu'un modèle plus simple (modèle B) se contentera de la seule influence qui prédomine. Les courbes ci-dessous sont celles de deux modèles d'un moteur tournant en surcharge pendant un temps donné avant sa mise hors tension et sa remise sous tension dès retour à la valeur nominale (courbe bleue pour le modèle A, rouge pour le modèle B). Dans ce cas précis, l'effet de la conduction thermique n'est pas négligeable car le moteur était en surcharge peu de temps avant et la température des enroulements peut avoir temporairement augmenté jusqu'à une valeur supérieure à la valeur nominale, ce que montre la courbe du modèle A plus complexe. Par conséquent, ce dernier protège plus efficacement le moteur.



La dynamique des marchés mondiaux est une des raisons qui poussent bon nombre d'entreprises à réduire leurs charges d'exploitation et leurs coûts de production tout en améliorant leur productivité et la qualité des produits. L'amélioration de l'efficacité énergétique est un autre enjeu prioritaire des industriels. En fait, la demande de solutions plus modulaires, adaptables et intégrées ne cesse de croître, obligeant de nombreux fournisseurs à repenser leur offre et à la faire évoluer dans ce sens.

Les solutions intégrées se banalisent rapidement en raison, d'une part, des progrès réalisés en intégration fonctionnelle et, d'autre part, de performances globales supérieures à la somme des performances de leurs éléments constitutifs. De plus, la tendance semble indiquer qu'elles joueraient un rôle décisif dans la pérennité d'une entreprise.

Depuis quelque temps, ABB mobilise d'importants moyens pour faire évoluer un nombre croissant de ses produits vers des solutions intégrées ; le départ-moteur intelligent UMC100 en est l'illustration probante.

Revue de détail

Le départ-moteur universel UMC100 (*Universal Motor Controller*) pour moteurs asynchrones triphasés réunit, dans un seul et même appareil, des fonctions de commande, de protection, de diagnostic et de communication sur bus de terrain.

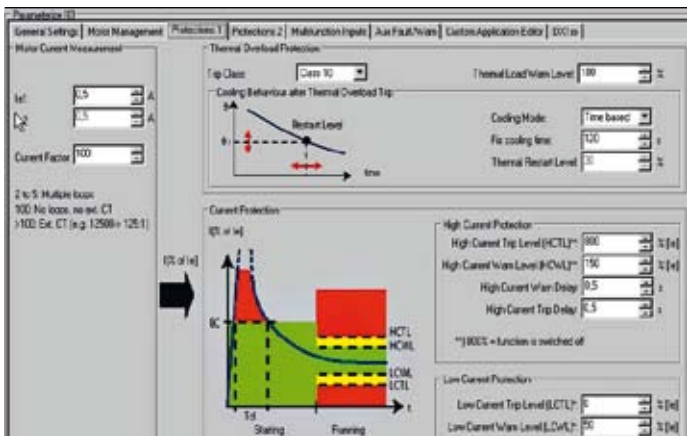
Il fonctionne de manière totalement indépendante et protège le moteur en toutes circonstances, même en cas de défaut des signaux de commande ou de rupture de la communication. Le système électronique de mesure très précis garantit un fonctionnement optimal des moteurs et un comportement prévisible en cas de défaut.

Les paramètres sont faciles à régler par le biais de fichiers descriptifs standards (GSD/EDS, par exemple), de l'interface homme-machine (micro-console) ou du gestionnaire DTM (*Device Type Manager*). Ce dernier permet le regroupement de paramètres associés, l'affichage graphique des paramètres et la consultation

de toutes les valeurs de mesure *via* une connexion établie avec l'appareil. L'écran de dialogue DTM servant au paramétrage de la protection à partir de la mesure du courant moteur est reproduit en → 1.

Toutes les fonctions de commande indispensables sont intégrées à l'UMC100. Facilement paramétrables, elles sont la clé de la souplesse d'adaptation du départ-moteur aux besoins de chaque client, avec une large plage de réglages. Toutes ces fonctions étant exécutées dans le départ-moteur, les besoins de programmation automate sont considérablement réduits. Des fonctions applicatives peuvent être personnalisées en utilisant la logique programmable de l'utilisateur → 2. Si des modules de départ-moteur existants doivent être réutilisés dans le système de contrôle-commande distribué, la position des signaux de commande et de surveillance peut également être adaptée, avantage réel lors de la modernisation d'installations plus anciennes.

1 Paramétrage de la protection avec l'écran DTM de l'UMC100

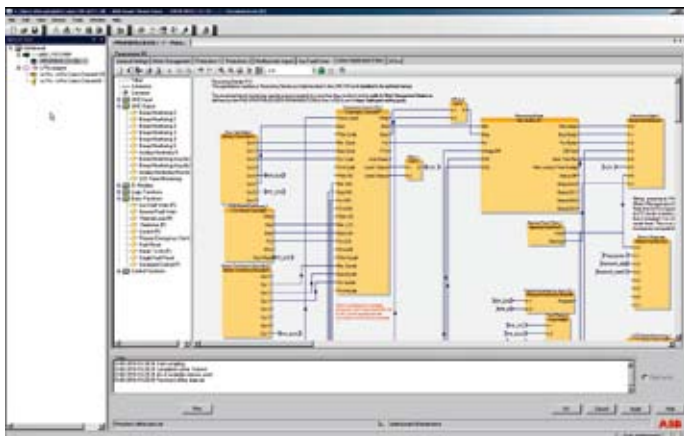


Quatre points de commande différents (bus de terrain, moteur lui-même, micro-console en façade d'armoire ou PC portable) sont disponibles. Pour chacun d'eux, la commande du moteur peut être activée ou désactivée selon le mode effectif (automatique ou local). La version de base comprend 6 entrées logiques, 3 sorties relais et 1 sortie de commutation 24 V. Pour les applications complexes nécessitant plus d'E/S ou des signaux spéciaux, des modules d'extension sont proposés.

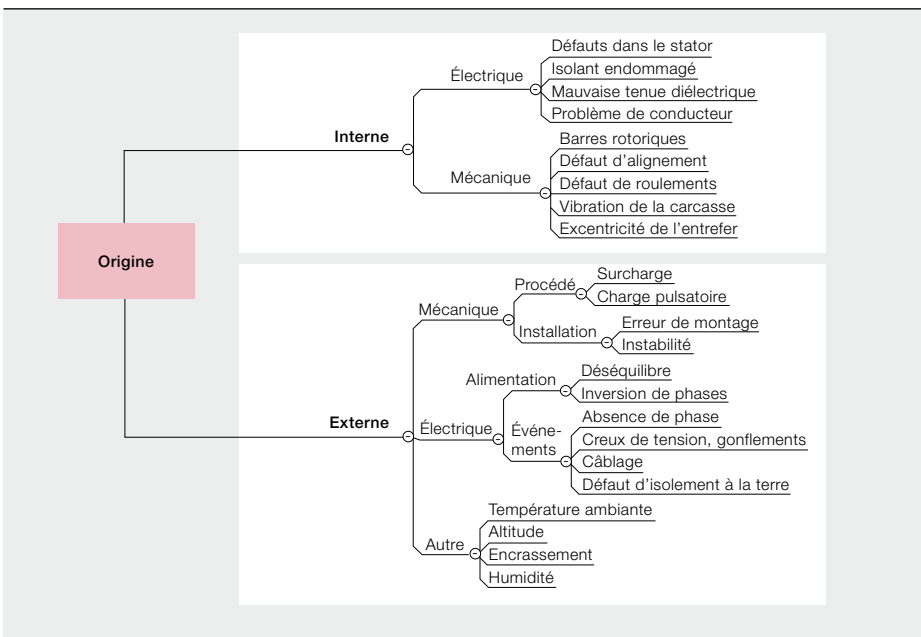
Le départ-moteur UMC100 pour moteurs asynchrones triphasés réunit, dans un seul appareil, des fonctions de commande, de protection, de diagnostic et de communication sur bus de terrain.

Les départs-moteurs sont souvent intégrés dans des architectures d'automatismes distribués. Utilisés dans le monde entier, ils doivent être multiprotocoles. C'est le cas de l'UMC100 qui communique sur les bus de terrain Profibus DP, DeviceNet, Modbus et CANopen. Pour autant, toutes ses fonctions restent opérationnelles, en mode autonome.

2 Éditeur de fonctions de commande personnalisées



3 Origine des défauts des moteurs asynchrones



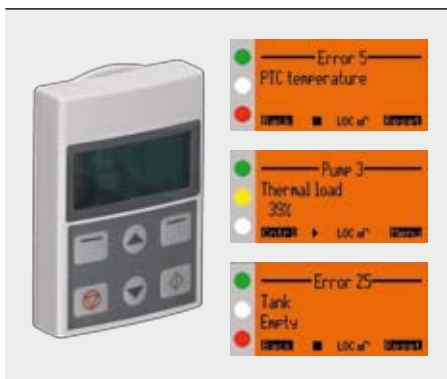
Le départ-moteur UMC100 couvre la plage de courant de 0,24 A à 850 A. Seuls les courants supérieurs à 63 A exigent un transformateur de courant externe supplémentaire qui joue en fait le rôle de diviseur de fréquence. Même pour les faibles valeurs nominales de courant, les conducteurs du moteur ne doivent traverser qu'une seule fois les transformateurs. Lors de la planification de l'installation, nul besoin de sélectionner différents types d'appareil selon le courant nominal du moteur. Il n'y a aucun risque de recouvrement des plages de mesure du courant. Globalement, le nombre de fonctions et d'éléments à mettre en œuvre par le planificateur est réduit, simplifiant le travail de préparation, la gestion des stocks et le dépannage.

Fonctions de diagnostic

La défaillance d'un moteur entraîne généralement l'arrêt d'une ligne de production et une envolée des coûts d'exploitation et de maintenance. Très souvent, les données de diagnostic ne sont exploitées qu'après défaillance pour en connaître l'origine. Un diagnostic complet et précis des moteurs asynchrones en environnement d'exploitation constitue un atout majeur pour éviter les défauts ou réagir très rapidement lorsqu'ils surviennent.

On distingue différents types de défaut moteur dont l'origine peut être externe et/ou interne, et liée à des problèmes électriques et mécaniques → 3. Pour diagnostiquer les défauts des moteurs asynchrones (en particulier ceux d'origine interne), les industriels utilisent actuellement la méthode d'analyse spectrale du courant statorique MCSA

4 La micro-console permet d'afficher toutes les données sur site.



L'UMC100 ouvre grand la porte à une stratégie de maintenance prédictive qui, jusqu'à une date récente, imposait des mesures spéciales et coûteuses.

(Motor Current Signature Analysis) [2,3]. Or, pour des raisons de coût, les diagnostics MCSA sont plutôt réservés, par exemple, aux gros moteurs et aux systèmes d'entraînement à vitesse variable plus complexes et onéreux. L'analyse d'autres problèmes, comme les défauts de roulements, est également très instructive. Pour autant, il est possible que l'incidence directe de ces défauts sur le circuit électrique d'un moteur asynchrone soit faible et donc difficile à détecter par analyse MCSA. C'est pourquoi des méthodes comme l'analyse vibratoire donnent également des résultats intéressants.

Au lieu d'avoir à configurer plusieurs systèmes de diagnostic pour être sûr de bien couvrir tous les défauts possibles du moteur, la solution idéale ne serait-elle pas un départ-moteur relativement bon marché incorporant les fonctions standards de protection et de diagnostic complétées de diagnostics en ligne du moteur ?

C'est précisément le cas de l'UMC100 dont les fonctions d'analyse et de test enregistrent en continu le nombre d'heures de fonctionnement du moteur, le nombre de démarrages et de déclenchements en surcharge, les données de diagnostic, le temps de démarrage du moteur et le courant de démarrage maximum, etc. Toutes ces données sont accessibles sur le bus de terrain et peuvent aider à planifier les interventions de maintenance. Ainsi, par exemple, un allongement du temps de démarrage peut révéler un fonctionnement en sous-régime de la charge raccordée. Par ailleurs, des informations provenant du modèle moteur aideront l'opérateur dans sa tâche. Exemple : si la charge thermique indiquée pour un moteur dépasse un seuil prédéfini, l'opérateur peut réduire la quantité de matière introduite dans un agitateur pour éviter un déclenchement.

Les fonctions de diagnostic avancées sont un des avantages majeurs des départs-moteurs intelligents. Celles de l'UMC100 sont accessibles à partir de sa micro-console, d'un portable de maintenance ou du bus de terrain. La défaillance d'un moteur doit pouvoir être diagnostiquée rapidement et complètement. L'expérience montre que même lorsqu'un PC portable se trouve à proximité, il n'est pas toujours disponible immédiatement.

Pour résoudre ce problème, la micro-console multilingue à écran LCD de l'UMC100, fixée sur la porte de l'armoire, affiche tous les paramètres et données d'état sous une forme facilement compréhensible → 4. Les messages de défaut apparaissent en clair et les entrées de défaut peuvent être configurées pour afficher des messages personnalisés. Plus besoin de PC portable pour la localisation des défauts !

La maintenance prédictive en ligne de mire

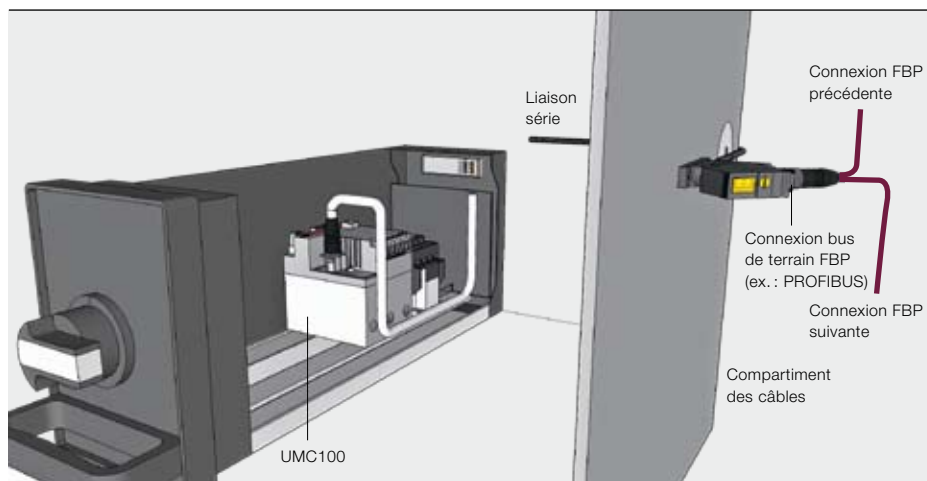
Utilisées avec les systèmes de contrôle-commande ABB, les fonctionnalités de surveillance d'actifs de l'UMC100 (*Asset Monitor*) aident à identifier rapidement l'origine d'un défaut : interne, câblage électrique externe, machine entraînée ou procédé. Pour ce faire, *Asset Monitor* récupère toutes les données de diagnostic du départ-moteur UMC100 à intervalles paramétrables et les classe selon les catégories suivantes de la recommandation NE107 de l'association NAMUR :

- Défaillance – le moteur est indisponible en raison d'un dysfonctionnement dans l'appareil de terrain ou sa périphérie (déclenchement en surcharge thermique, par exemple) ;
- Vérification de fonction – le signal de sortie est temporairement indisponible du fait d'une intervention en cours sur le circuit d'alimentation du moteur (position Test pendant la mise en service, par exemple) ;
- Hors spécifications – le circuit d'alimentation du moteur reste disponible mais est hors des limites spécifiées (courant moteur supérieur/ inférieur au seuil pré réglé, par exemple) ;
- Maintenance requise – le circuit d'alimentation reste disponible mais une intervention de maintenance est requise immédiatement (défaut de raccordement de la sonde PTC, par exemple).

Ces messages guident l'opérateur dans sa tâche au sein de l'usine sans le surcharger d'informations sur les différents équipements.

Le personnel de maintenance, quant à lui, accède facilement à toutes les informations sur la micro-console ou sur DTM via le bus notamment pour décider des moyens d'action à mettre en œuvre au niveau du site ou de l'équipement. Ces

5 L'UMC100-FBP s'enfiche dans un emplacement de l'armoire de commande à tiroirs extractibles alors que la connexion pour bus de terrain est à l'extérieur.



fonctions de surveillance et de bilan peuvent servir à collecter, regrouper, analyser et comparer ces données aux historiques afin de savoir, notamment, si le temps de démarrage du moteur a évolué. De surcroît, un début d'usure des dispositifs et composants peut être signalé et leur éventuelle défaillance être

tension extractible ou pour équiper les équipements existants d'un système moderne de gestion du parc moteurs → 5. Dans ces cas, une intégration directe de la connexion bus de terrain dans le départ-moteur obligerait à tirer une ligne de dérivation pour chaque appareil au risque de compromettre la stabilité de la

Le câblage est beaucoup plus rapide et moins fastidieux avec un appareil qui intègre les fonctions de protection, de surveillance et de commande.

identifiée plus aisément pour en informer la maintenance et lui permettre de mieux planifier les actions et minimiser les temps d'arrêt. Toutes les données de maintenance sont intégralement accessibles par bus de terrain ; au besoin, elles sont exploitables par les outils de gestion de maintenance existants.

En somme, l'UMC100 ouvre grand la porte à une stratégie de maintenance prédictive qui, jusqu'à une date récente, imposait des mesures spéciales et coûteuses. Grâce à l'UMC100, elle devient aujourd'hui économiquement viable pour de nombreuses applications.

L'intégration de long en large

La compacité et l'intégration du système de mesure permettent de monter les départs-moteurs dans les espaces les plus exigus, ce qui est un avantage énorme pour les armoires de faible encombrement à appareillage basse

transmission sur le bus. Pour y remédier, il faut réduire le débit de transmission, ce qui allonge les temps de cycle. Installer séparément le coupleur et le départ-moteur constitue donc la meilleure

solution : le premier, monté dans le compartiment des câbles, communique avec son départ-moteur situé dans le tiroir extractible. Le câblage est alors linéaire, sans dérivation. Cette configuration est aussi gage de sécurité de fonctionnement car lorsque le tiroir est retiré, l'adresse du coupleur ne se perd pas et la permutation accidentelle de tiroirs est automatiquement détectée!

Une solution hors pair

En fournissant en continu des données d'exploitation, de maintenance et de diagnostic sur le moteur au système de contrôle-commande, l'UMC100 favorise la détection précoce des perturbations et la prise de mesures appropriées pour prévenir ou tout au moins limiter leurs effets. La micro-console LCD ergonomique affiche toutes les données et permet de localiser rapidement les défauts sans utiliser de PC portable. La structure modulaire du départ-moteur procure des

avantages dès la phase de planification et de conception. Enfin, le câblage est beaucoup plus rapide et moins fastidieux avec un appareil qui intègre les fonctions de protection, de surveillance et de commande.

Comparé à la technologie traditionnelle, l'UMC100 se révèle être une excellente solution pour la gestion intelligente d'un parc de moteurs industriels avec de très nombreux avantages sur le cycle de vie complet du site de production.

Peter O. Müller

ABB STOTZ-KONTAKT GmbH
Heidelberg (Allemagne)
peter.o.mueller@de.abb.com

Abhisek Ukil

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

Bibliographie

- [1] Norme internationale CEI 60947-4-1, *Appareillage basse tension – Contacteurs et démarreurs de moteurs – Contacteurs et démarreurs électromécaniques*, Éd. 3.0, 9/2009.
- [2] Benbouzid, M. E. H., « A Review of Induction Motors Signature Analysis as a Medium for Faults Detection », *IEEE Transactions Industrial Electronics*, vol. 47, n° 5, 2000.
- [3] Thomson, W. T., Fenger M., « Current signature analysis to detect induction motor faults », *IEEE Industry Applications Magazine*, p. 26–34, juillet/août 2001.

Démarrreur ou variateur ?

Avantages comparés des démarreurs progressifs et des variateurs de fréquence pour la commande des pompes centrifuges

JUAN SAGARDUY, JESPER KRISTENSSON, SÖREN KLING, JOHAN REES – Dans les applications de pompage d'eau, les moteurs asynchrones d'entraînement des pompes centrifuges sont directement branchés sur le réseau électrique et les débits sont le plus souvent régulés par une vanne placée sur le refoulement, méthode au piètre bilan énergétique du fait de pertes de charge considérables. En modulant la vitesse de rotation du moteur, un variateur de fréquence régule les débits et économise l'énergie. Autre solution : installer un démarreur progressif qui démarre et arrête la pompe en fonction des besoins réels. De cette manière, elle ne tourne plus en continu mais uniquement pour pomper les volumes d'eau requis et est arrêtée le reste du temps. Variateur de fréquence ou démarreur progressif : laquelle de ces deux technologies procure les meilleures économies d'énergie et le temps de retour sur investissement le plus court ? Dans certaines applications de pompes en parallèle, la solution optimale combine les deux technologies.





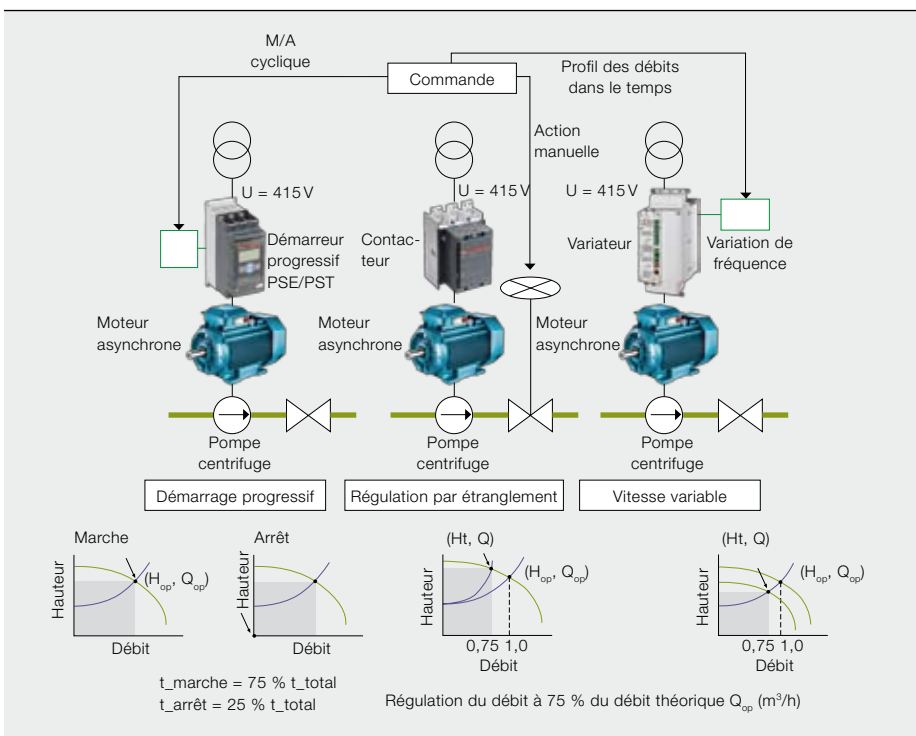
H_{bep} [m]	Charge hydraulique au point de rendement maximal de la pompe centrifuge
Q_{bep} [m ³ /s]	Débit au point de rendement maximal de la pompe
H_{st} [m]	Hauteur d'élévation totale (distance verticale d'élévation de l'eau pompée). Dans le cas d'un pompage d'eau dans un puits, elle correspond à la distance entre le niveau de l'eau à pomper et le niveau du sol plus la distance verticale entre le niveau du sol et le point de refoulement. Dans le cas d'un plan d'eau en plein air, il s'agit de la distance verticale totale entre la surface de l'eau et le point de refoulement.
Q_{op} [m ³ /s]	Débit théorique du réseau. En pratique, il est déterminé pour les pointes de débit occasionnelles (survenant pendant environ 5% du temps de fonctionnement des stations d'épuration).
H_{op} [m]	Charge hydraulique théorique
$H_{op,id}$ [m]	Charge hydraulique théorique d'un réseau idéal
H_t [m]	Charge hydraulique associée à un débit générique Q [m ³ /s] d'une pompe tournant à vitesse constante (régulation des débits par étranglement)
H_d [m]	Charge hydraulique associée à un débit générique Q [m ³ /s] d'une pompe commandée en vitesse variable (régulation électronique des débits)
H_{max} [m]	Hauteur maximale d'élévation du liquide par une pompe donnée
Q_{max} [m ³ /s]	Débit maximal d'une pompe donnée

1 Trois modes de commande des pompes et de régulation des débits

L'efficacité énergétique d'un produit ou d'un système oriente de plus en plus le choix des clients. Les constructeurs d'équipements électriques ne ménagent donc pas leur peine pour améliorer cet aspect de leur offre, d'autant que les clients veulent que l'argent investi et le coût de l'immobilisation de l'outil de production pendant l'installation et la mise en service de ces équipements soient compensés par les économies d'énergie réalisées.

L'engagement d'ABB en faveur de l'efficacité énergétique est incontestable et le Groupe consacre du temps, du savoir-faire et des ressources pour offrir les meilleurs produits basse tension (BT) du marché. Il a ainsi développé des variateurs de fréquence et des démarreurs progressifs¹ qui maximisent les économies d'énergie dans les applications de pompage d'eau et d'eaux usées.

Face à l'inefficacité de la régulation mécanique des débits par vannage (encore appelée étranglement), quelle solution



électronique, variateur de fréquence ou démarreur progressif, allège le plus la facture énergétique ? → 1 En réalité, c'est la nature du réseau hydraulique à pompe centrifuge qui est le facteur déterminant du choix de la solution.

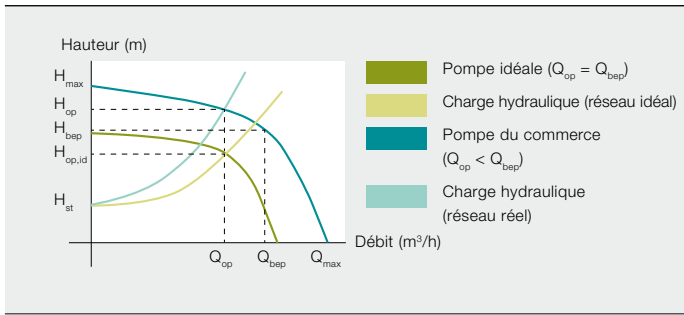
Dans les installations de traitement des eaux usées, par exemple, la commande marche/arrêt (M/A) des pompes centrifuges est en général dictée par les besoins applicatifs. Les eaux résiduelles (effluents issus des bâtiments résidentiels ou tertiaires) sont le plus souvent collectées dans des fosses septiques ou des égouts avant d'être pompées dans des stations d'épuration [1]. Le démarrage progressif des pompes → 2 réduit considérablement

2 Démarreur progressif PSE d'ABB pour applications de pompage



Note
 1 En modulant la tension appliquée, un démarreur progressif démarre le moteur sans à-coups. Lors de l'arrêt de la pompe, un algorithme spécifique contrôle la réduction du couple pour éviter les coups de bélier dans la tuyauterie.

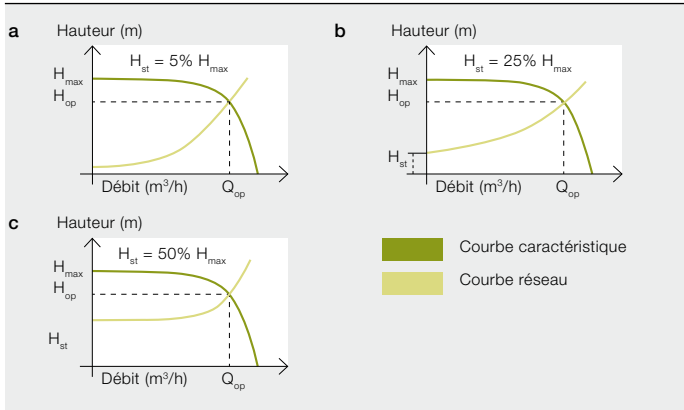
3a Sélection de la pompe pour une installation industrielle



4 Caractéristiques techniques des 2 pompes étudiées

Fabrication	Puissance (kW)	H_{max} (m)	H_{bep} (m)	Q_{bep} (m³/h)	η_{max} (%)
Aurora	90	43,6	27,6	575	74,8
Aurora	350	52,7	33,8	2 500	84,5

5 Réseaux hydrauliques sélectionnés pour analyser le potentiel d'économies d'énergie



- a Pertes de charge linéaires élevées
- b Réseau mixte
- c Hauteur d'élévation importante

les risques d'engorgement de ces dernières par les boues contenues dans l'eau. En général, leur commande M/A cyclique constitue une alternative attrayante à leur commande en vitesse variable malgré l'impossibilité d'agir sur les débits. En d'autres termes, un démarreur progressif est perçu comme une solution satisfaisante et économique qui atténue les contraintes électriques, les chocs mécaniques et les vibrations imposés au moteur lors de son démarrage et évite les à-coups de pression (coups de bélier) dans la tuyauterie lors de l'arrêt de la pompe. Qui plus est, le moteur fonctionne à son point de rendement maximal et est arrêté le reste du temps.

Nous nous proposons d'analyser et de comparer les économies d'énergie et le temps de retour sur investissement des deux solutions électroniques pour deux

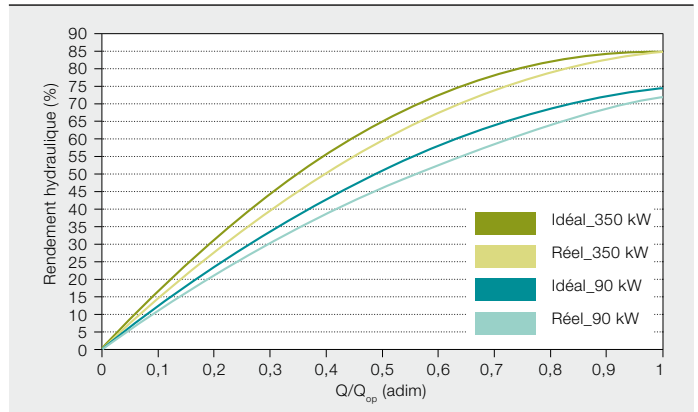
groupes de pompage centrifuge (90 kW et 350 kW).

Groupe de pompage type

Lors de la spécification d'un groupe de pompage, le débit visé Q_{op} [m³/h] doit être garanti. Dans l'idéal, le débit Q_{bep} [m³/h] de la pompe choisie doit coïncider avec Q_{op} . Or, dans la réalité, on surdimensionne la pompe → 3a qui fonctionne avec un rendement hydraulique réduit dans la majeure partie de sa plage de débit. Ce point est démontré en → 3b pour deux pompes centrifuges de fabrication Aurora d'une puissance nominale respective de 90 kW et 350 kW → 4 [2].

Pour analyser le potentiel d'économies d'énergie de ces pompes, trois réseaux hydrauliques différents ont été utilisés : réseau à pertes de charge linéaires élevées (rapport [v] de la hauteur d'éléva-

3b Chute de rendement hydraulique dans les pompes de 90 kW et 350 kW du fait d'un surdimensionnement de 15%



6 Variation du rendement électrique (%) dans un dispositif électronique (démarreur progressif et variateur) avec charge hydraulique

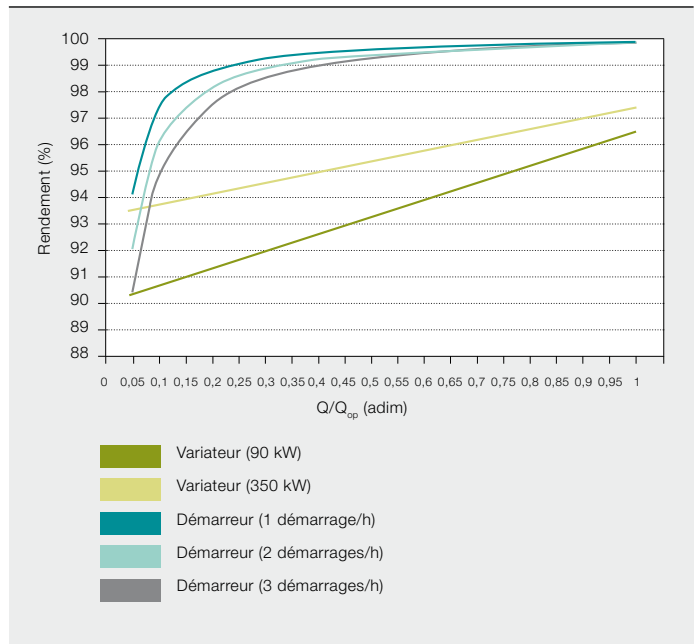
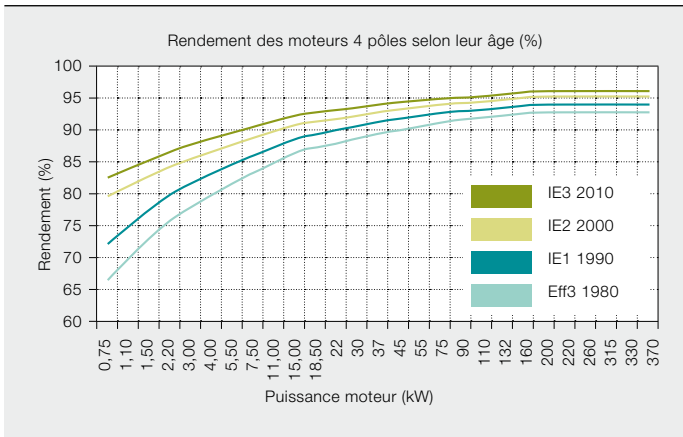
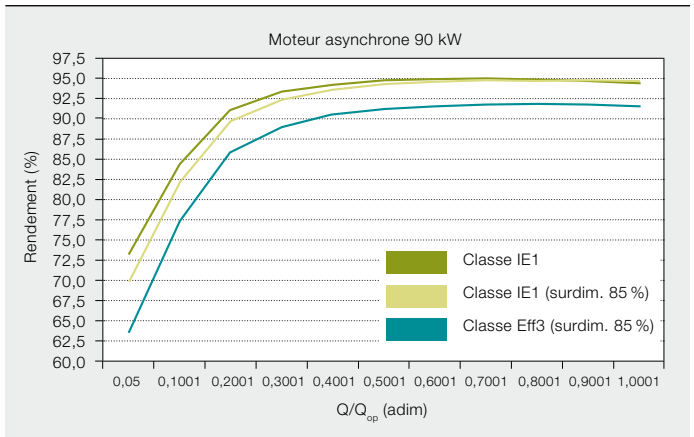


ABB investit du temps, du savoir-faire et des ressources pour offrir les meilleurs produits BT du marché, aptes à maximiser les économies d'énergie dans les applications de pompage d'eau et d'eaux usées.

7a Impact de la classe de rendement du moteur [4]



7b Variation du rendement du moteur selon la charge hydraulique



8 Incidence de différents facteurs sur la consommation électrique (Pn = 90 kW – fréquence de commutation 4 kHz)

Facteurs de chute de rendement (%)	Charge (%)				
	5 %	25 %	50 %	75 %	100 %
1 – Surdimensionnement de la pompe (15 %)	-1,3	-3,8	-6,0	-4,5	-2,1
2 – Surdimensionnement du moteur (15 %)	-3,2	-1,2	-0,4	-3,0	0,2
3 – Classe de rendement du moteur (Eff3)	-9,5	-3,4	-3,0	-3,0	-3,0
4 – Pertes harmoniques	-7,0	-2,1	-2,4	-1,9	-1,3
Augmentation de la consommation électrique (%)	26,5	11,7	13,3	10,3	6,6

tion H_{st} [m] sur la charge hydraulique maxi H_{max} [m] = 5 %), réseau à hauteur d'élévation importante ($v = 50\%$) et réseau mixte ($v = 25\%$) → 5.

Performances du variateur, du démarreur et du moteur

Les variateurs de fréquence affichent un rendement élevé (η_{var}) qui chute naturellement lorsque la puissance utile diminue par rapport à la valeur nominale. Le rendement des démarreurs progressifs atteint pratiquement 100 % lorsque le contacteur de bypass du moteur est activé. Leur rendement baisse de manière sensible avec le nombre de démarrages par heure et des intervalles de fonctionnement plus courts du fait des pertes par effet Joule supplémentaires pendant le démarrage et l'arrêt du moteur → 6.

Les normes actuelles imposent aux moteurs des valeurs de rendement élevées (classes de rendement CEI), en général supérieures à 90 %, pour les charges [3, 4] → 7a et → 7b. Ces rendements (qui varient fortement selon la classe) sont affectés par l'utilisation d'un variateur de fréquence ou d'un démarreur progressif. Ils diminuent lorsque les moteurs sont alimentés par des variateurs à commutation rapide, du fait des harmoniques de courant et de tension,

mais ne sont pas modifiés lorsque le contacteur de bypass du moteur prend le relais une fois le moteur lancé en raison de la tension sinusoïdale pure.

L'investissement initial total correspond au coût d'achat du variateur ou du démarreur plus un pourcentage du coût global pour couvrir les arrêts de production.

L'impact du surdimensionnement du réseau, de la classe de rendement du moteur et des pertes harmoniques (commande en vitesse variable) dans une installation réelle est donné en → 8.

Économies d'énergie

Les graphiques → 9a et → 9b comparent les économies d'énergie procurées par la commande en vitesse variable et le

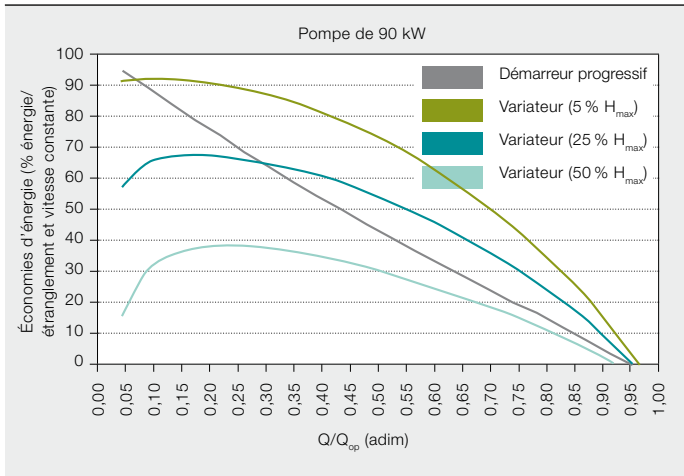
démarrage progressif de deux groupes de pompage (90 kW et 350 kW). Dans les réseaux à pertes de charge linéaires élevées ($v = 5\%$), la variation de vitesse induit plus d'économies d'énergie dans quasiment toute la plage de fonctionnement (7 à 98 %) pour les deux groupes de pompage. Par contre, dans un groupe de 90 kW caractérisé par une hauteur d'élévation importante ($v = 50\%$), le démarrage progressif est une meilleure solution pour tous les points de fonctionnement alors que pour le groupe de 350 kW, le variateur de fréquence garantit des économies d'énergie légèrement supérieures mais seulement entre 75 et 92 % de débit de pompage. Enfin, dans un réseau hydraulique mixte ($v = 25\%$), le variateur de fréquence est plus avantageux économiquement à des débits de pompage au-dessus de 28 % (90 kW) et de 24 % (350 kW). En fait, la variation de vitesse offre les meilleurs gains entre 15 et 20 % de débit de pompage.

Contrairement aux variateurs de fréquence (caractérisés par des pertes dans les semi-conducteurs à charge nominale), les démarreurs progressifs fonctionnent à charge nominale lorsque le contacteur de bypass est activé → 9c. Aucune perte supplémentaire n'intervient dans leurs thyristors. Les conditions d'exploitation et les spécifications de l'installation qui tirent le meilleur parti des démarreurs progressifs ou des variateurs de fréquence pour la régulation des débits de pompage sont illustrées en → 10².

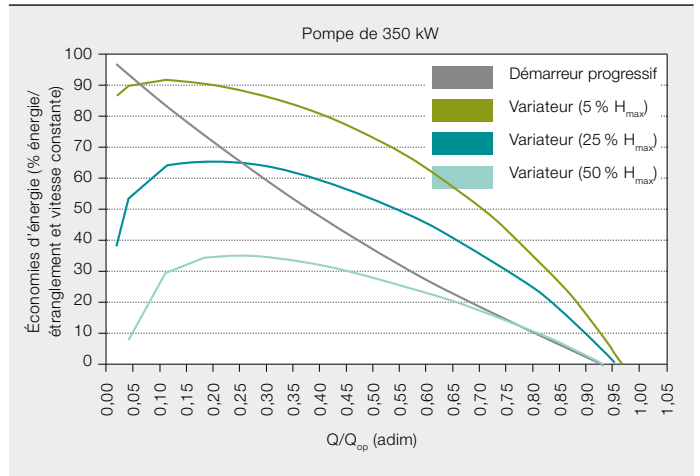
Note

2 Conversion des économies d'énergie en % (comparées à un moteur tournant à vitesse constante avec débits régulés par étranglement) en avantages économiques sur la base d'une pompe fonctionnant 8760 h/an (365 x 24) et d'un kW facturé 0,065 dollar [5].

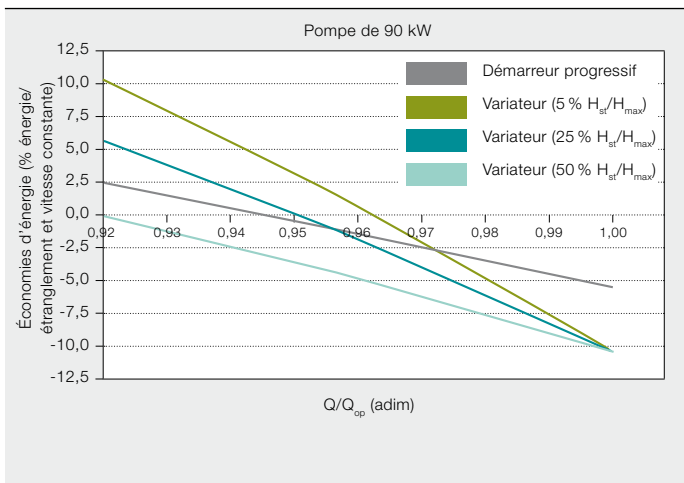
9a Économies d'énergie (%) procurées par la vitesse variable et le démarrage progressif dans un groupe de pompage de 90 kW.



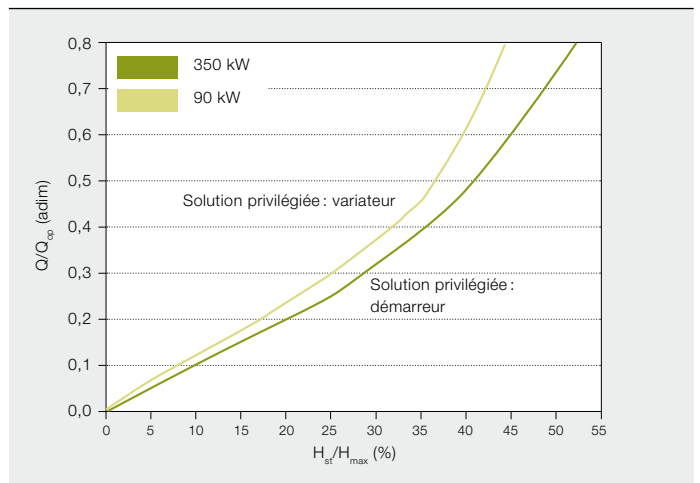
9b Économies d'énergie (%) procurées par la vitesse variable et le démarrage progressif dans un groupe de pompage de 350 kW.



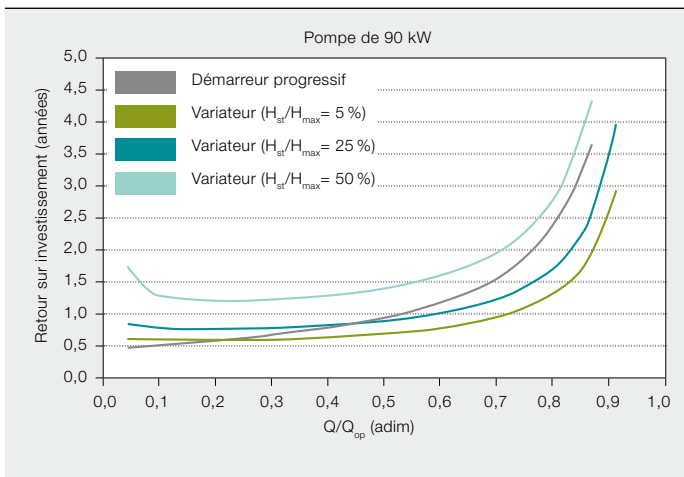
9c Rendement optimal de la pompe de 90 kW du fait du bypass du démarreur progressif aux charges élevées (90% - 100% du débit théorique)



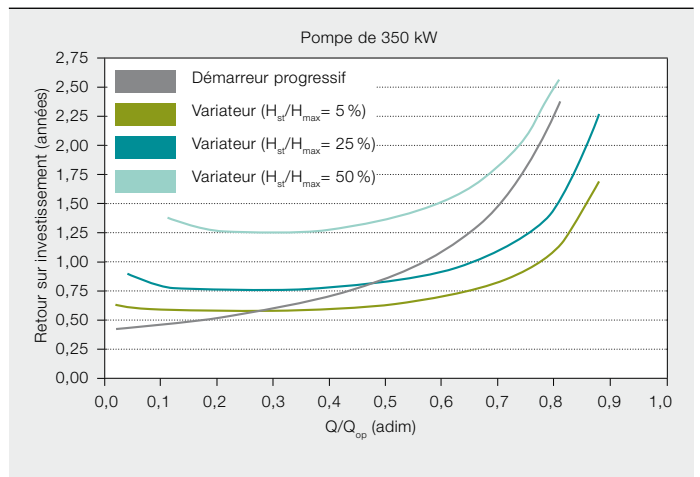
10 Point où le démarrage progressif devient plus avantageux que la variation de vitesse.



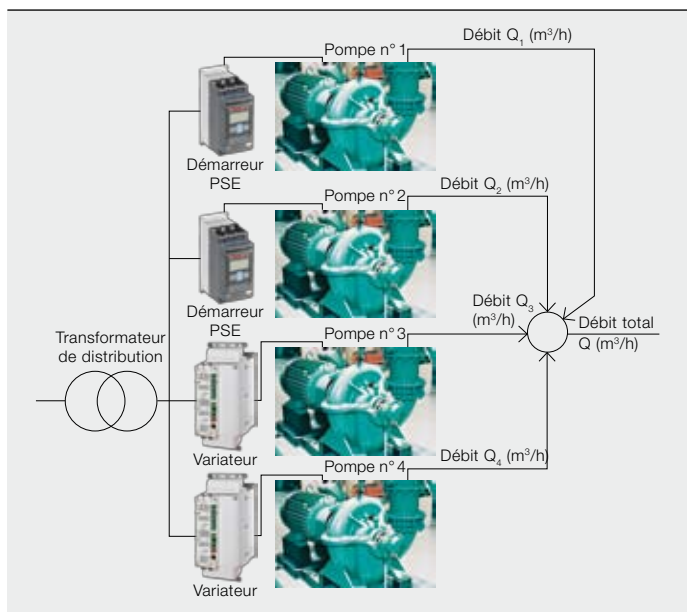
11a Temps de retour sur investissement des solutions à variateur de vitesse et démarreur progressif pour la pompe de 90 kW



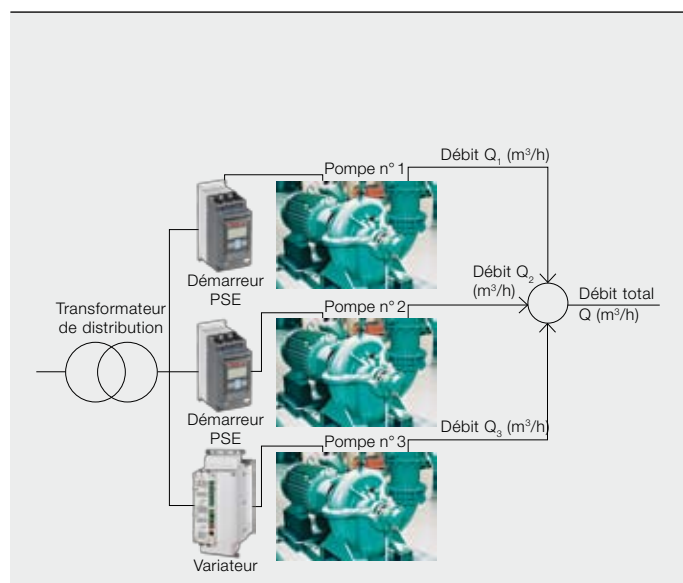
11b Temps de retour sur investissement des solutions à variateur de vitesse et démarreur progressif pour la pompe de 350 kW



12 Solution électronique préconisée pour une installation à 4 pompes en parallèle (réseau à pertes de charge linéaires élevées).



14 Solution électronique préconisée pour une installation à 3 pompes en parallèle (réseau à hauteur d'élévation/pertes de charge linéaires importantes).



13 Solution de régulation des débits dans une installation à 4 pompes en parallèle (réseau à pertes de charge linéaires élevées)

	Pompe 1	Pompe 2	Pompe 3	Pompe 4
Commande	Démarreur progressif	Démarreur progressif	Variateur de fréquence	Variateur de fréquence
Régulation des débits	Commande cyclique	Commande cyclique	Commande en vitesse variable	Commande en vitesse variable
Débit Q (m³/h)				
0–1 130	M/A (0–22,5 %)	M/A (0–22,5 %)	Arrêt	Arrêt
1 130–2 500	Arrêt	Arrêt	Marche (22,5–50 % Pn)	Marche (22,5–50 % Pn)
2 500–4 740	M/A (27,5–45 %)	M/A (27,5–45 %)	Marche (22,5–50 % Pn)	Marche (22,5–50 % Pn)
4 740–5 790	M/A (60 %)	M/A (60 %)	Marche (35–85 % Pn)	Marche (35–85 % Pn)
5 790–8 000	M/A (75 %)	M/A (75 %)	Marche (70–85 % Pn)	Marche (70–85 % Pn)
8 000–10 000	Bypass	Bypass	Marche (60–100 % Pn)	Marche (60–100 % Pn)
> 10 000	Bypass	Bypass	Marche (> 100 % Pn)	Marche (> 100 % Pn)

Retour sur investissement

Inévitablement, les clients désirent savoir en combien de temps ils pourront rentabiliser leur investissement, y compris le manque à gagner résultant des arrêts de production pour installer et mettre en service le variateur de fréquence ou le démarreur progressif.

Pour des pompes de 25 kW environ, le coût d'achat d'un variateur de fréquence représente trois fois celui d'un démarreur progressif et cinq fois dans le cas des pompes de 350 kW [6]. Pour chaque solution technologique, l'investissement initial total correspond au coût d'achat du variateur ou du démarreur plus un pourcentage du coût global pour couvrir les arrêts de production [7]. Dans le cas

des deux appareils électroniques, une valeur de 7,5 % est appliquée.

Le coût des différents composants peut varier pour plusieurs raisons. Les variateurs de fréquence BT fonctionnent en continu et non en mode M/A, et offrent des fonctionnalités plus avancées. Toutefois, ils utilisent des transistors bipolaires à grille isolée (IGBT) et nécessitent donc un circuit de refroidissement adéquat, ce qui renchérit leur coût comparé aux démarreurs progressifs de puissance nominale identique. Ces derniers ont l'avantage de ne fonctionner que sur des périodes très courtes (15 s maxi), d'intégrer des thyristors robustes et économiques, et d'être refroidis par convection naturelle.

Les courbes de temps de retour sur investissement des deux technologies figurent en → 11a et → 11b pour les pompes de 90 kW et 350 kW, et pour les trois réseaux hydrauliques retenus.

Solutions pour pompes en parallèle

Dans de nombreuses installations de pompage, les économies d'énergie sont optimisées avec un bon retour sur investissement en utilisant des pompes en parallèle³ commandées par une combinaison de variateurs de fréquence et de démarreurs progressifs.

Dans un réseau à fortes pertes de charge linéaires, par exemple, la solution préconisée pour une installation de 4 pompes en parallèle d'une puissance unitaire de 350 kW (2 500 m³/h) combine 2 variateurs et 2 démarreurs → 12. La configuration optimale en termes de rentabilité et de performances fonctionnelles est la suivante : pompes 1 et 2 commandées chacune par un démarreur progressif et pompes 3 et 4 par un variateur → 13. Les premières sont directement alimentées par le réseau électrique lorsqu'elles sont à leur puissance maximale. En augmen-

Note

³ Pour une régulation optimale des débits dans ce type d'installation, seule une pompe fonctionne jusqu'à une valeur de débit fixée. Au-delà, une deuxième pompe se met en route avec équilibrage de la charge hydraulique entre les deux pompes [8]. Si les besoins de débit continuent d'augmenter, une troisième pompe est démarrée et ainsi de suite.

15 Solution de régulation des débits dans une installation à 3 pompes en parallèle (réseau mixte)

	Pompe 1	Pompe 2	Pompe 3
Commande	Démarrateur progressif	Démarrateur progressif	Variateur de fréquence
Régulation des débits	Commande cyclique	Commande cyclique	Commande en vitesse variable
Débit Q (m³/h)			
0–2500	M/A (0–50%)	M/A (0–50%)	Arrêt
2500–4500	M/A (30–60%)	M/A (30–60%)	Marche (40–60% Pn)
4500–5760	M/A (60–75%)	M/A (60–75%)	Marche (60–80% Pn)
5760–6630	Bypass	M/A (75%)	Marche (55–90% Pn)
6630–7500	Bypass	Bypass	Marche (35–100% Pn)
> 7500	Bypass	Bypass	Marche (> 100% Pn)

17 Groupe de pompage d'une installation de traitement d'eau



Avec un savoir-faire reconnu et une offre BT étoffée, ABB réaffirme son engagement en faveur de l'efficacité énergétique avec des produits qui constituent des leviers de valeur pour les clients.

Juan Sagarduy

ABB Corporate Research
Västeras (Suède)
juan.sagarduy@se.abb.com

Jesper Kristensson

Sören Kling

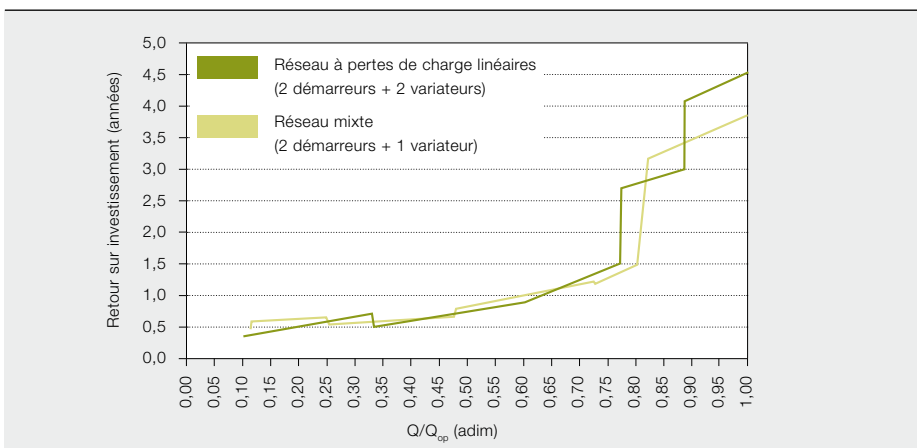
Johan Rees

ABB Cewe Control
Västeras (Suède)
jesper.kristensson@se.abb.com
soren.kling@se.abb.com
johan.rees@se.abb.com

Bibliographie

- [1] ITT Industries, *ITT's Place in the cycle of water: Everything but the pipes*, 2007.
- [2] Aurora Pump (Pentair Pump Group), États-Unis, juin 1994.
- [3] CEI 60034-31, Machines électriques tournantes – Partie 31 : Choix des moteurs éco-énergétiques incluant les applications à vitesse variable – Guide d'application, 2009.
- [4] Brunner, C. U., « Efficiency classes: Electric motors and systems », *Motor energy performance standards event*, Sydney, Australie, 4–5 février 2009. www.motorsystems.org.
- [5] Ministère américain de l'énergie (DOE), Agence internationale de l'Énergie (AIE) Prix de détail moyen de l'électricité aux clients ultimes.
- [6] Sagarduy, J., « Economic evaluation of reduced voltage starting methods », SECRC/PT-RM10/017, janvier 2010.
- [7] Hydraulic Institute, *Pumps & Systems, Understanding pump system fundamentals for energy efficiency. Calculating cost of ownership*, août 2008.
- [8] ITT Flygt, *Cirkulationspumpar med vät motor för värmesystem i kommersiella byggnader*, 2006.
- [9] Voogesang, H., « Energy efficiency. Two approaches to capacity control », *World Pumps Magazine*, avril 2009.

16 Temps de retour sur investissement estimé pour 2 installations constituées de pompes en parallèle et des 2 solutions de commande



tant la vitesse de rotation des moteurs dans une plage prédéfinie (> 50 Hz), les pompes commandées par les variateurs peuvent fournir le surplus de débit occasionnellement requis.

Dans un réseau hydraulique mixte, la configuration optimale selon les mêmes critères comprend 3 pompes, les 2 premières commandées par des démarrateurs progressifs et la troisième par un variateur → 14 et → 15.

Pour les deux exemples, l'investissement initial dans les appareils électroniques est rentabilisé en moins d'un an et demi pour autant que le débit régulé est inférieur à 80 % du débit total → 16.

La meilleure solution ?

Les résultats de notre analyse comparative montrent que la vitesse variable est idéale pour les réseaux hydrauliques à fortes pertes de charge linéaires (transfert de fluide sans différence de hauteur), alors que le démarrage progressif est préconisé pour les réseaux à hauteur d'élévation importante dans le domaine

de la basse tension. Le recours à la vitesse variable pour les réseaux aux courbes caractéristiques et aux profils de charge très plats doit être évité du fait du risque d'instabilité et de détérioration des pompes [9].

Les démarrateurs progressifs constituent une solution technique très compétitive, tout spécialement pour les applications de pompage d'eau et d'eaux usées où les pompes sont régulièrement démarrées et arrêtées pour vider un réservoir et transférer un fluide vers une unité de traitement. Il s'agit d'appareils robustes offrant de bonnes fonctionnalités de bypass et dotés d'algorithmes de commande spécifiques pour des séquences de démarrage (surcouple) et d'arrêt (sans coups de bélièr). Pour autant, les économies d'énergie et le retour sur investissement sont optimisés dans de nombreux réseaux hydrauliques en installant des pompes en parallèle et en combinant des variateurs de fréquence et des démarrateurs progressifs → 17.



Lignée eXTraordinaire

Nouveaux disjoncteurs
en boîtier moulé *Tmax XT*

LARA CORTINOVIS, LUCIO AZZOLA – Les disjoncteurs, composants essentiels de la protection des circuits électriques modernes, se divisent en de nombreuses catégories selon leur classe de tension, leur exécution, leur milieu de coupure et leurs caractéristiques constructives. Toutefois, la demande du marché tend vers des disjoncteurs plus modulaires, flexibles et intégrés. La réponse d'ABB: une nouvelle famille de 4 disjoncteurs en boîtier moulé haute performance *Tmax XT* répondant aux exigences de la

distribution électrique et de la protection des moteurs et générateurs, tout comme à la problématique du surdimensionnement du neutre ou à la fonction d'interruption-sectionnement. Proposés en version tripolaire ou tétrapolaire, fixe, enfichable ou débrochable, ils sont équipés de la toute dernière génération de déclencheurs magnétothermiques et électroniques interchangeable, précis et fiables. Un grand nombre d'accessoires exclusifs vient compléter l'offre *Tmax XT* pour les applications les plus exigeantes.



La nouvelle génération de disjoncteurs Tmax d'ABB offre conformité normative, modularité et intelligence dans des dispositifs qui s'intègrent ou interagissent facilement avec d'autres éléments ou systèmes.

ABB conçoit et fabrique des disjoncteurs en boîtier moulé et des disjoncteurs à coupure dans l'air basse tension (BT) depuis 1934. Sa première famille de disjoncteurs en boîtier moulé, appelée *Isol*, était capable d'interrompre jusqu'à 25 kA sous 415 VCA, avec un déclencheur de protection magnétothermique. D'autres générations (*Fusol*, *Modul*, *Limitor* ou *Isomax*) lui ont succédé tous les dix ans, jusqu'au fameux *Tmax*, lancé en 2001.

L'évolution considérable de la demande du marché et des clients, ces dix dernières années, a obligé les fabricants à revoir leur copie. Les applications nouvelles ou plus performantes, par exemple, exigent des protections plus rapides et plus fiables pour garantir le triptyque sécurité, stabilité et continuité de service. Ces fournisseurs, dont beaucoup sont apparus au cours de la dernière décennie, ont dû développer des appareils modulaires normalisés, plus petits et communicants, facilement intégrables ou inter-

façables avec d'autres composants ou systèmes.

La nouvelle génération de disjoncteurs Tmax XT d'ABB illustre cette évolution → [photo](#). Compact, performant et doté de déclencheurs électroniques dernier cri, Tmax XT est l'aboutissement de plus de 60 ans d'expérience et de savoir-faire ABB dans la conception d'appareils de coupure bénéficiant des plus récents progrès technologiques.

Portrait de famille

Les disjoncteurs Tmax XT se déclinent en 4 tailles (XT1 à XT4) pour un courant assigné jusqu'à 250 A et un pouvoir de coupure ultime assigné en court-circuit (Icu) jusqu'à 150 kA (415 V) et 90 kA (690 V) :

- XT1 (160 A) : Icu ≤ 70 kA à 415 V ;
- XT2 (160 A) : Icu ≤ 150 kA à 415 V ;
- XT3 (250 A) : Icu ≤ 50 kA à 415 V ;
- XT4 (160–250 A) : Icu ≤ 150 kA à 415 V.

Les modèles XT1 et XT3 se destinent aux grosses installations de distribution,

telles que les hôpitaux et toutes les applications tertiaires exigeant une grande fiabilité ; XT2 et XT4, qui ont les pouvoirs de coupure les plus élevés du marché, conviennent davantage à l'industrie lourde, à la métallurgie ou aux applications maritimes (paquebots, plates-formes de forage, porte-conteneurs) privilégiant la performance. Sans concurrence sur le marché, XT2 et XT4 peuvent être équipés de la dernière génération de déclencheurs électroniques interchangeables et communicants, à partir de valeurs assignées de courant de 10 A.

XT1 et XT3 sont disponibles en versions 3 ou 4 pôles, fixe ou enfichable. Leur profondeur identique (70 mm) et leur même largeur de découpe sur la porte du tableau électrique (45 mm) facilitent leur montage côte à côte, sur rail DIN ou plaque de fond, sans entretoise.

Innovation en recherche-développement

Pour réduire les temps de développement et de validation de ces appareils et

1 Taille des anciens et nouveaux déclencheurs Tmax



augmenter la qualité du produit, les ingénieurs d'ABB ont mis au point une palette d'outils avancés, utilisables en phase de pré-étude :

- une plate-forme commune pour développer, sélectionner, intégrer et interfacier les éléments individuels des disjoncteurs Tmax XT ;
- une simulation multiphysique pour concevoir et étalonner toute la gamme de relais de protection contre les surintensités Tmax XT ;
- un système de diagnostic des arcs BT par fibres optiques ;
- un essai de vieillissement accéléré qui met en évidence les modes de défaillance du produit et permet leur correction dès sa phase de conception ou en production.

Une même plate-forme de conception

Le nouveau déclencheur électronique Ekip des calibres XT2 et XT4 devait, entre autres exigences, afficher des performances supérieures dans un encombrement réduit. Si des performances accrues se traduisent habituellement par plus de complexité, de puissance de calcul et de richesse fonctionnelle, le nouvel Ekip est par contre 2 fois plus petit que ses prédécesseurs → 1 et → 2 ! Ce concentré de performances tient au choix d'un très puissant microcontrôleur ARM¹ 32 bits, qui se distingue par un rendement énergétique et des fonctionnalités exceptionnelles sur une architecture monoprocesseur peu gourmande en espace. Son excellente connectivité autorise l'intégration de plusieurs bus de communication.

ABB dut simultanément développer, sélectionner, intégrer et interfacier les éléments individuels de l'assemblage mécatronique, à savoir le boîtier plastique, les capteurs de courant et les bornes, le

2 Vues 3D du nouveau circuit imprimé du déclencheur

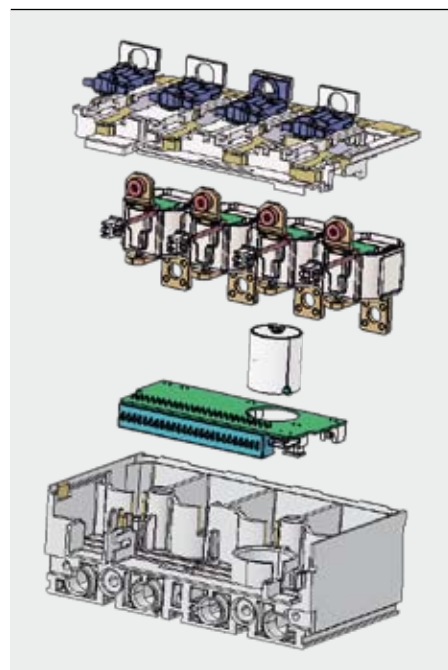


déclencheur électronique, la bobine de déclenchement et les raccordements → 3. Or il ne suffisait pas de sélectionner les bons composants ; encore fallait-il les positionner au mieux sur le circuit imprimé et étudier leur intégration avec d'autres éléments mécatroniques. Autant d'étapes rendues possibles par la mise en œuvre d'une plate-forme de conception commune, bien avant de s'atteler à l'assemblage physique.

Cette plate-forme évolutive et très répandue peut servir à de futurs projets affichant un niveau élevé de portabilité du code (même architecture matérielle et logicielle) avec, à la clé, un temps de mise sur le marché plus court et une fiabilité accrue. Le microprogramme (*firmware*) fut développé conformément aux normes internationales de qualité logicielle (supplément SE² UL489, par exemple) et aux plus récentes spécifications du génie logiciel.

Les déclencheurs Ekip protègent les installations fonctionnant en 400 Hz (aéroports, navires, par exemple) ; il leur faut pour cela une analyse poussée en fréquence nécessitant la bonne réponse en fréquence des capteurs de courant, une bande passante analogique adéquate pour la mesure des harmoniques et une conception correcte des filtres numériques pour la reconstitution précise du signal → 4. Toutes ces tâches sont exé-

3 Assemblage mécatronique du disjoncteur

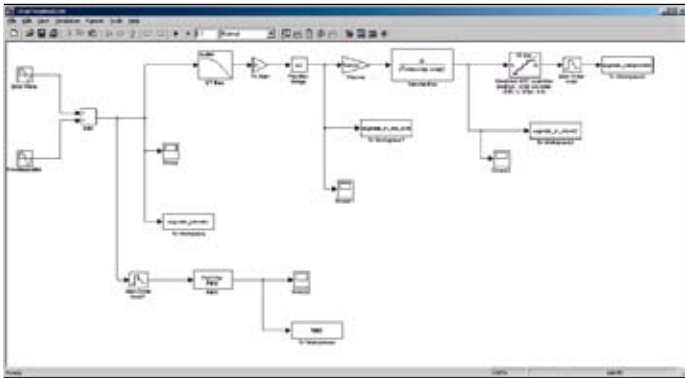


La famille de disjoncteurs Tmax XT se compose de quatre modèles utilisés pour la distribution électrique, la protection des moteurs et générateurs, le surdimensionnement du neutre ou la fonction d'interruption-sectionnement.

Notes

- 1 Numéro un du secteur des microprocesseurs 32 bits embarqués, établi à Cambridge (Royaume-Uni).
- 2 Exigences applicables aux disjoncteurs et interrupteurs en boîtier moulé dotés de fonctions logicielles sous forme de composants programmables.

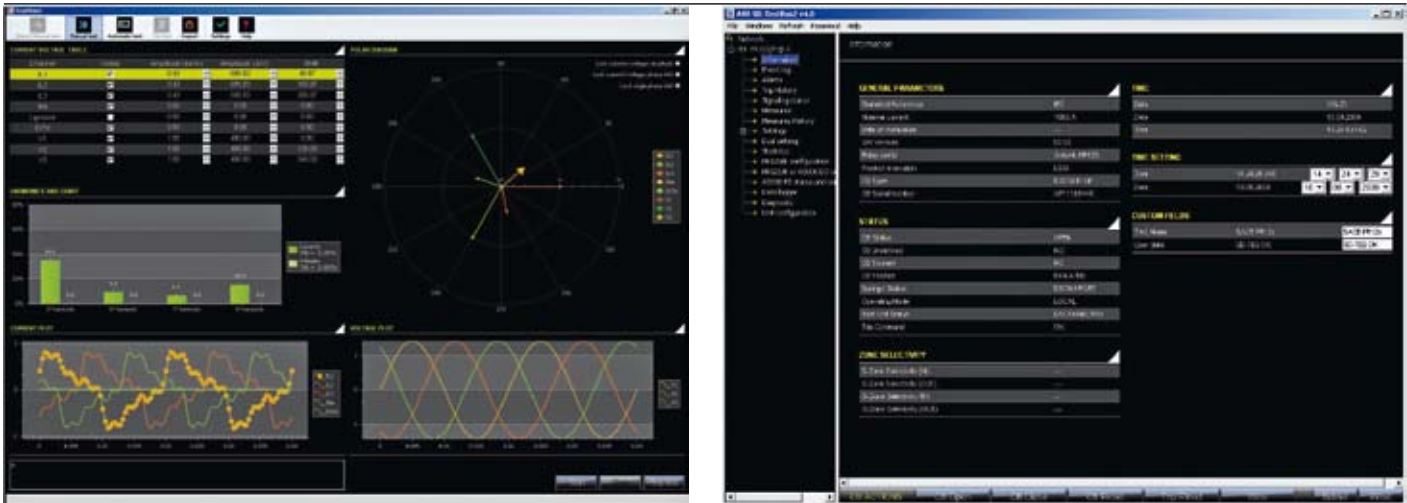
4 Exemple de modèle de simulation matérielle et logicielle pour l'analyse en fréquence



5 Afficheur graphique Ekip Display



6 Capture d'écran Ekip Connect



cutées sous logiciels de simulation Simulink et Matlab.

Des accessoires facilement raccordables permettent d'étendre les fonctionnalités Ekip : afficheur graphique à cristaux liquides rétroéclairé (*Ekip Display*) → 5, dispositif de lecture du courant par LED (*LED Meter*), interfaces de communication locale (*Ekip T&P*, *Ekip Connect*) et système (*Ekip COM*), unités de test de déclenchement et de détection du dernier déclenchement. L'afficheur Ekip, une des innovations des disjoncteurs en boîtier moulé ABB, autorise la configuration locale de fonctions de déclenchement avancées, auparavant exclusivement accessibles par bus de communication ou dispositif portable. Directement alimenté par le déclencheur, il peut facilement passer d'un déclencheur à un autre. Ekip T&P (*Test & Programming*) permet de brancher le déclencheur sur le port USB d'un PC et fonctionne avec le logiciel de supervision, de paramétrage et d'essai Ekip Connect → 6. Enfin, le module Ekip COM s'enfiche dans le disjoncteur pour assurer l'interface entre le bus local du déclencheur et le bus sys-

tème. Le déclencheur et le disjoncteur peuvent aussi être pilotés à distance avec une commande motorisée.

Simulation multiphysique

Le bilame est un dispositif mécanique qui change de forme sous l'influence de la température. Sa simplicité, sa fiabilité et son faible coût de fabrication en font la solution la plus répandue de protection contre les surintensités des disjoncteurs en boîtier moulé. Si son principe de fonctionnement est connu et bien documenté depuis des années, la conception et l'étalonnage de l'ensemble de la gamme des relais de surintensité du Tmax XT se sont avérés complexes au vu des spécifications techniques imposées :

- faible échauffement au courant assigné I_n ;
- faible sensibilité à la température ambiante ;
- courant de non-déclenchement de $1,05 I_n$;
- vitesse de déclenchement < 10 minutes à $1,3 I_n$;
- vitesse de déclenchement < 3 minutes à $2 I_n$;

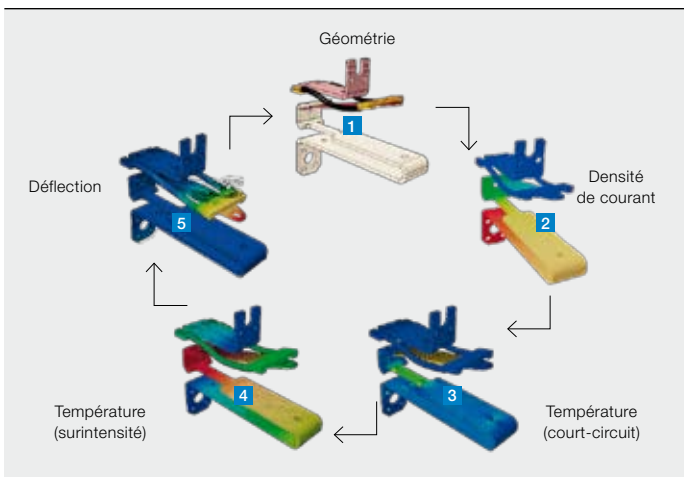
- vitesse de déclenchement < 20 secondes à $6 I_n$;
- échauffement réduit durant un court-circuit (I_{cu} , I_{cs}).

Pour remplir ce cahier des charges relevant de diverses branches de la physique, ABB a mis en place une procédure itérative pluridisciplinaire → 7 : à partir d'une configuration géométrique approximative (propriétés des matériaux comprises), une séquence de simulations électriques aux valeurs de courant imposées fournit les sources de chaleur utiles aux calculs thermiques ultérieurs. Une fois obtenues les distributions de température satisfaisantes, on déduit toutes les inconnues mécaniques (déflexion, vitesse et force du bilame), puis on modifie la géométrie initiale de façon à remplir toutes les conditions précitées.

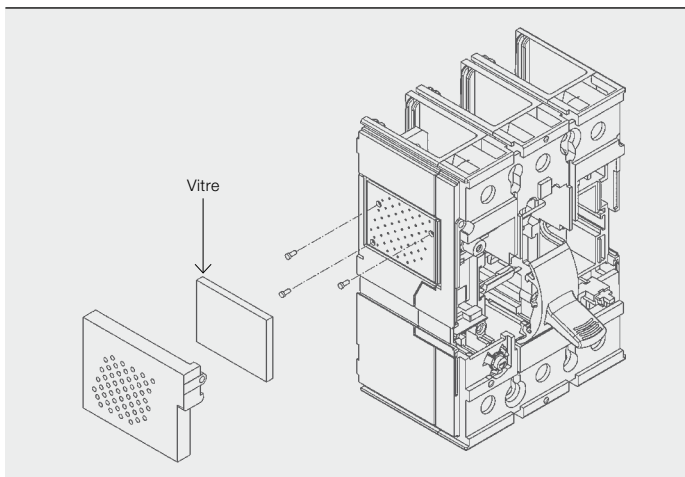
Les avantages de cette procédure sur l'approche analytique classique sont doubles :

- large plage d'application (de l'intensité la plus faible à la plus élevée) ;

7 Procédure pluridisciplinaire



8 Pour suivre la progression de l'arc, des fibres optiques sont raccordées à un côté du disjoncteur, derrière une vitre de protection.



9 Système d'imagerie d'arc AIS d'ABB



– aucune dépendance géométrique (chaque solution est analysable).

Diagnostic optique des arcs BT

L'étude de la coupure en court-circuit est un défi pour les concepteurs : le plasma d'arc, par exemple, peut atteindre 20 000 K et son extinction doit être très rapide. ABB a développé un système de visualisation de la progression de l'arc pendant un court-circuit, baptisé « AIS » (*Arc Imaging System*). Concrètement, un faisceau de fibres optiques, monté sur un côté du disjoncteur, mesure l'intensité lumineuse à l'intérieur de la chambre d'arc → 8. Le système d'acquisition, développé en collaboration avec l'université de Southampton, est un système mobile autonome fourni avec différentes longueurs de fibre optique → 9. Ce PC dédié avec écran et clavier accueille 6 cartes de 16 entrées de mesure chacune, soit un total de 96 voies. L'ensemble est monté sur plots anti-vibratiles et peut être mis sous enveloppe étanche pour le transport.

Un programme de post-traitement automatique produit un film de l'évolution de l'arc, dont certains clichés sont reproduits en → 10 : à chaque instant échantillonné, l'intensité lumineuse mesurée par une fibre est transposée sur une échelle de couleur appropriée, puis superposée à l'endroit correspondant d'une image de la chambre de coupure du disjoncteur.

AIS est un formidable outil d'interprétation des résultats de test. Couplé aux oscillogrammes du laboratoire d'essais, il a notablement contribué à clarifier de nombreux aspects de la coupure du courant.

Vieillesse accélérée

Les techniques modernes appliquées au développement des disjoncteurs Tmax XT ont renforcé leur fiabilité et leur robustesse. De plus, ils ont été conçus et testés selon les normes internationales et les rigoureuses exigences des Registres Navals. L'une des méthodes mises en œuvre, l'essai de vieillissement très accéléré « HALT » (*Highly Accelerated Life Test*) basé sur le principe des essais aggravés, s'effectue directement sur les disjoncteurs complets, accessoires et composants individuels, en phase de conception.

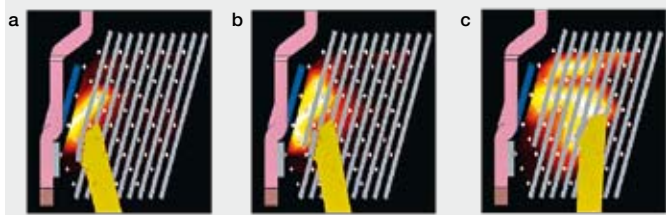
Le but ? « Casser » rapidement un produit pour comprendre ses modes de défaillance. L'intérêt majeur de la procédure HALT réside dans la vitesse à laquelle les défauts surviennent et sont révélés, alors qu'il faudrait des années pour les voir apparaître en situation réelle. Un essai HALT est validé au terme de ces 3 étapes : une défaillance se produit ; les modes de défaillance sont compris ; des mesures correctives sont prises en conception ou en production → 11.

L'essai HALT consiste à soumettre le produit à des contraintes qui vont bien au-delà des conditions spécifiées d'utilisation et d'environnement ; ses limites réelles de fonctionnement et de destruction sont ainsi identifiées et poussées à l'extrême (par exemple, vibration jusqu'à 40 g, températures de -80 °C à +180 °C et choc thermique avec rampe de 15 °C/min) → 12. Un essai HALT se déroule en 3 temps :

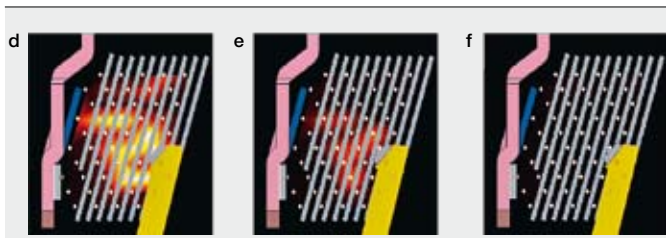
– Planification de l'essai à l'aide d'un plan d'expérience définissant le nombre adéquat d'échantillons et de variables ;

L'essai accéléré HALT s'effectue directement sur les disjoncteurs complets, accessoires et composants individuels, dès la conception.

10 Une coupure réussie enregistrée par le système d'imagerie d'arc (AIS)



- a Écartement des contacts et amorçage de l'arc (1 ms)
- b Déplacement de l'arc du contact vers le canal d'arc (2 ms)
- c Expansion de l'arc dans la chambre de coupure (3 ms)



- d Refroidissement de l'arc (4 ms)
- e Reconstitution quasi totale de la rigidité diélectrique (5 ms)
- f Fin du phénomène : coupure réussie (6 ms)

- Réalisation de l'essai selon la procédure HALT à des niveaux et durées de contraintes définis ;
- Analyse des résultats en s'appuyant sur des modèles statistiques : Arrhenius, qui traduit l'évolution du taux de défaillance avec la tempéra-

tation et contraintes essentiellement thermiques, ou thermiques et vibratoires, par exemple.

En améliorant le processus de développement du XT, la méthode HALT a donc permis aux ingénieurs de comprendre plus en détail le comportement attendu sur la durée de vie du produit et de réduire le temps de mise sur le marché.

Longue vie!

Les nouveaux disjoncteurs Tmax XT d'ABB ont été conçus pour satisfaire à toutes les exigences de l'industrie, des plus élémentaires aux plus complexes. Ils sont équipés d'une nouvelle gamme de déclencheurs magnétothermiques et électroniques enfichables, interchangeables dès la plus petite taille, qui garantissent une fiabilité et une précision absolues du déclenchement.

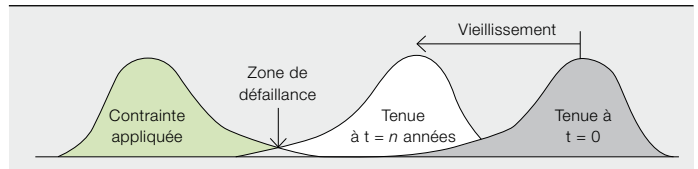
Ces disjoncteurs sont de plus développés et fabriqués en conformité avec la directive européenne RoHS (interdiction de six substances dangereuses dans les produits électroniques en contact avec le grand public) et les autres réglementations environnementales applicables à ce domaine. ABB a en outre utilisé l'analyse du cycle de vie (ACV) pour évaluer et

minimiser l'impact environnemental du produit (émissions polluantes, consommation de ressources, production de déchets), de sa fabrication à son traitement en fin de vie.

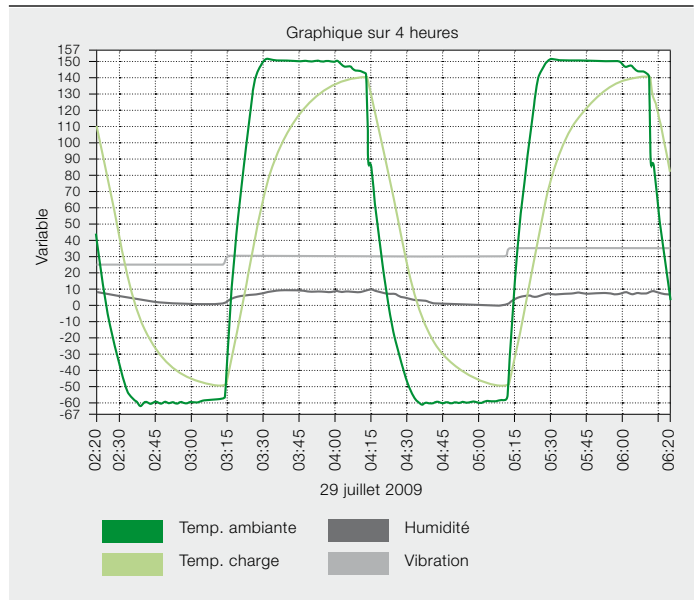
Le développement et la fabrication des disjoncteurs Tmax XT, conformes à la directive RoHS, utilisent l'ACV pour évaluer et minimiser l'impact environnemental du produit.

ture ; Eyring, généralisation du modèle d'Arrhenius faisant intervenir à la fois la température et l'humidité ; loi en puissance inverse pour la pression et les sollicitations mécaniques ; alimen-

11 Résistance aux contraintes dans les séquences HALT



12 Cycle d'essai HALT



Lara Cortinovis

Lucio Azzola

ABB S.p.A

Bergame (Italie)

lara.cortinovis@it.abb.com

lucio.azzola@it.abb.com



Jamais sans mon transformateur

Transformateurs modulaires à déploiement rapide pour réseaux de transport haute tension

MIGUEL OLIVA – Les équipements électriques qui alimentent nos usines et nos foyers sont conçus pour une fiabilité maximale. Toutefois, une conception et une maintenance de qualité ne garantissent pas l'absence totale de panne. Un incident grave peut mettre un transformateur hors d'usage pendant des mois, voire plus d'un an, le temps de le remplacer ou de le réparer. Il faut alors « dépanner » le client avec une solution provisoire, comme un transformateur mobile, par exemple. Ce type d'appareil, petit et léger, est facilement transportable par la route, soit en un seul bloc, soit en plusieurs parties autorisant un assemblage et une mise en service rapides. Jusqu'à présent, les transformateurs mobiles ne dépassaient pas 230 kV. ABB innove avec des transformateurs mobiles de 400 kV.

La continuité et la qualité de la fourniture électrique sont les deux principaux objectifs des gestionnaires de réseau. La hausse de la demande exige de nouveaux investissements et une optimisation de l'existant. Dans ce contexte, ces gestionnaires doivent mettre en place des stratégies visant à minimiser les budgets d'exploitation et de maintenance tout en diminuant le nombre d'interruptions de service et le taux de défaillance.

Les transformateurs de puissance, maillons essentiels de la desserte électrique, comptent parmi les éléments les plus importants et les plus onéreux des réseaux de transport haute tension (HT). La fiabilité des transformateurs de grande puissance est une préoccupation majeure des exploitants en raison de leur rôle crucial dans le système électrique, ainsi que du temps et des frais associés à leur remplacement. Le transformateur est un appareil complexe, fruit de longs et coûteux efforts de conception, de développement et de

fabrication. De plus, une maintenance appropriée est nécessaire pour optimiser son fonctionnement et sa durée de vie.

Selon l'importance stratégique de l'appareil, un arrêt inopiné peut entraîner une perte de production ou de revenus non négligeable pour l'exploitant et se répercuter sur l'ensemble du réseau. Au pire, la défaillance débouche sur une panne générale, avec toutes les répercussions en termes d'image de l'entreprise, de réclamations clients et de pénalités.

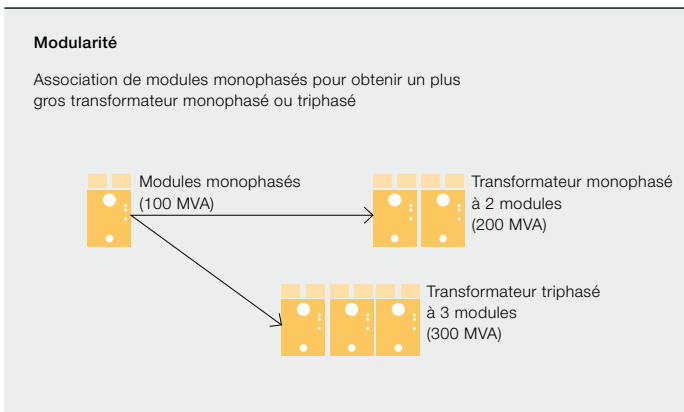
Pour éviter ces problèmes, l'exploitant doit disposer d'un plan d'intervention en cas de panne d'un transformateur entraînant une interruption de service prolongée.

Le temps nécessaire au remplacement d'un transformateur en urgence peut être ramené de plusieurs semaines ou mois à 10–15 jours.

gée. Il existe diverses façons de parer aux incidents liés aux transformateurs de puissance :

- maillage du réseau ;
- redondance des transformateurs ;

1 Le polytransformateur associe plusieurs petits modules monophasés pour bâtir un appareil de grande taille.



- standardisation des transformateurs ;
- appareils de rechange ;
- polytransformateurs ;
- transformateurs mobiles.

La fabrication d'un nouveau transformateur selon un cahier des charges précis nécessite plusieurs mois à plus d'un an. De même, l'installation d'un appareil de rechange peut prendre quelques semaines à plusieurs mois à cause du transport, de la maintenance, du montage et d'autres interventions sur l'appareil de rechange si celui-ci n'est pas déjà sur le site. Il est donc primordial de disposer de plans de secours et de faire preuve d'une réactivité maximale : c'est là que le transformateur mobile entre en scène.

Si le concept de transformateur mobile ne date pas d'hier, son utilisation était jusqu'à présent limitée aux applications 230 kV, avec des appareils triphasés conçus le plus souvent pour des tensions de 35 à 245 kV et des puissances

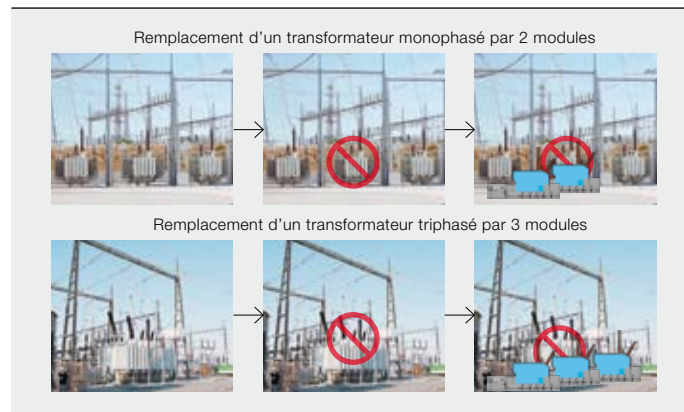
formateurs mobiles de plus de 230 kV est l'augmentation de la masse et de l'encombrement au-delà de ce niveau de tension. ABB a voulu relever ce défi en proposant des solutions de mise en œuvre rapide de plans d'intervention sur réseaux HT.

Concept

Les transformateurs de puissance de plus de 100 MVA sont assez encombrants et lourds. Les déplacer nécessite des véhicules spéciaux → 4, une planification et une étude minutieuses du transport, sans oublier les autorisations administratives qui peuvent être longues à obtenir.

ABB s'est donc attaqué à la double question du niveau de tension et de la « mobilité » des transformateurs. Objectif : fabriquer un appareil offrant des caractéristiques assignées élevées mais aussi un encombrement suffisamment réduit pour voyager par la route en simplifiant les formalités administratives.

2 Transformateur mobile de 400 kV pour reconstituer la continuité électrique



3 Les transformateurs mobiles HT en bref

Points forts :

- Construction modulaire pour applications 345 kV, 400 kV et 525 kV
- Déploiement rapide
- Transport rapide et simple
- Possibilité de polytransformateurs pour couvrir d'autres niveaux de tension

Avantages et applications :

- Plans d'intervention rapide et flexible pour réalimenter des postes critiques en cas de panne de transformateur, sur une courte durée.
- Installations temporaires pour pallier des événements graves ou une augmentation momentanée des besoins de puissance de régions confrontées à des pics de consommation ou des événements particuliers.
- Allègement des primes d'assurance
- Réduction de la menace pour la sécurité intérieure
- Diminution des risques de pannes générales, des pénalités pour interruption de service et des réclamations clients
- Retour sur investissement immédiat (dès que le transformateur est utilisé).
- Coût d'opportunité très élevé

Principal objectif du projet : obtenir des caractéristiques assignées aussi élevées que possible sans recourir à un convoi exceptionnel.

de 5 à 100 MVA, ainsi qu'une isolation haute température pour minimiser masse et encombrement. Pour accélérer leur déploiement, les transformateurs sont intégralement assemblés et remplis d'huile avant expédition.

Le principal obstacle qui empêchait jusqu'à présent la fabrication de trans-

formateurs mobiles de plus de 230 kV est l'augmentation de la masse et de l'encombrement au-delà de ce niveau de tension. ABB a voulu relever ce défi en proposant des solutions de mise en œuvre rapide de plans d'intervention sur réseaux HT.

ABB opta pour la modularité en associant plusieurs modules transformateurs monophasés de petite taille pour bâtir un plus

gros appareil → 1 : deux modules monophasés, par exemple, donnent ainsi un gros transformateur monophasé et trois modules, un appareil triphasé → 2. Pour minimiser l'encombrement, ABB exploita les avantages des transformateurs cuirassés :

- Compacité : les enroulements sont encapsulés dans le noyau magnétique

4 Transport par convoi exceptionnel d'un transformateur classique



5 Transformateur mobile prêt pour le transport



pour satisfaire aux contraintes de transport et de manutention ;

- Fonctionnement horizontal à plat : le transport de l'appareil est facilité et son architecture optimisée.

Le transformateur est assemblé sur une remorque pour accélérer son transport, en réduisant au minimum les formalités administratives. Le choix d'une isolation cellulosique traditionnelle s'explique par le manque d'expérience dans l'emploi d'une isolation haute température pour des applications supérieures à 230 kV. ABB poursuit néanmoins ses recherches dans ce domaine pour augmenter les caractéristiques assignées de l'appareil, à encombrement égal, ou en réduire la masse, à caractéristiques égales.

La rapidité de déploiement de ces transformateurs est cruciale. Si l'appareil dépasse certaines limites de masse et d'encombrement, il faut le transporter partiellement démonté et sans huile.

Le transformateur est fabriqué sur mesure pour les besoins de l'application mais aussi pour minimiser son démontage. Il peut également être conçu pour être transporté et monté avec les dissipateurs thermiques placés sur le véhicule. Selon le type de raccordements externes, il faut déposer les traversées HT pour le transport, même si des connexions enfichables sont envisageables.

Le montage final doit faire l'objet d'une planification soignée afin de ne négliger aucun aspect pratique : remplissage d'huile, mise en service et essais, dans les plus courts délais ! On peut encore réduire le temps d'installation avec un appareil stocké prêt-à-expédier, un



personnel bien formé et des procédures clairement définies.

Cette démarche ramène le temps d'intervention de plusieurs semaines ou mois à 10-15 jours, préparation, manutention et transport inclus, au grand bénéfice des exploitants qui peuvent ainsi remettre rapidement en service les transformateurs défectueux du réseau de transport → 3.

Mise en pratique

Red Eléctrica de España (REE), propriétaire et gestionnaire du réseau espagnol à 400 kV, fut le premier à concrétiser ce transformateur mobile à déploiement rapide 400 kV pour consolider ses plans d'intervention.

Une démarche collaborative fut mise en place pour tirer profit des synergies entre ABB et REE. Une puissance assignée de 117 MVA pour les modules monophasés et d'autres caractéristiques comme

Le transformateur assemblé sur remorque pour faciliter son déplacement par la route avec un minimum de formalités administratives.



l'impédance furent choisies pour remplacer les transformateurs standardisés du réseau (appareils monophasés 200 MVA) et gagner en puissance avec des appareils triphasés (350 MVA), tout en se pliant aux restrictions d'encombrement du transport routier.

Le polytransformateur construit affiche 400 kV côté primaire et, au choix, 230 kV ou 138 kV, côté secondaire; le tertiaire, avec trois niveaux de tension différents (33, 26,4 et 24 kV), offre des possibilités d'utilisation supplémentaires et élargit le champ d'application du transformateur. Ce dernier peut ainsi remplacer un grand nombre d'appareils, monophasés ou triphasés, du parc REE.

Pour ne pas alourdir ni encombrer inutilement l'appareil, on décida de ne pas installer de changeur de prises en charge. Le transformateur est toutefois équipé d'un changeur de prises hors tension qui étend ses fonctionnalités et l'enrichit d'une capacité de réglage hors ligne.

Le principal objectif du projet était d'obtenir des caractéristiques assignées aussi élevées que possible sans recourir à un convoi exceptionnel. Le choix se porta sur un transformateur cuirassé horizontal. L'appareil prêt-à-expédier pèse moins de 60 tonnes, ne dépasse pas 3,4 m de haut et 2,7 m de large, et

est assemblé, sans huile, sur une remorque → 5. Il était convenu avec l'énergéticien espagnol de démonter les traversées et dissipateurs thermiques pour le transport. ABB élabora avec REE un plan de montage détaillé pour accélérer l'assemblage sur site et la formation du

personnel en toutes circonstances. Les résultats du test furent concluants, REE étant désormais assuré de pouvoir rétablir rapidement le service en conditions réelles.

Si le concept de transformateur mobile n'est pas nouveau, son utilisation se limitait jusqu'ici aux applications 230 kV.

personnel d'intervention. REE se chargea également de l'interconnexion au réseau et des parafoudres, isolateurs, connecteurs de câbles, interfaces de commande, etc. Un récupérateur d'huile portable garantissait sécurité et protection de l'environnement en cas de fuite.

ABB construisit 3 appareils de 400 kV. Pour parer à une situation d'urgence, REE réalisa une installation d'essai lui permettant de vérifier à la fois la performance, la réactivité et la compétence du

Miguel Oliva
ABB Power Products
Cordoue (Espagne)
miguel.oliva@es.abb.com



Filtres actifs contre harmoniques

Les solutions PQF d'ABB

KURT SCHIPMAN, FRANÇOIS DELINCÉ – La multiplication des charges électriques non linéaires dans tous les milieux industriels et tertiaires engendre des harmoniques de courant potentiellement néfastes pour le réseau électrique et problématiques pour l'installation: échauffement des câbles, moteurs et transformateurs, détérioration des équipements sensibles, déclenchement intempestif des disjoncteurs, rupture des fusibles, vieillissement prématuré de l'installation.

Les filtres actifs PQF (*Power Quality Filters*) d'ABB y remédient de façon fiable et économique par une surveillance continue du courant, en temps réel, pour révéler la présence d'harmoniques, puis par l'injection dans le réseau de courants harmoniques en opposition de phase avec les composants à filtrer. Résultat: les harmoniques s'annulent et le transformateur d'alimentation, débarrassé de cette pollution, fournit à la charge une sinusoïde pure.

1 Exemples de pertes financières dues à une mauvaise qualité de l'alimentation

Secteur/Activité	Perte financière par incident
Fabrication de semi-conducteurs*	3 800 000 €
Finance*	6 000 000 €
Informatique*	750 000 €
Télécoms*	30 000 €
Acier*	350 000 €
Verre*	250 000 €
Plates-formes pétrogazières	250 000–750 000 €
Dragage/mise en valeur des sols	50 000–250 000 €

constat chiffré en → 1 pour plusieurs secteurs industriels : les données marquées d'un astérisque sont tirées d'une enquête réalisée en 2002 par l'Institut européen du Cuivre [1] sur la qualité de l'alimentation électrique, à l'échelle du Vieux continent ; les autres valeurs s'appuient sur des données ABB.

L'une des méthodes de calcul théorique des surcoûts dus aux harmoniques dans les transformateurs s'appuie sur la recommandation IEEE C57.110 [2]. Si leur chiffrage dépend des particularismes locaux, il est clair que ces pertes atteignent rapidement plusieurs milliers d'euros à l'année.

Aujourd'hui, l'essentiel de la pollution harmonique revêt la forme de courants parasites engendrés par les équipements électriques d'une installation. Ces courants, injectés dans l'impédance réseau,

pollution introduite dans le réseau par un autre consommateur, ce phénomène occasionnant des dysfonctionnements en chaîne dans toutes les installations.

Pour limiter ces méfaits, les centrales ont majoritairement adopté les textes normatifs et réglementaires sur la qualité du courant ; à défaut, leur non-respect entraîne l'interdiction de raccordement d'une nouvelle installation.

Des solutions

De tout temps, les filtres passifs ont été un moyen d'atténuer les perturbations harmoniques. Pour autant, en basse tension (BT), ils constituent de moins en moins une solution de dépollution optimale. Plusieurs inconvénients leur sont reprochés :

- Les installations BT, très dynamiques, occasionnent une surcharge relativement rapide des filtres passifs ;
- Les charges modernes (variateurs de vitesse, lampes fluocompactes, etc.) ont déjà un très bon $\cos \varphi$ (même capacitif) qui conduit à une surcompensation, en présence d'un filtre passif. Cette caractéristique, associée à la capacité limitée des groupes de secours habituels à fonctionner sur un $\cos \varphi$ capacitif, diminue la fiabilité de l'installation ;
- Les filtres passifs installés en BT neutralisent normalement les harmoniques de faibles rangs. Or, à l'heure actuelle, ce sont les harmoniques de fréquences plus élevées qui posent problème ;
- L'efficacité du filtrage passif est définie par le rapport entre l'impédance du filtre et l'impédance réseau ; elle n'est donc pas garantie. Conclusion : il est presque impossible d'assurer la conformité normative des équipements électriques utilisant ce type de filtres.

Une tension électrique de mauvaise qualité engendre des pertes financières, dégrade l'environnement et diminue la sécurité des personnes et des biens. On lui attribue trois grandes causes :

- la pollution par les harmoniques ;
- les déséquilibres de charge entraînant un déséquilibre de tension ;
- la puissance réactive.

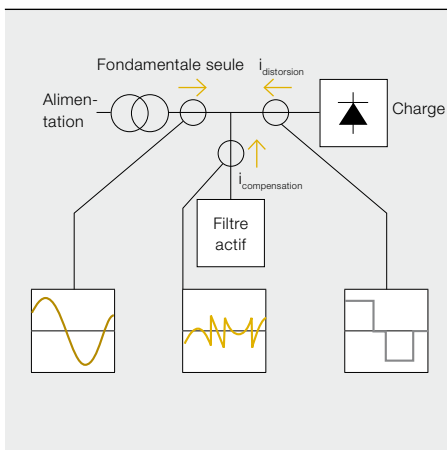
Ces conditions, au-delà de certaines limites, engendrent de nombreux effets indésirables : dysfonctionnements de tous ordres, vieillissement prématuré des équipements, pertes de production, baisse de la sécurité des installations, aggravation de l'empreinte carbone, non-respect de la réglementation, etc. Les pertes financières sont majorées du coût des surconsommations de kWh par les principaux éléments du réseau (transformateurs, câbles, moteurs, etc.). Ces pertes d'énergie se répercutent en amont dans les centrales et, selon la filière et le combustible utilisé, augmentent les émissions de CO₂ par kWh produit (quasi nulles pour le nucléaire mais proches de 900–1 000 g/kWh pour le thermique au charbon).

Et que dire de ces pertes financières quand une tension de médiocre qualité se solde par un arrêt de l'activité ! Un

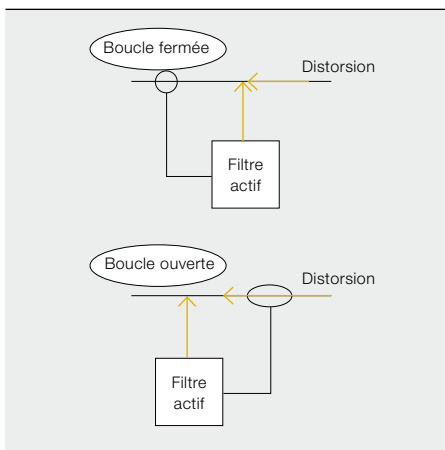
Les filtres actifs modulaires PQF d'ABB parent aux méfaits des harmoniques de courant dans le réseau électrique.

se traduisent par une tension harmonique (loi d'Ohm) et polluent toutes les charges de l'installation cliente. Si on ne le filtre pas, ces harmoniques de courant traverseront également les transformateurs d'alimentation pour gagner le réseau de distribution et déformer la sinusoïde de tension. Par conséquent, n'importe quel utilisateur raccordé à la même alimentation subira lui aussi la

2 Principe de fonctionnement des filtres actifs les plus courants



3 Principe du filtrage avec asservissement (boucle fermée) et sans (boucle ouverte)



tion, il arrive que le courant de ligne résultant contienne des composantes erronées qui échappent au système de régulation.

En somme, la régulation en boucle fermée a deux grands avantages sur son homologue en boucle ouverte [3] :

- Annulation des erreurs dans la boucle et le comportement du système en réponse à une perturbation extérieure (propriété inexistante en boucle ouverte) ;
- Réactivité identique à celle de la boucle ouverte à condition que l'asservissement soit paramétré pour ce comportement.

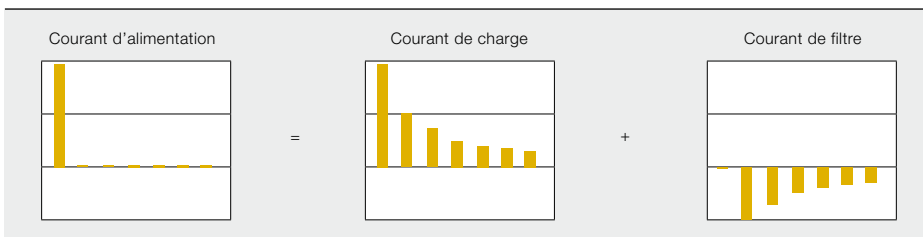
Plusieurs raisons justifient la préférence accordée à l'approche fréquentielle.

Dans l'approche temporelle, la fréquence fondamentale est soustraite du signal de courant mesuré. La forme d'onde qui en découle est inversée et le signal résultant pilote les modules de puissance IGBT du filtre actif. Néanmoins, cette démarche ignore les caractéristiques du réseau (différentes selon les fréquences), des capteurs de courant et du système de régulation. Il s'ensuit que les performances des filtres actifs fondés sur ce principe se dégradent avec l'augmentation de la fréquence. En fréquentiel → 4, chaque harmonique et ses caractéristiques système sont traités individuellement et les performances anti-harmoniques du filtre peuvent être optimisées dans la bande passante du filtrage. Les mêmes performances (élevées) du filtre peuvent donc être maintenues sur toute sa bande passante.

Le meilleur filtrage sera obtenu en associant filtre actif à boucle d'asservissement et traitement fréquentiel du signal. À cela s'ajoutent d'autres avantages :

- Les exigences de l'utilisateur (conformité normative, par exemple) peuvent être prédéfinies pour chaque harmonique ;
- Chaque harmonique peut être sélectionné pour optimiser la solution (inutile de filtrer l'harmonique de rang 5, par exemple, s'il est déjà neutralisé par un autre dispositif) ;
- Des valeurs cibles de $\cos \varphi$ peuvent être fixées et maintenues. Ces filtres actifs interviennent alors dans les applications où une régulation précise du $\cos \varphi$ est impérative pour éviter les

4 Principe du filtrage fréquentiel



Pour toutes ces raisons, la compensation active tend à supplanter le filtrage passif dans le monde entier, en BT comme en MT.

Les filtres actifs les plus utilisés sont des équipements électriques à base d'électronique de puissance, placés sur une ligne d'alimentation parallèle aux charges polluantes → 2.

Le régulateur d'un filtre PQF d'ABB analyse les harmoniques de courant de ligne tout en tenant compte de la stratégie de filtrage du client. Il peut alors injecter, pour chaque fréquence d'harmoniques, un courant en opposition de phase avec le courant polluant mesuré.

Sachant que le PQF ne fonctionne pas selon le principe classique de faible impédance harmonique des filtres passifs, il n'est pas affecté par l'évolution des paramètres réseau et ne risque pas la surcharge. De surcroît, contrairement aux filtres passifs, il est facilement extensible.

Un bon filtrage, dans toute la bande passante du filtre, est subordonné à deux points particulièrement importants, qui peuvent être intégrés au PQF :

- La mise en œuvre d'une régulation en boucle fermée ou « asservissement » ;

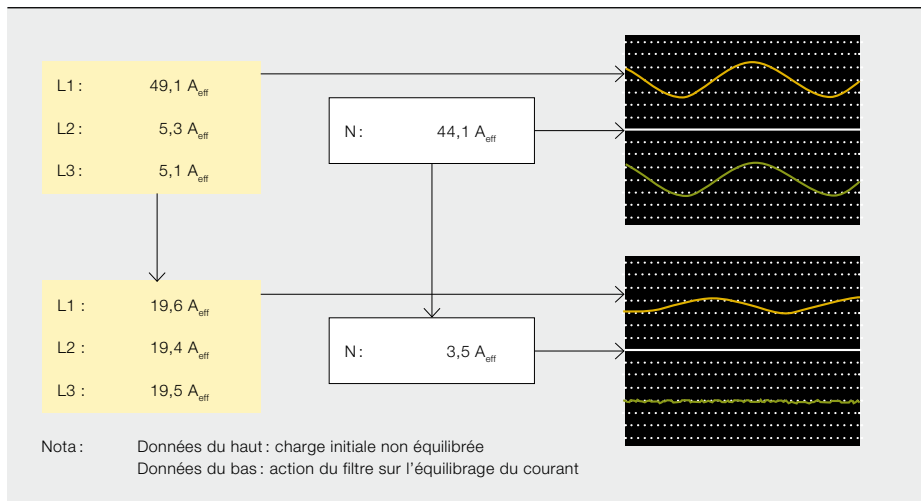
- L'adoption d'une approche fréquentielle pour traiter et réguler le courant pollué.

Pour les filtres actifs, on retrouve ces principes de boucle fermée/boucle ouverte là où les capteurs de courant du filtre actif doivent être installés → 3.

La compensation active tend à supplanter le filtrage passif dans le monde entier, en BT comme en MT.

Les systèmes à boucle fermée mesurent d'abord le courant en amont de la charge et du raccordement du filtre avant de lancer la compensation. Cet asservissement offre l'avantage d'annuler et de compenser automatiquement toute imprécision ou inexactitude de mesure. Dans les systèmes à boucle ouverte, le courant de charge est mesuré et traité, puis le signal inverse de la mesure pilote le pont de transistors bipolaires à grille isolée IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*). En l'absence de retour d'informa-

5 Exemple d'équilibrage à l'aide d'un filtre actif à boucle fermée



Le meilleur filtrage est obtenu en associant filtre actif à boucle d'asservissement et traitement fréquentiel du signal.

perturbations de l'installation (déclenchement d'un générateur, par exemple). Les PQF d'ABB compensent des charges aussi bien inductives que capacitives ;

- Un équilibrage précis des charges peut être mis en œuvre pour soulager les systèmes de neutre et maintenir une tension neutre-terre minimale. On peut aussi s'assurer que la charge perçue par une alimentation sans interruption (ASI), par exemple, est équilibrée. → 5 illustre un exemple d'équilibrage à l'aide d'un PQF d'ABB avec boucle d'asservissement.

Outre ces atouts, les filtres actifs les plus évolués, dont ceux d'ABB, disposent de précieuses fonctionnalités « secondaires » qui minimisent les pertes en exploitation et fiabilisent l'installation (déclassement automatique en température, par exemple).

Résultats chiffrés

Les solutions de filtrage actif PQF et autres équipements ABB d'amélioration de la qualité du courant sont à l'œuvre dans plusieurs domaines.

Premier exemple, un site pétrolier composé d'une centrale d'énergie alimentant une quarantaine de groupes de pompage, d'une puissance unitaire de 2 MW dont les moteurs sont majoritairement pilotés par un variateur de fréquence. Sans filtres actifs, le taux de distorsion harmonique en tension (« THDV »), côté BT, atteint 12 %, et le taux de distorsion harmonique en courant (« THDI »), 27 % → 6.

L'installation de filtres actifs a fait chuter cette distorsion à 2 % pour la tension et 3 % pour le courant → 7.

Globalement, la qualité de l'alimentation s'est beaucoup améliorée, permettant un fonctionnement du site dans les limites de la recommandation IEEE 519 et une exploitation sans défaut des différents groupes.

Second exemple : la qualité du courant à bord d'un navire → 8 embarquant une centrale électrique avec 2 alternateurs débitant chacun quelque 600 kVA. Les charges principales sont 2 groupes de propulsion à entraînement courant continu à vitesse variable. Avant compensation des harmoniques, le THDI approchait 25 % et le THDV, 22 %, avec un cos φ d'environ 0,76. La consommation type de carburant variait de 14 000 à 15 000 l/ mois.

Le client voulait :

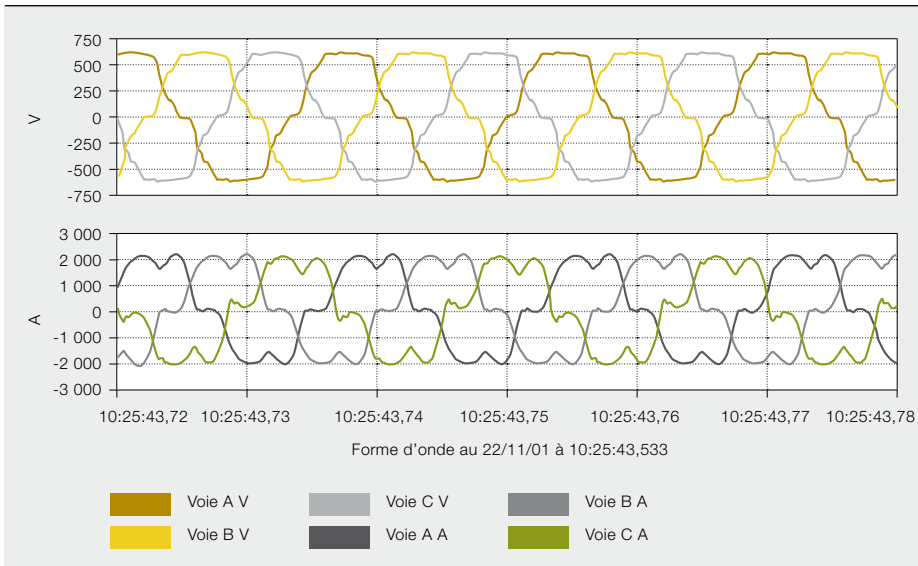
- ramener la pollution harmonique à des valeurs acceptables pour éviter les problèmes techniques des groupes de propulsion ;
- compenser la puissance réactive sans risque de surcompensation.

D'où son choix des filtres actifs ABB. Le retour client est tout à fait encourageant puisque les problèmes techniques ont été réglés, avec une perspective d'économie de près de 10 % de carburant, soit quelque 18 000 l à l'année. Première raison à cela : l'amélioration de la qualité du courant a permis de mettre plus souvent hors tension un des alternateurs.

On l'aura compris, les problèmes de qualité de l'alimentation sont souvent dus, en milieu industriel, à la présence de quantité de gros matériels pollueurs. Mais le tertiaire n'est pas épargné. Sa pollution harmonique est imputable à une multitude de charges monophasées engendrant :

- une forte distorsion harmonique sur un matériel traditionnellement plus sensible qu'un équipement industriel ;
- un phénomène de résonance dû à la présence d'harmoniques de rang 3 associés à des batteries de condensateurs dotées d'une inductance anti-harmonique mal choisie ou dépourvues d'inductance ;
- des courants exceptionnellement élevés dans les neutres, supérieurs au dimensionnement des conducteurs neutres et des jeux de barres ;
- des tensions neutre-terre trop élevées, inacceptables du point de

6 Formes d'onde de tension (haut) et de courant (bas) avant filtrage actif, côté BT

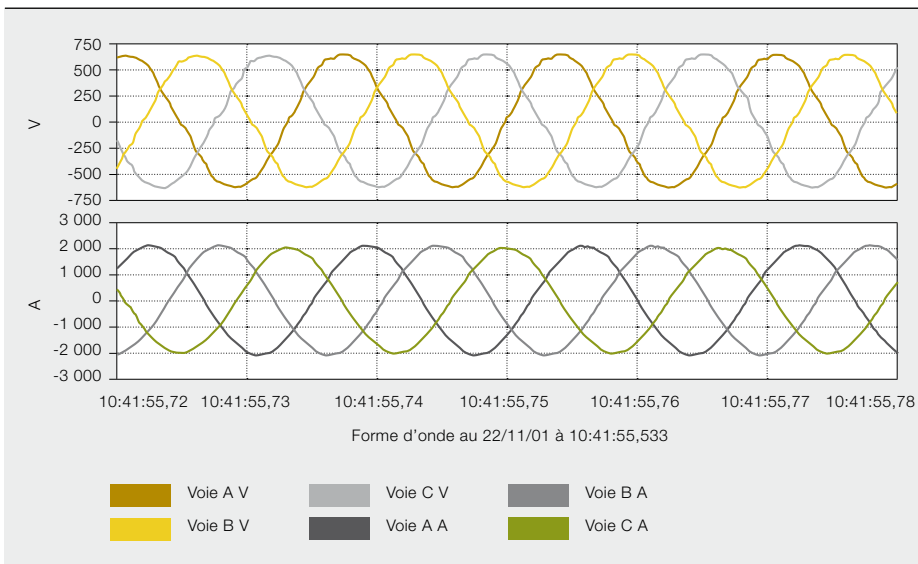


8 Sur ce navire, les filtres PQF d'ABB ont permis d'économiser 10 % de carburant.



Les filtres PQF d'ABB disposent aussi de fonctions qui minimisent les pertes en exploitation et fiabilisent l'installation.

7 Formes d'onde de tension (haut) et de courant (bas) après filtrage actif, côté BT



vue du fonctionnement du matériel et/ou de la sécurité ;
 – la présence d'un $\cos \varphi$ capacitif dû aux serveurs informatiques modernes, obligeant à déclasser les ASI, etc.

autres pièces. La qualité du service s'en ressentait, avec le risque de perdre des clients : une situation inacceptable, « redressée » par les filtres actifs d'ABB !

Voyons un exemple d'amélioration de la qualité du courant dans un grand hôtel abritant chambres, suites, salles de réunion et centres d'affaires. Parmi les charges types figurent des ascenseurs rapides, des variateurs de lumière et éclairages sophistiqués, ainsi qu'un parc bureautique d'ordinateurs, imprimantes, etc. Toutes ces charges ont eu pour effet de dégrader la qualité du courant au point de rendre la tension instable. Le simple changement du point de fonctionnement des charges d'un côté de l'établissement perturbait le fonctionnement des charges situées dans les

Kurt Schipman

François Delincé

ABB Power Products

Charleroi (Belgique)

kurt.schipman@be.abb.com

francois.delince@be.abb.com

Bibliographie

- [1] Institut européen du Cuivre, *European Power Quality Survey Report*, 2002.
- [2] IEEE C57 110-2008, *IEEE Recommended Practice for Establishing Transformer Capability When Supplying Non-sinusoidal Load Currents*, 2008.
- [3] Kuo, B. C., *Automatic Control Systems*, John Wiley & Sons, Inc., New York, États-Unis.



Branchement électrique des navires à quai

Une solution clé en main d'ABB pour réduire les émissions polluantes dans les ports

KNUT MARQUART, TON HAASDIJK, GB FERRARI, RALPH SCHMIDHALTER – Dans le secteur du transport maritime, les ports concentrent une part importante des émissions polluantes. Depuis une dizaine d'années, les autorités portuaires, les armateurs, les constructeurs et équipementiers navals ainsi que les régulateurs suivent de près l'évolution des technologies du courant quai¹. Dans ce domaine, des normes et standards de l'IEEE, de l'ISO et de la CEI sont sur le point d'être adoptés. En se branchant sur le réseau électrique terrestre, les navires à quai peuvent arrêter leurs moteurs Diesel et être alimentés par des sources d'énergie moins polluantes. ABB, qui a installé avec succès la première connexion quai à bord dans le port suédois de Göteborg en 2000, dispose non seulement de la technologie mais également de l'expérience indispensable pour fournir les infrastructures électriques complètes à bord et à quai.



Avec la solution ABB de courant quai, un gros paquebot qui fait escale pendant 10 heures dans un port peut économiser jusqu'à 20 tonnes de combustible et réduire de 60 tonnes ses rejets de CO₂.

Plus de 90 % des marchandises mondiales sont transportées par mer. Si le fret maritime est plus efficace et moins polluant que le transport terrestre par camions et beaucoup moins que le transport aérien, il représente néanmoins 4 % des émissions mondiales de CO₂ (2 % pour l'aviation). Avec la solution ABB de courant quai, un gros navire de croisière qui fait escale pendant 10 heures dans un port peut économiser jusqu'à 20 tonnes de combustible et réduire ses rejets de CO₂ de 60 tonnes, soit l'équivalent des émissions totales annuelles de 25 berlines européennes. L'intérêt accru pour les solutions d'alimentation électrique des navires à quai n'est donc pas surprenant, tant pour des raisons écologiques qu'économiques. Raccordé au réseau terrestre, un navire peut arrêter ses moteurs tout en poursuivant ses activités consommatrices d'électricité pendant l'escale (chargement/déchargement, éclairage, climatisation, etc.). L'opération de connexion et déconnexion ne prend qu'une quinzaine de minutes ; la gestion

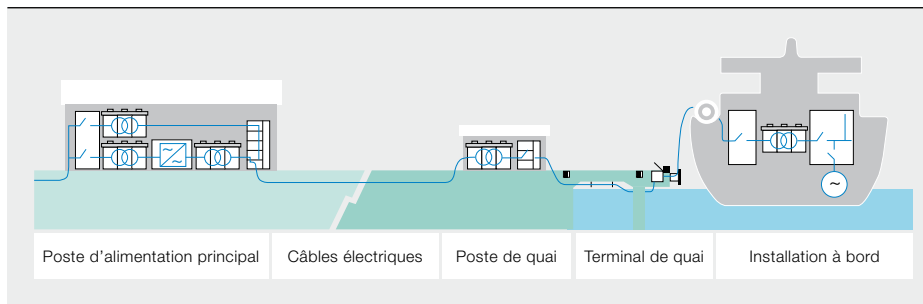
et la fourniture d'énergie électrique relèvent de l'opérateur portuaire.

Le branchement direct à quai impose des investissements à la fois de l'armateur et des autorités portuaires ou opérateurs de terminaux qui doivent soit modifier les infrastructures existantes, soit en construire de nouvelles → 1. En effet, le navire doit être doté d'un tableau électrique supplémentaire câblé sur son tableau général et, dans de nombreux cas, d'un transformateur abaisseur. Dans le port, un nouveau poste électrique doit être construit et équipé de disjoncteurs et de sectionneurs, d'un interrupteur de mise à la terre automatisé, d'un transformateur, d'appareils de protection (transformateurs et relais de protection de ligne), de moyens de communication entre le navire et le quai, et souvent d'un convertisseur de fréquence pour adapter la fréquence du réseau terrestre à celle de chaque navire. Enfin, un système de manipulation des câbles doit être prévu à quai ou à bord.

La technologie est disponible et suscite une attention croissante au vu du potentiel de réduction des émissions polluantes et de l'imminence de sa normalisation. Les réglementations se multiplient et le courant quai fait l'objet de débats accrus dans l'Union européenne (UE), aux États-Unis et au sein de l'Organisation maritime internationale (OMI), institution spécialisée de l'ONU. Entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2010, la directive européenne 2005/33/EC dispense les navires équipés pour le courant quai de l'obligation d'utiliser des fiouls lourds à teneur réduite en soufre pendant leur escale au port. Aux États-Unis, la législation varie d'un État à l'autre : ainsi, en Californie, précurseur en matière de réglementation antipollution, certains types de navire sont obligés de se connecter au réseau électrique terrestre pendant leur escale. Par contre, au niveau de l'OMI, de nouvelles limitations de la

Note

- 1 Aussi appelées « branchement ou connexion quai à bord », « connexion électrique des navires à quai » et « branchement direct à quai ».



teneur en soufre des combustibles renforcent l'attrait économique du courant quai sans l'imposer ou le favoriser explicitement.

Cette technologie est bien implantée → 2 et déjà disponible dans plusieurs ports, notamment aux États-Unis, en Belgique, en Chine, au Canada, en Allemagne, en Suède, en Finlande et aux Pays-Bas. Une nouvelle série de normes électriques internationales en passe d'être ratifiée devrait accélérer son développement pour tous les principaux types de navires et de ports à travers le monde.

Contexte réglementaire

Conscientes de l'impact majeur des émissions polluantes des navires sur la santé publique et sur les coûts, les autorités de réglementation focalisent de plus en plus leur attention sur ce secteur d'activités. Dès la fin des années 1980, l'OMI cherchait à réduire l'impact environnemental du transport maritime (la lutte contre la pollution par les hydrocarbures étant bien antérieure). Les autorités nationales, municipales et portuaires réglementent aussi de plus en plus les émissions polluantes des navires.

À ce jour, aucune loi ni règle obligent les navires à quai à se raccorder à un réseau électrique terrestre. Pour autant, un cadre normatif aurait un effet incitatif propice à l'adoption accrue des technologies de courant quai.

Union européenne

En Europe du nord, les premières études à grande échelle des émissions polluantes au niveau mondial remontent aux années 1970. Partant de là, les efforts de réduction des émissions dangereuses pour la santé publique (pluies acides, par exemple) ont d'abord porté sur la pollution d'origine terrestre. Au cours des années 1980, l'accent fut donc mis sur les centrales d'énergie ainsi que le trafic

automobile et poids lourd. Or les études révélèrent des niveaux plus élevés de dépôts polluants sur les zones côtières et le long des grands couloirs de navigation comme la Manche, avec un pollueur bien identifié : le fret maritime international. En 1988, la Suède et la Norvège attirèrent l'attention de l'OMI sur ces études. Près d'une décennie plus tard, la convention de l'OMI (MARPOL Annexe VI), qui limite la teneur en polluants des combustibles marins, fut adoptée et entra en vigueur en 2005.

Dans le sillage de l'OMI, l'UE prit des mesures pour réduire les émissions polluantes des navires. Dès 2001/2002, elle s'intéressa aux possibilités offertes par l'alimentation électrique des navires à quai. Ses travaux débouchèrent sur une directive obligeant tous les navires accostant dans un port européen à utili-

L'écobilan de l'électricité produite par les centrales d'énergie à terre comparé à celui des moteurs Diesel marins fonctionnant aux soutes est un des principaux avantages du courant quai.

ser des fiouls marins à teneur en soufre maximale de 0,1 % à quelques exemptions près, notamment les navires recourant au courant quai.

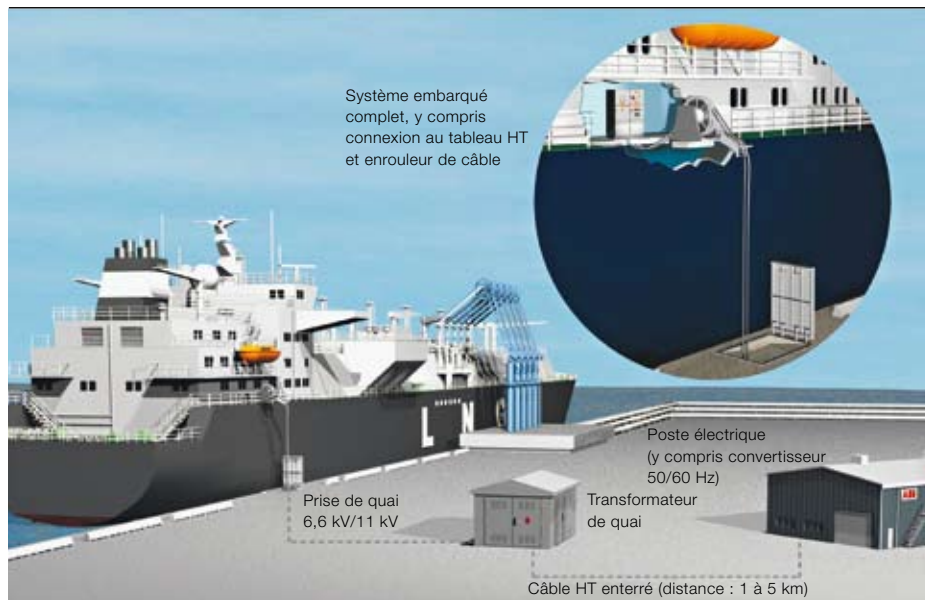
L'UE a opté pour une politique qui ne privilégie aucune piste technologique mais fixe des objectifs prioritaires de réduction des rejets polluants. Pour le transport maritime, la réglementation européenne cherche avant tout à réduire les émissions qui ont un impact immédiat sur la santé des populations vivant à proximité des ports ou des principales voies de navigation, et ce dans une perspective régionale. Les effets durables et à grande échelle de l'acidification et des émissions de particules ont également motivé la réglementation. (Concernant le transport maritime, l'accent n'est pas mis sur les rejets de CO₂ car ils ont peu d'impact sur la santé des populations locales, comparés aux émissions de particules.) Le problème a été abordé par l'UE et l'OMI, en particulier dans le cadre du système d'échange des quotas d'émissions, sans toutefois déboucher sur aucune décision à ce jour.

États-Unis

Contrairement à l'UE, l'Agence de Protection de l'Environnement (EPA) de l'État de Californie est allée beaucoup plus loin dans l'adoption de l'alimentation électrique à quai, sans pour autant éclipser les autres solutions techniques de réduction des émissions. En effet, l'EPA oblige les porte-conteneurs, navires de passagers et cargos frigorifiques soit à arrêter leurs moteurs auxiliaires pendant la majeure partie de leur escale dans un port californien et à se raccorder à une autre source d'énergie (réseau électrique, par exemple), soit à utiliser d'autres techniques antipollution qui réduisent dans les mêmes proportions leurs émissions.

À l'origine, cette réglementation ne s'appliquait qu'à certains types de navire et pour des flottes faisant escale 25 fois par an ou plus en Californie. Depuis le 1^{er} janvier 2010, tout navire équipé pour le courant quai et appartenant à une flotte de ce type doit s'y raccorder si les infrastructures à quai existent et sont compatibles avec les équipements de bord. En 2014, une double obligation s'imposera : les navires non équipés ne pourront plus faire escale et les moteurs auxiliaires des navires d'une même flotte ne pourront fournir plus de 50 % de l'énergie consommée pendant les escales. En 2017, 70 % des navires d'une même flotte devront être alimentés par le réseau électrique terrestre pendant leur

2 Vue générale de la solution d'alimentation électrique des navires à quai



escale et l'énergie produite par leurs moteurs devra être réduite de 70 % ; en 2020, ces chiffres passeront à 80 %.

L'évolution de la réglementation de l'OMI, de l'UE et de la Californie est étroitement suivie par les régulateurs d'autres États américains et de pays asiatiques. La réglementation sur les émissions polluantes des navires à quai risque fort de se durcir et les taxes sur les différentes sources de pollution d'augmenter. Les navires équipés pour le courant quai en seraient exemptés, ouvrant la voie à des entreprises comme ABB capables de proposer une solution complète d'alimentation électrique des navires à quai.

Quantifier les avantages

Pour les autorités portuaires et les armateurs, les avantages comparatifs de la connexion courant quai et des technologies antipollution concurrentielles font débat. Le profil d'exploitation du navire a également un impact important : un ferry, par exemple, qui fait escale chaque jour est très différent d'un porte-conteneurs qui ne s'arrête qu'une fois par mois. Dans un contexte réglementaire en évolution constante, il est difficile pour un investisseur de calculer le retour sur investissement à long terme. La fluctuation du prix des fiouls soutes² par rapport au prix du kW fourni par le réseau terrestre a également une incidence sur les calculs.

L'écobilan de l'électricité produite par les centrales d'énergie à terre comparé à celui des moteurs Diesel marins fonctionnant aux soutes est un des princi-

aux avantages du courant quai. En règle générale, lorsque l'énergie peut être produite par un nombre minimal d'équipements, leur fonctionnement est plus facile à optimiser pour réduire l'impact environnemental.

Autre argument en faveur du courant quai : l'avantage de la compétence juridictionnelle, les régulateurs pouvant résoudre localement un problème de pollution locale. Certes, les efforts de réduction des émissions polluantes des moteurs auxiliaires Diesel d'un navire qui sillonne les mers profitent au monde entier, mais il reste en dehors du périmètre d'action de toute autorité locale ou régionale.

Le branchement des navires au réseau terrestre renforcerait l'efficacité et la puissance de l'alimentation électrique du port lui-même. En effet, l'utilisation de convertisseurs de fréquence modernes contribuerait à stabiliser le fonctionnement du réseau local et améliorerait le facteur de puissance, réduisant les pertes du système électrique dans le périmètre géographique.

Note

2 Type de combustible liquide pour navires

Par rapport à d'autres technologies antipollution, les systèmes de courant quai ont l'avantage supplémentaire de réduire les nuisances sonores et les vibrations dans les zones portuaires, au grand soulagement des équipages, des passagers, des personnels portuaires et des riverains, en particulier ceux des grands ports maritimes. Certains ports ont aujourd'hui des difficultés pour obtenir les autorisations d'extension du fait de niveaux d'émissions polluantes, de bruit et de vibration trop élevés.

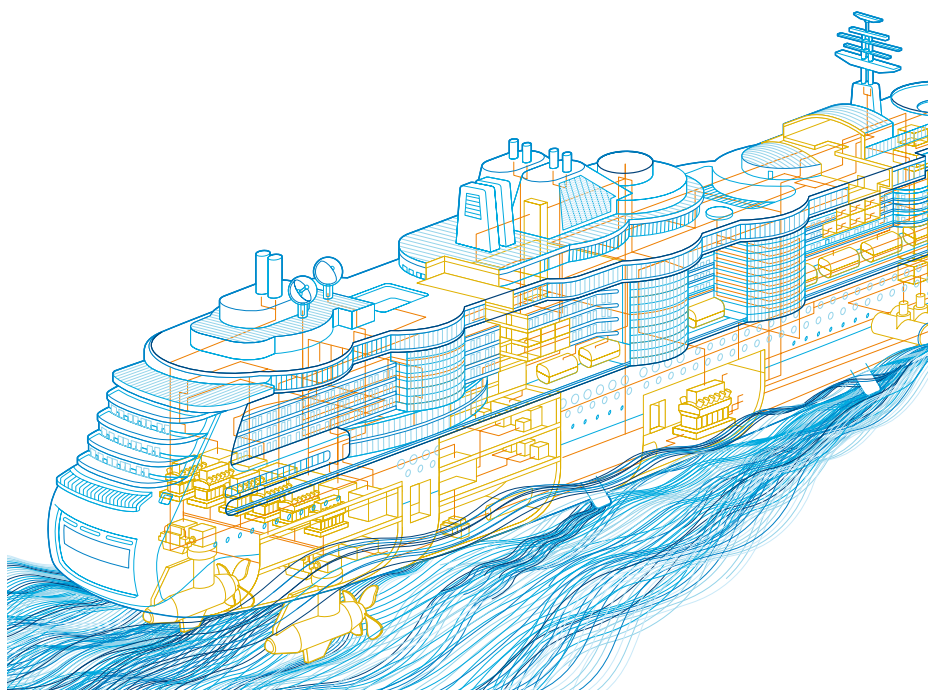
Enfin, les systèmes de courant quai peuvent aisément évoluer ; les investissements d'infrastructures ont une durée de vie de plusieurs décennies, génèrent des recettes sur le long terme et exigent relativement peu de maintenance. Pour chaque nouveau port qui investit dans ces systèmes, leur valeur cumulée augmente en proportion puisqu'un nombre croissant de navires et d'appareillages sont concernés.

Les arguments contre cette technologie sont liés à l'origine de l'électricité fournie par le réseau terrestre, aux coûts des investissements d'infrastructures, à la

Par rapport à d'autres technologies antipollution, les systèmes de courant quai ont l'avantage supplémentaire de réduire les nuisances sonores et les vibrations dans les zones portuaires.

sécurité et à l'efficacité des opérations portuaires, et à la nécessité d'utiliser des technologies qui auront également une incidence sur les émissions polluantes d'un navire en mer. Des études ont montré que le basculement de la production énergétique des moteurs Diesel d'un navire vers l'électricité produite par des centrales au charbon offrait un avantage environnemental limité (augmentation des particules et, éventuellement, des oxydes de soufre). D'autres sources d'énergie présentent toutefois des avantages considérables : les énergies renouvelables, en particulier, améliorent l'empreinte écologique des opérateurs portuaires.

3 Les solutions ABB de courant quai ont déjà été installées à bord de pétroliers, de porte-conteneurs et de navires de croisière.



Les investissements d'infrastructures de courant quai atteignent des sommes considérables et leur répartition entre pouvoirs publics, opérateurs de port ou de terminal et armateurs n'est pas encore établie. Dans le port de Göteborg, par exemple, un affréteur résolu à améliorer l'écobilan de sa chaîne d'approvisionnement a lui-même payé ces infrastructures. Dans les ports américains de Long Beach et de Los Angeles, propriétés de la municipalité, les infrastructures sont financées par les contribuables. Pour autant, au fur et à mesure que le coût des émissions polluantes augmente et que la réglementation antipollution se renforce, des fonds supplémentaires privés et publics seront disponibles.

La sécurité et l'efficacité des opérations portuaires jouent également un rôle très important. Les terminaux de conteneurs avec leurs énormes portiques posent des problèmes d'emplacement des câbles et des équipements de quai. Dans les ports, l'espace est compté ! De surcroît, à la fois les autorités portuaires et les armateurs sont soucieux des dangers de l'électricité pour leur personnel. L'adoption de normes et de règles très strictes ainsi que de solutions techniques qui n'entravent pas les opérations sur les quais mais permettent la manipulation de câbles en toute sécurité devraient apaiser ces craintes.

Solution d'avenir

Des connexions de courant quai ont été installées dans plus d'une vingtaine de terminaux portuaires dans le monde depuis 2000 et à bord de plus d'une centaine de navires : paquebots de croisière, pétroliers et porte-conteneurs → 3. Nombreux sont les opérateurs portuaires et armateurs prêts à investir dans cette technologie à condition que des normes internationales soient adoptées.

L'absence de référentiel international a freiné les investissements dans cette technologie de même que son attrait. Des spécifications existent ; elles sont utilisées par les armateurs et les autorités portuaires pour évaluer de futures installations. Les solutions technologiques actuelles s'en inspirent largement.

Les initiatives aux niveaux local, national et international qui inciteront à l'adoption du courant quai englobent les taxes sur les combustibles fossiles, les limites imposées aux fiouls marins et les possibilités de branchement des navires à quai (ou d'autres solutions réduisant autant les émissions polluantes).

Le courant quai constitue, dans la plupart des cas, un moyen pratique et efficace pour réduire les émissions dans les grandes zones portuaires. La technologie est là mais son adoption est subordonnée à sa disponibilité dans un grand

nombre de ports et à bord de nombreux navires. ABB a développé des solutions adaptables et flexibles qui répondent aux besoins des armateurs et des ports, notamment des solutions de branchement à bord et à quai. Le Groupe est parmi les rares entreprises au monde à compter des références dans ce domaine. Il faut 6 à 12 mois pour concevoir et développer des infrastructures pour un ou plusieurs mouillages ; quelques mois suffisent pour développer des infrastructures à bord qui seront installées en une semaine.

Beaucoup pensent qu'une norme internationale ouvrirait la voie à d'importants investissements dans les infrastructures de courant quai, incitant encore un plus grand nombre d'armateurs et d'autorités portuaires à s'équiper de cette technologie. De nombreuses extensions portuaires sont en projet dans le monde. Avec sa solution efficace et écoproformante d'alimentation électrique des navires à quai, ABB peut fournir toutes les technologies requises. Pour être en phase avec les besoins du marché, ABB continue de collaborer avec ses clients partout dans le monde.

Le prochain numéro de la *Revue ABB* décrira de manière plus détaillée les technologies mises en œuvre dans les solutions ABB de courant quai.

Knut Marquart

ABB Marketing and Customer Solutions
knut.marquart@ch.abb.com

Ton Haasdijk

ABB marine solutions
ton.haasdijk@nl.abb.com

GB Ferrari

ABB shore solutions
gb.ferrari@it.abb.com

Ralph Schmidhalter

ABB frequency converter solutions
ralph.schmidhalter@ch.abb.com

Pour en savoir plus
www.abb.com/ports

Les réseaux électriques du futur



- 6 Maillage intelligent**
Tisser un réseau d'énergie efficace pour un monde durable.
- 10 Que la lumière soit... intelligente**
Les futures autoroutes d'une électricité propre, fiable et durable
- 16 Vent debout!**
PCS 6000 STATCOM
- 20 Liaisons durables**
Le transport CCHT donne le cap du réseau intelligent.
- 24 Énergie en stock**
Nouvelle génération de dispositifs FACTS
- 27 L'intelligence aux commandes**
L'intégration de la supervision et de la gestion de la distribution renforce l'analyse et la conduite du réseau.
- 33 Connexions**
Le système nerveux du réseau intelligent
- 38 Conduite à 360°**
Une gestion de la distribution intégrée et communicante
- 44 Toile électrique**
ABB collabore avec de grands instituts de recherche pour bâtir les réseaux électriques du futur.
- 49 Réactivité sur toute la ligne**
La compensation de puissance réactive contre les chutes de tension
- 57 Pôle position**
Pôle encastré PT1 pour applications moyenne tension
- 63 La cinquantaine en grande forme**
Maintenance proactive des transformateurs *TrafoAsset Management™*
- 70 Agent double**
Les variateurs diagnostiquent l'état fonctionnel des machines et procédés industriels.
- 76 De l'intelligence au compteur**
Une centrale de mesure communicante
- 79 Les couleurs de l'intuition**
Solutions domotiques et immotiques de régulation par pièce

Les voies de l'écomobilité



- 6 ABB et le rail, une réussite en mouvement**
Le portefeuille du Groupe
- 8 Face à face pour une mobilité durable**
Interview croisée entre l'UNIFE et ABB
- 14 La grande vitesse en première ligne**
Équipements de traction et de conversion ABB
- 19 Révolution chinoise**
ABB équipe le plus moderne réseau ferroviaire au monde.
- 24 Feu vert pour les chemins de fer indiens**
ABB modernise le rail indien.
- 31 La Suisse sur les rails**
ABB et les grands projets ferroviaires du pays alpin
- 35 Connaissances FACTuelles**
Les FACTS améliorent l'alimentation électrique de la traction ferroviaire.
- 42 À convertisseurs statiques, performances dynamiques**
Une énergie de traction toujours à la bonne fréquence
- 48 Le disjoncteur nouveau est arrivé**
Disjoncteurs à vide d'extérieur FSK II
- 51 Bain turc pour transformateurs secs**
Transformateurs de type sec et à enroulements moulés sous vide
- 55 Les transformateurs entrent en gare**
Le train-train quotidien des transformateurs de traction ABB
- 60 Accord parfait**
Des convertisseurs de traction pour tous les engins ferroviaires
- 66 Le moteur de traction se standardise**
Moteurs asynchrones modulaires ABB
- 70 Service compris!**
Le catalogue de services ABB dédiés au rail
- 77 L'aube d'une ère nouvelle**
Stations de recharge pour véhicules électriques
- 82 Prise de terre**
Solutions ABB d'alimentation électrique des navires à quai
- 84 Rapidité, sécurité, compétitivité**
Un sectionneur de terre ultrarapide pour appareillage MT
- 88 L'électrification de la grande traction ferroviaire**
Une longue tradition ABB

Souffle d'énergie



- 6 Réduction des émissions de CO₂**
Le temps de retour écologique des variateurs de vitesse ABB
- 10 Construire écologique, durable et efficace**
Le nouveau centre de production et de logistique sud-africain d'ABB
- 14 Entraînement intensif**
La technologie DTC de commande des moteurs pour le nouveau stade des *Dallas Cowboys*
- 19 Larguer les amarres**
Propulsion électrique des navires remorqueurs releveurs d'ancre
- 23 Face au vent**
Le parc éolien *Alpha Ventus*
- 27 Semi-conducteurs**
Chevilles ouvrières des réseaux électriques du XXI^e siècle
- 33 Toujours plus haut**
Un nouveau centre ABB pour tester le transport en courant continu THT
- 36 Arc Guard System™**
Garde-fou de vos collaborateurs et de votre activité
- 40 Le disjoncteur devient sectionneur**
Maximiser la disponibilité des postes à coupure dans l'air.
- 47 Votre avis nous intéresse**
Dix questions pour améliorer la *Revue ABB*.
- 49 Systèmes collaboratifs d'automatisation de procédés**
800xA d'ABB

Creuset de productivité



- 6 Quête d'efficacité**
Poste opérateur 800xA
- 12 Barrières de sécurité**
La sécurité fonctionnelle des variateurs de fréquence
- 16 Secousses sismiques et équipements électriques**
Des méthodes d'analyse innovantes
- 20 Semi-conducteurs de puissance et transport électrique**
Ossatures des réseaux du XXI^e siècle
- 27 Départ-moteur intelligent**
L'UMC100 aux commandes des moteurs industriels
- 32 Démarreur ou variateur ?**
Comparatif des démarreurs progressifs et des variateurs de fréquence
- 40 Lignée eXTraordinaire**
Nouveaux disjoncteurs en boîtier moulé *Tmax XT*
- 46 Jamais sans mon transformateur**
Transformateurs modulaires à déploiement rapide pour réseaux de transport HT
- 51 Filtres actifs contre harmoniques**
Solutions *PQF* d'ABB
- 56 Branchement électrique des navires à quai**
Réduire les émissions polluantes dans les ports
- 61 Index 2010**

Rédaction

Peter Terwiesch

Chief Technology Officer
Group R&D and Technology

Clarissa Haller

Head of Corporate Communications

Ron Popper

Head of Corporate Responsibility

Eero Jaaskela

Head of Group Account Management

Friedrich Pinnekamp

Vice President, Corporate Strategy

Andreas Moglestue

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

Édition

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

ABB Asea Brown Boveri Ltd.

ABB Review/REV

CH-8050 Zürich

Suisse

La Revue ABB paraît quatre fois par an en anglais, français, allemand, espagnol et chinois. Elle 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 de la revue.

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

Édition et droits d'auteur ©2010

ABB Asea Brown Boveri Ltd.

Zurich (Suisse)

Impression

Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH

AT-6850 Dornbirn (Autriche)

Maquette

DAVILLA Werbeagentur GmbH

AT-6900 Bregenz (Autriche)

Traduction française

Dominique Helies

dhelies@wanadoo.fr

Avertissement

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

ISSN : 1013-3119

www.abb.com/abbreview



Dans le numéro 1111

Technologie & innovation : ABB turbine . . .

L'innovation est un moteur du progrès : de tout temps, elle surmonte les défis technologiques et apporte des solutions inédites en termes d'efficacité, de productivité ou de fonctionnalité. ABB est dévoué à sa cause.

La dernière *Revue ABB* de l'année lui est traditionnellement consacrée avec une sélection des avancées majeures du Groupe en recherche-développement et des lancements produits importants. Désormais, c'est à notre premier numéro de l'année qu'il revient de faire le point sur les grandes innovations de l'an passé.

Nous inaugurerons ainsi 2011 avec des articles sur un nouveau moteur à très haut rendement, les progrès du contrôle-commande et un éclairage résidentiel personnalisable.



Réduire de 180 millions de tonnes les émissions de CO₂ par an ?

Pour la seule année 2009, les économies d'énergie réalisées par le parc mondial de variateurs ABB ont réduit de 180 millions de tonnes les émissions de CO₂. Ce système intelligent de commande en vitesse variable des moteurs électriques, qui diminue la consommation énergétique des machines entraînées, est une des nombreuses solutions d'énergie et d'automatisation proposées par ABB. Celles-ci gèrent la consommation énergétique de manière efficace, diminuent les émissions de carbone et abaissent les coûts de nos clients.
www.abb.ch/betterworld

Absolument