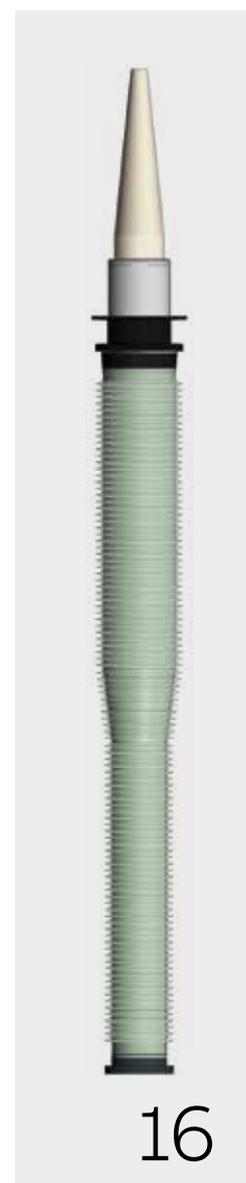


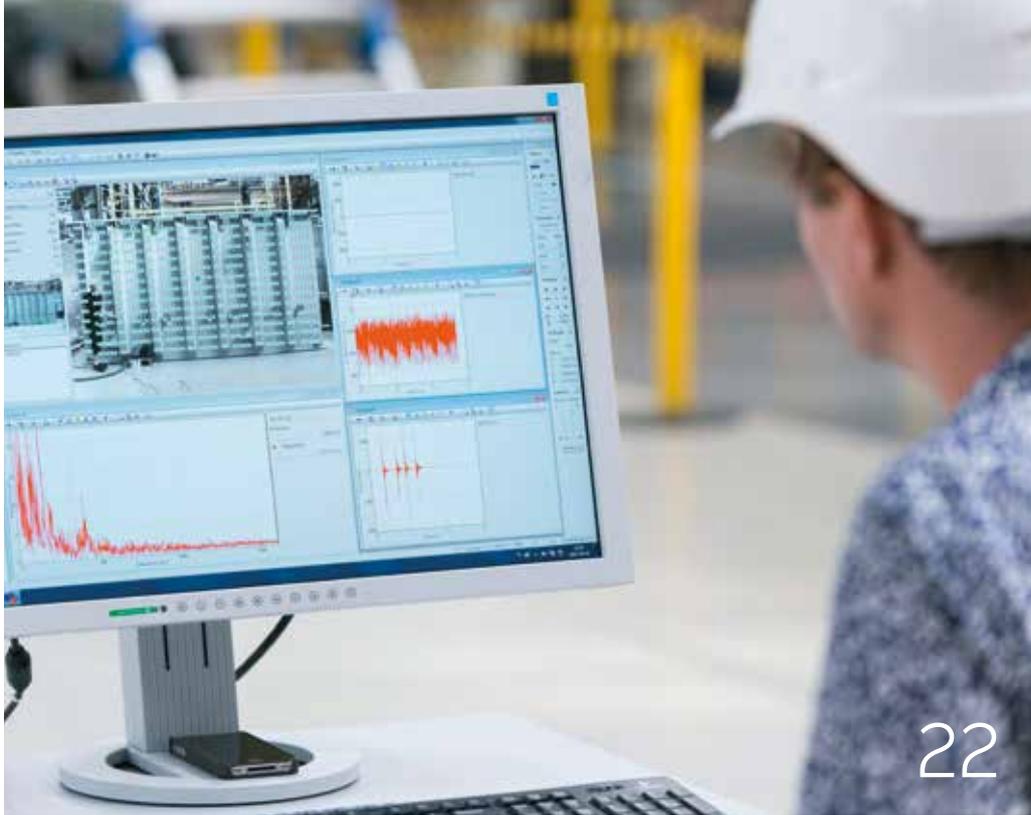
review

02|2018 fr

Conçu pour exceller



-
- 06–27 L'excellence en conception
 - 28–65 Numérique et analytique
 - 66–81 Dynamique
 - 82–93 Énergie



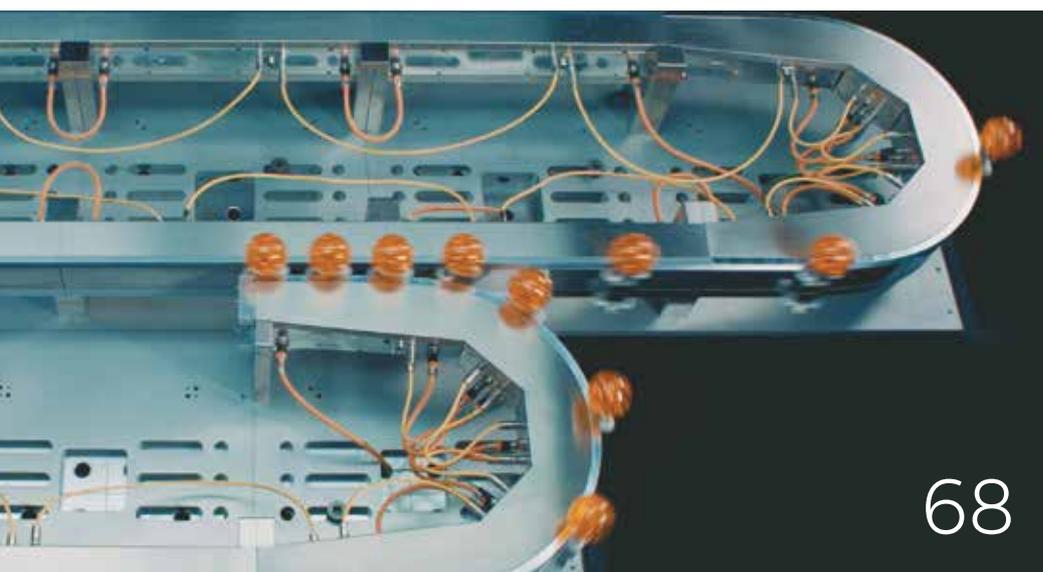
22

Transformateurs en sourdine



90

Inverseur de sources TruONE™



Production sur voie express

68



08

Tirer parti de la complexité



58

Jumeau numérique
et débitmétrie



52

Analyse rapide
des défauts papier

05 Éditorial

L'excellence en conception

08 Tirer parti de la complexité
16 Simulation de traversées HT
22 Transformateurs en sourdine

Numérique et analytique

30 Plus une goutte d'eau à perdre !
38 Commande avancée et modélisation
46 Un banc d'essai pour ABB Ability™
52 Analyse rapide des défauts papier
58 Jumeau numérique et débitmétrie

Dynamique

68 Production sur voie express
74 Flexibiliser la production de masse
76 Entraînements sans réducteur

Énergie

84 Disjoncteur d'alternateur HEC 10
90 Inverseur de sources TruONE™

Le mot du moment

94 Jumeau numérique

95 Publication ABB

Garantir l'intégrité et la fonctionnalité des ouvrages et des machines, ou encore faire savamment converger systèmes énergétiques et données industrielles : l'excellence en conception est une vertu cardinale qui ne va pas sans une fine connaissance du fonctionnement et de l'imbrication de toutes les pièces du puzzle. Sans oublier des talents de visionnaire pour inventer d'autres possibles. Ce numéro vous livre le meilleur de la conception ABB.

Nous attendons vos remarques sur abb.com/abbreview.

ÉDITORIAL

Conçu pour exceller



Chers lecteurs,

Qu'est-ce qui caractérise un produit bien conçu ? Aujourd'hui, pour un outil industriel, accomplir sa tâche à la perfection ne suffit plus ; il lui faut littéralement « prendre conscience » de lui-même, se fondre en transparence dans l'environnement productif et, au-delà, dans toute la chaîne de valeur. En s'appropriant les flux de données, les processus et l'intelligence du numérique, l'outil devient acteur d'un écosystème évolué, dans lequel le tout est bien plus que la somme des parties.

La collecte et le partage des informations sont justement les deux piliers du « jumeau numérique ». Aux données et tendances recueillies du procédé, ce double virtuel greffe des informations réelles et contextuelles : ainsi peut-il non seulement modéliser et prédire le comportement d'un équipement ou d'un système, mais aussi simuler des paramètres inobservables ou un état futur. Un outil numérique par excellence, qui lève l'incertitude en phases de conception et de configuration et seconde l'application par des fonctions (suivi d'état, par exemple) et des services avancés, gages de disponibilité et de fiabilité.

Puisse ce numéro d'*ABB Review* vous éclairer sur les subtilités de la conception numérique.

Bonne lecture,

A handwritten signature in red ink, appearing to read 'Bazmi Husain'. The signature is stylized and fluid.

Bazmi Husain
Directeur des technologies



L'excellence en concept



08

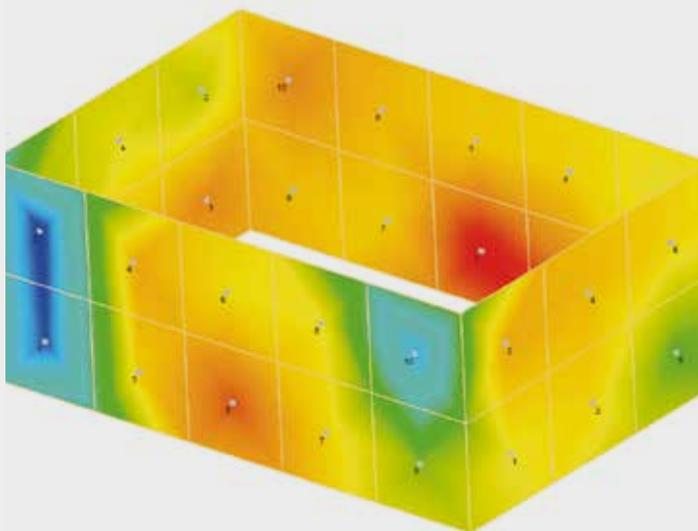
e ion



Un procédé imprévisible ou perturbé par des phénomènes parasites révèle souvent une mauvaise compréhension de la physique sous-jacente. L'innovation ABB met au jour et modélise les interactions, profils et comportements des éléments constitutifs d'un système pour optimiser la performance du contrôle-commande, des composants CCHT ou des transformateurs.

- 08 Ttirer parti de la complexité
- 16 Le numérique pour des traversées modèles !
- 22 Les transformateurs ABB se mettent en sourdine

16



22

L'EXCELLENCE EN CONCEPTION

Tirer parti de la complexité

L'usine 4.0 et ses mutations numériques annoncent une nouvelle ère dans la conduite de procédé en facilitant la compréhension et la gestion d'un large éventail de tâches.

Martin Hollender
ABB Corporate Research
Ladenburg (Allemagne)

martin.hollender@de.abb.com

Tone Grete Graven
ABB Industrial Automation
Oslo (Norvège)

tone-grete.graven@no.abb.com

Jeton Partini
Pierre Schäring
CGM, Future Operations
Center
Borås (Suède)

jeton.partini@se.abb.com
pierre.scharing@se.abb.com

L'usine 4.0, cette quatrième révolution industrielle fondée sur les systèmes cyber-physiques et portée par les technologies du numérique, des objets connectés, du Big data, de l'intelligence artificielle (IA) et de la réalité virtuelle, réinvente le contrôle-commande de procédé. Elle promet de faciliter la compréhension et la gestion de tâches de plus en plus complexes comme la détection et le diagnostic de défauts, ainsi que l'optimisation de process.

Capteurs abordables et intelligence artificielle permettent déjà à un opérateur de surveiller seul tout un atelier.

Mieux encore, elle annonce une nouvelle génération de centres de conduite connectés. Toutefois, faute de personnel chevronné et d'environnement de travail collaboratif, ces évolutions resteront lettre morte.



De la même manière que les véhicules autonomes sont appelés à transformer le secteur des transports, les logiciels d'automatisation évolués révolutionnent le contrôle-commande industriel. Grâce à des capteurs numériques abordables et à de puissants algorithmes d'IA permettant la reconnaissance d'images, la surveillance vibratoire et bien d'autres fonctionnalités, ces automatisations remplacent progressivement la détection humaine. Pour preuve, il n'est pas rare aujourd'hui qu'un opérateur surveille seul tout un atelier.



01

—
01 Dans les raffineries d'hydrocarbures, une myriade de sous-systèmes doit collaborer harmonieusement et sans faille, ce qui exige une gestion des données optimisée.

De nombreux progrès restent à accomplir. Même si les systèmes d'information industriels intégrés savent recueillir des données d'exploitation à des fins collaboratives [1] et les transmettre aux

—
Pourquoi l'immense potentiel de l'usine numérique n'est-il pas pleinement exploité ? La réponse tient en un mot : complexité.

bonnes personnes en temps réel, une étude de McKinsey [2] montre que, sur les plates-formes pétrolières par exemple, seule une poignée de ces données débouche sur des décisions opérationnelles →2.

Abolir les silos

Pourquoi cet immense potentiel n'est-il pas pleinement exploité ? La réponse tient souvent en un mot : complexité. Les unités de production modernes étant des systèmes fortement interconnectés, il y a fort à parier qu'une anomalie survenant en un point du procédé se propage aux autres sous-ensembles et composants du site. De plus, les systèmes d'automatisation évolués qui font interagir ces éléments en dynamique brouillent les pistes et compliquent encore l'analyse des problèmes potentiels. À cette complexité intrinsèque s'ajoute la composante humaine, avec la collaboration d'équipes pluridisciplinaires et le recours à une expertise souvent externalisée.

		Remarque	Origine des données
	Personnel et procédé	0 % Planning tributaire du calendrier de maintenance préconisé par le constructeur d'origine	Entretiens avec les opérateurs
	Déploiement	< 1 % Aucune interface ne permet aux analyses temps réel de parvenir au site distant.	
	Analyse	< 1 % Seuls quelques KPI sont suivis, en différé.	Examen des données de l'informatique décisionnelle et des KPI
	Gestion des données	Env. 1 % Les données n'étant pas disponibles en temps réel, seules des analyses ad hoc sont possibles.	Examen de l'infrastructure et de la bande passante entre conduite à terre et site distant
	Infrastructure	60 % Seulement 1 % des données peuvent être diffusées au centre de conduite pour une utilisation au quotidien.	
	Acquisition des données	100 % Env. 40 % des données ne sont jamais conservées ; les 60 % restantes sont stockées sur le site distant.	Évaluation de la capacité de stockage (sur l'équipement de capacité maximale)

Env. 30 000 mesures

02

Cette coopération entre différents métiers, sites et entités industriels →3 est souvent entravée par la répartition en silos des données nécessaires à la résolution des anomalies. Par ailleurs, de nombreuses entreprises ne bénéficient pas d'une structure organisationnelle et opérationnelle permettant cette pluridisciplinarité, leur démarche relevant davantage de la « course de relais » que du travail en équipe.

Il s'agit d'offrir en environnement industriel les services numériques déjà en place depuis des années dans le tertiaire.

Les industriels n'ignorent pas cette problématique ; face à l'explosion des données numérisées, ils savent pour la plupart que la compétitivité passe inéluctablement par une amélioration des modes de travail.

Les plus ouverts au changement ont recours aux nouveaux outils numériques pour améliorer la performance industrielle : le personnel est par exemple incité à utiliser son propre matériel informatique et à adopter des solutions de mobilité garantant d'une efficacité indépendante du lieu de travail (salle de conduite, atelier ou site distant). En résumé, il s'agit de transposer au milieu industriel les services numériques déjà en place depuis des années dans le tertiaire.

Auparavant confinées dans des systèmes de commande ou des outils propriétaires, les données sont de plus en plus partagées grâce à la communication et à l'intégration des différents systèmes et couches réseaux. Cette tendance ouvre la voie à des applications web facilitant l'accès, depuis tout poste, à des données multisources consolidées. Une collaboration efficace dans le pilotage des procédés commence donc par la mise à disposition des données dans un environnement de travail commun. Les progrès de l'analytique et des techniques de visualisation permettent également aux opérateurs de tirer parti de volumes de données toujours plus importants.

—
02 Dans l'industrie pétrogazière, une infime proportion de données remontées du procédé se traduit par des décisions opérationnelles. (source : McKinsey Digital)

—
03 Collaboration transversale (multisite, multidisciplinaire, multimétier)

D'autres technologies contribuent au travail collaboratif. C'est le cas de la visioconférence. Arrivée à maturité, elle est utilisée par nombre d'entreprises pour déporter la conduite : une simple liaison vidéo entre centre de pilotage des opérations et salle de commande locale suffit. Également disponible en haute qualité sur les appareils nomades ou les stations de travail, elle permet une télé-expertise instantanée.

—
Les technologies numériques tendent à abolir les frontières entre conduite locale et distante.

Ces deux outils conjugués – informatique pour la mobilité et visioconférence pour la collaboration à distance – tendent à abolir les frontières entre conduite locale et centralisée.

Transformer la conduite

Les automatismes modernes, qui couvrent l'essentiel de l'exploitation en temps normal, peuvent aussi prendre en charge de nombreux cas de dysfonctionnement. Des techniques de commande avancée comme la régulation prédictive par modèle (approche algorithmique) et la commande à base d'états (approche cognitive) [5] permettent d'automatiser des tâches très complexes, comme le démarrage d'une usine. L'automatique surclassant le manuel, l'opérateur intervient de moins en moins sur les boucles de régulation internes en lien direct avec le procédé, mais accomplit de plus en plus de tâches de supervision [6] et de gestion d'un grand nombre de modules de commande. Une prise de distance qui a pour contrepartie une moindre connaissance du terrain et des subtilités du procédé, pouvant se solder par de dramatiques accidents comme celui du vol AF447 en 2012 [7].



Pour pouvoir reprendre la main en cas de défaillance des automatismes, les opérateurs ont besoin d'être mieux formés et de comprendre en profondeur les procédés, automates et modules de commande sous-jacents. Le simulateur est à cette fin indispensable.

—

La révolution de l'usine 4.0 ne concerne pas que les flux de données et leur disponibilité : le contrôle qualité est également numérisé.

Le personnel doit aussi être activement impliqué dans l'optimisation des opérations et contribuer à la base de connaissances nécessaire à la reprise en manuel.

Cette transformation ne concerne pas seulement les flux de données et leur disponibilité : le contrôle qualité est également numérisé [8]. Des masses de données historiques viennent nourrir des algorithmes capables de prédire la qualité de la production [9]. Les anomalies peuvent être détectées à un stade précoce et les mesures correctives anticipées avant la panne. Dans le passé, il fallait plusieurs années à l'opérateur pour bâtir une expertise comparable.

Autre méthode pouvant aussi jouer un rôle décisif : l'expertise à distance. Dans l'explosion de la plateforme pétrolière Deepwater Horizon en 2010, le rapport d'enquête a clairement établi qu'une des principales causes de l'accident était une mauvaise interprétation des mesures disponibles. La télé-expertise aurait très probablement permis d'éviter la catastrophe [10].

04



—
04 Poste de travail
panoramique
multi-écran ABB

Optimiser la performance

Les indicateurs clés de performance (KPI), qui portent notamment sur les boucles de régulation, la gestion des alarmes, l'efficacité énergétique et la performance des équipements en général, sont indispensables à la conduite du procédé [11]. Leur prise en compte, étrangère aux attributions classiques d'un opérateur, revêt une importance croissante pour garantir la performance de la production. Des résultats optimaux passent par une gestion globale de l'exploitation, de la maintenance et de l'analyse, par exemple. Bien des tâches correspondantes peuvent être réalisées en interne par des centres de service ou

Le défi : concevoir des environnements de travail collaboratifs intégrant des services à distance.

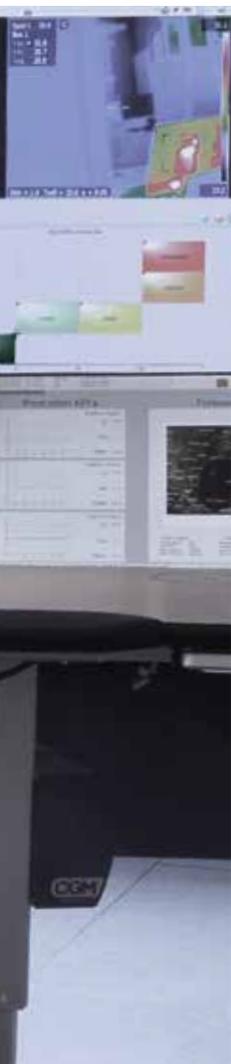
externalisées auprès de prestataires spécialisés. Cette stratégie vise le plus souvent à améliorer le rendement, la productivité et le taux de disponibilité de l'usine [12] selon une approche structurée décrivant l'origine des variations et anomalies du procédé, et des réponses apportées. Limiter ces perturbations accroît la souplesse d'exploitation, la régularité, la sécurité et l'intégrité du procédé tout en réduisant les non-conformités, les coûts énergétiques, l'empreinte écologique, la charge opérateur et l'usure du matériel.

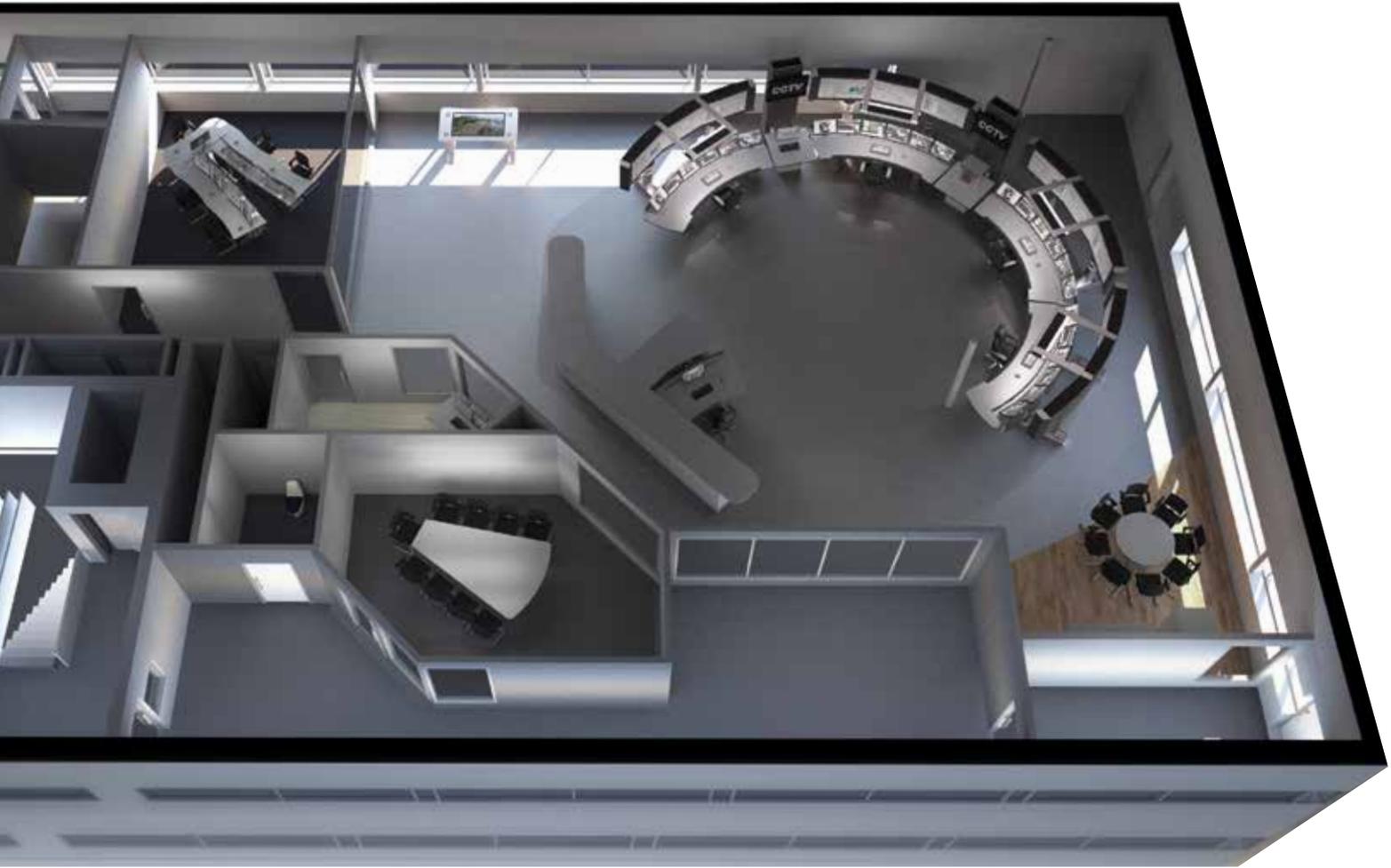
Dow Chemical, notamment, a mis en place un système d'analyse global qui traduit de grandes quantités de données brutes en des informations et métriques facilement compréhensibles [13]. Il permet aux experts en analytique d'assister à distance les usines du monde entier pour lever les freins à la fabrication, augmenter l'efficacité et insuffler les meilleures pratiques.

Évolution des compétences et de l'organisation du travail

Nous l'avons dit, les tâches simples sont en grande partie automatisées. Le métier d'opérateur de conduite s'est donc métamorphosé. Il consiste maintenant à superviser un grand nombre de modules de commande, à rapidement diagnostiquer des situations complexes, à collaborer avec divers services d'assistance et à coordonner les équipes de terrain et de maintenance. Il faut également missionner les experts externes en temps utile et gérer leur intégration à l'entreprise. Ce large éventail d'activités nécessite un environnement de travail adapté.

Le défi réside alors dans la conception d'environnements collaboratifs pour remplacer les salles de commande classiques. Souvent, la difficulté ne tient pas tant dans la nécessité de s'éloigner du procédé que d'améliorer l'intégration avec les équipes distantes de l'entreprise elle-même ou de ses sous-traitants.





05

L'implication en amont de professionnels du domaine sera déterminante. Ces centres devront être revus de fond en comble pour exploiter tout le potentiel de l'usine numérique. De même, il

—
La résolution des anomalies passera de réactive à prédictive et analytique.

faudra redéfinir les bonnes pratiques pour pallier l'obsolescence des salles de commande : ce qui signifie moins d'opérateurs et des méthodes de résolution des problèmes plus prédictives et analytiques que correctives et factuelles.

Dans cette optique, l'opérateur devra être hautement qualifié pour pouvoir interagir en permanence avec une brochette de spécialistes d'autres fonctions de l'entreprise : support du système d'information et des opérations, assistance multiservice, support technique et téléassistance, gestion des risques des actifs, des alarmes, de la sécurité, de la cybersécurité et de la maintenance.

Encore balbutiante mais appelée à devenir la norme, cette interactivité permanente avec une grande variété de spécialistes à distance oblige à revoir l'agencement de la salle, les zones de travail, la disposition des écrans et des caméras, les outils d'analyse, les espaces collaboratifs, etc.

—
05 Centre de pilotage
collaboratif de
nouvelle génération

Aussi stimulant que soit un travail d'astreinte 24 h/24 7 j/7, on sait qu'il n'est pas sans conséquences sur l'espérance de vie. Le poste doit donc être modulable, voire automatisé, pour s'adapter aux exigences de chacun →4. La distance œil-écran peut s'ajuster automatiquement pour réduire la fatigue oculaire, et l'éclairage varier au cours de la journée en fonction des rythmes biologiques. Par ailleurs, des analyses de méta-données ergonomiques permettent d'élaborer un programme d'amélioration du poste de travail et du quotidien des opérateurs.

Le centre de pilotage collaboratif →5 est un

L'environnement de travail progressera au rythme des besoins des opérateurs.

exemple de nouveau concept destiné aux secteurs de l'énergie et de l'environnement : aux douze opérateurs de cinq salles de commande classiques succéderont seulement deux opérateurs, au besoin secondés par des télé-experts.

L'opérateur 4.0

Cette transformation des salles de conduite en centres collaboratifs impose de recruter une nouvelle génération d'opérateurs, pour laquelle l'ergonomie du poste de travail et la santé sont indissociables. Ce volet revêt une importance croissante dans la conception des salles : pollution sonore réduite, éclairage et qualité de l'air optimisés, aspects psychosociaux pris en compte à travers la ludification, la collaboration, le respect de l'espace privé, l'assouplissement des procédures, l'apprentissage, la durabilité, la sociabilité, l'engagement émotionnel et la créativité. L'environnement de travail progressera au rythme des besoins de l'opérateur ●

Bibliographie

[1] Pfeffer, J., Graube, M., Reipschlaeger, P., Arndt, S., Urbas, L., Dachselt, R., Stelzer, R., « Towards Collaborative Plant Control Using a Distributed Information and Interaction Space », *IEEE 20th Conference on Emerging Technologies Factory Automation (ETFA)*, p. 1-4, 2015.

[2] McKinsey Digital, *Industry 4.0 - How to navigate digitization of the manufacturing sector*, 2015.

[3] Otten, W., « Industrie 4.0 Und Digitalisierung », *atp edition*, vol. 58, p. 28-32, 2016.

[4] Nimmo, I., *Operator Effectiveness and The Human Side of Error*, CreateSpace, 2015.

[5] Hollender, M., *Collaborative Process Automation Systems*, ISA, Research Triangle Park, Caroline du Nord (États-Unis), 2010.

[6] Sheridan, T. B., *Telerobotics, Automation, and Human Supervisory Control*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts (États-Unis), 1992.

[7] BEA, *Final Report On the Accident on 1st June 2009*, 2012.

[8] Lorenz, M., Rübmann, M., et al., « Man and Machine in Industry 4.0 », The Boston Consulting Group (BCG), 2015.

[9] Atzmueller, M., Klöpper, B. et al., « Big Data Analytics for Proactive Industrial Decision Support », *atp edition*, vol. 58, n° 9, p. 62-74, 2016.

[10] National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling, *Deep Water: The Gulf Oil Disaster and the Future of Offshore Drilling, Report to the President*, 2011.

[11] Hollender, M., Chioua, M., et al., « KPI-based Process Operation », *atp edition*, vol. 58, n° 9, p. 52-61, 2016.

[12] Bieker, H. P., Slupphaug, O., Johansen, T. A., « Real-Time Production Optimization of Oil and Gas Production Systems: A Technology Survey », *SPE Production & Operations*, 22, p. 382-391, 2007.

[13] Colegrove, L. F., Seasholtz, M. B., Khare, C., « Big Data: Getting Started on the Journey », *AIChE CEP Magazine*, 2016.

[14] Doppelhamer, J., Hollender, M., « Intelligente Leitwarten », *atp edition*, vol. 53, n° 12, p. 42-47, 2011.

L'EXCELLENCE EN CONCEPTION

Le numérique pour des traversées modèles !

Depuis quelque temps, les clients d'ABB, notamment en Chine, veulent acheminer des intensités nettement plus élevées sur leurs liaisons courant continu haute tension (CCHT). Satisfaire à leurs attentes sans pour autant décupler les coûts de développement oblige à recourir à des simulations avancées, en particulier pour les conducteurs de courant critiques que sont les traversées.

Remigiusz Nowak
Bogusław Samul
Adam Sitko
ABB Corporate Research
Center
Cracovie (Pologne)

remigiusz.nowak@
pl.abb.com
boguslaw.samul@
pl.abb.com
adam.sitko@
pl.abb.com

Christos Athanasopoulos
Jonas Birgersson
ABB Components
Ludvika (Suède)

christos.athanasopoulos@
se.abb.com
jonas.birgersson@
se.abb.com

La capacité de transit des lignes CCHT a atteint ces dernières années 10 à 12 gigawatts (GW). Cette montée en puissance s'est accompagnée d'une hausse comparable des niveaux de tension et de courant : si le courant transporté lors des essais de type des premiers réseaux électriques à 800 kV avoisinait 4000 A, celui acheminé sur les plus récentes liaisons CCHT de 1100 kV atteint 7500 A. Répondre à ces nouvelles exigences et minimiser les coûts de développement obligent à recourir à des outils avancés de mécanique des fluides numérique, plus connue sous l'abréviation anglo-saxonne « CFD » (*Computational Fluid Dynamics*).

—
Répondre aux nouvelles exigences des clients et minimiser les coûts de développement poussent à recourir à la dynamique des fluides.

Du numérique dans les traversées

Omniprésente dans les réseaux électriques, une traversée est un isolateur qui fait passer des conducteurs haute tension (HT) entre une cloison ou un matériel électrique mis à la terre (transformateur) et la ligne de transport. À défaut de redondance, ce composant essentiel du CCHT doit

se plier à des contraintes techniques et opérationnelles très strictes afin de fonctionner sans faille et durablement (jusqu'à 40 ans) dans une très grande variété de conditions extrêmes.

ABB dispose à cette fin de spécialistes du calcul numérique, passés maîtres dans la théorie et la pratique de la conception et de la fabrication de traversées en courant alternatif (CA) et continu (CC) à très haute tension (THT). Cette expertise de la simulation multiphysique (mécanique, électrique, thermique) et de la modélisation numérique de précision, validée par un grand nombre d'essais expérimentaux, permet d'étudier rapidement et à moindre coût les performances thermiques des traversées HT.

—
01 Une imposante traversée ABB haute tension sur banc d'essai à Ludvika (Suède)

Calcul et simulation numériques se sont beaucoup démocratisés ces dix dernières années, du fait principalement de l'augmentation de la puissance informatique et, partant, de la capacité à résoudre des problèmes physiques de plus en plus complexes en un temps raisonnable.

—
L'analyse numérique permet d'optimiser la conception et d'améliorer les performances du matériel étudié avant même de tester sa conformité normative.

L'analyse numérique a pour grand avantage de permettre des études poussées du comportement d'un produit dans diverses conditions, en un court laps de temps et à un coût abordable. Autre atout : la possibilité d'optimiser la conception et d'améliorer les performances du matériel étudié avant même de tester sa conformité normative.

Jusqu'à une date récente, tous les matériaux constitutifs d'une traversée (huile et air compris) étaient le plus souvent traités en simulation thermique comme des solides ; la dynamique des fluides était rarement de la partie. Or l'avènement des traversées THT a fait émerger de nouvelles exigences comme des modèles thermiques évolués, capables non seulement d'écourter les temps d'étude mais aussi d'intégrer les différentes méthodes à l'œuvre en un modèle thermique commun.

Contraintes thermiques

La simulation thermique fournit une cartographie de la distribution des flux de chaleur dans une traversée, à différentes intensités et températures ambiantes. Cette étude est capitale dans la mesure où certains composants sont assujettis à des limites de température très strictes pour empêcher toute dégradation thermique et claquage électrique consécutif.



Les traversées-condensateurs ont principalement trois constituants : à l'extérieur, un isolateur qui minimise les courants de fuite et évite les contournements externes ; à l'intérieur, une structure à

—

La simulation thermique des traversées HT est un exercice difficile dont le résultat est influencé par quantité de paramètres.

répartition capacitive constituée d'une interposition de couches conductrices et de papier, ou « corps condensateur », pour distribuer et stabiliser le champ électrique ; enfin, un cylindre massif servant de conducteur de courant. Le condensateur a une température critique à laquelle s'amorcent les pertes diélectriques qui, en augmentant, déclenchent un phénomène d'emballement thermique : concrètement, l'échauffement du composant accroît les pertes diélectriques, qui font à leur tour grimper la température, et ainsi de suite, jusqu'au claquage.

Pour minimiser ce risque de défaillance dans le système électrique, la norme internationale CEI 60137, relayée par des standards ABB encore plus stricts, stipule des températures maximales admissibles. Reste que les essais d'échauffement sur traversées réelles imposent des calculs complexes, gourmands en performance et en temps machine, surtout pour les grandes dimensions →1.

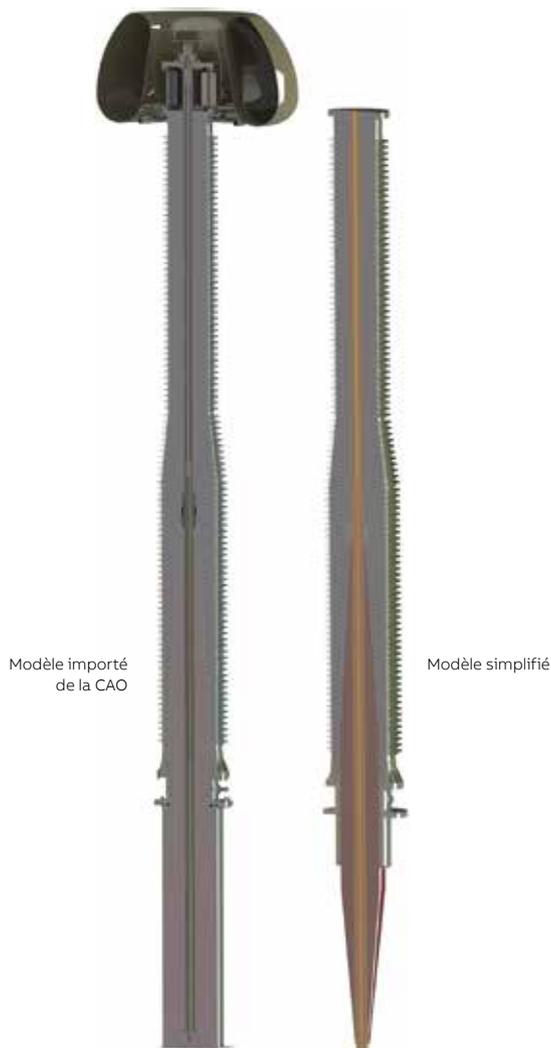
Construction d'un modèle thermique

La simulation thermique de traversées HT est un exercice difficile faisant intervenir une multitude de paramètres qui conditionnent les résultats : déperdition thermique, traitement de la conduction, de la convection et du rayonnement, matériaux, sans oublier la modélisation des turbulences dans le cas de traversées remplies d'hexafluorure de soufre (SF_6). En règle générale, le processus se déroule en quatre étapes :

- Préparation de la géométrie ;
- Construction du maillage ;
- Mise en données ;
- Analyse, résolution et post-traitement.

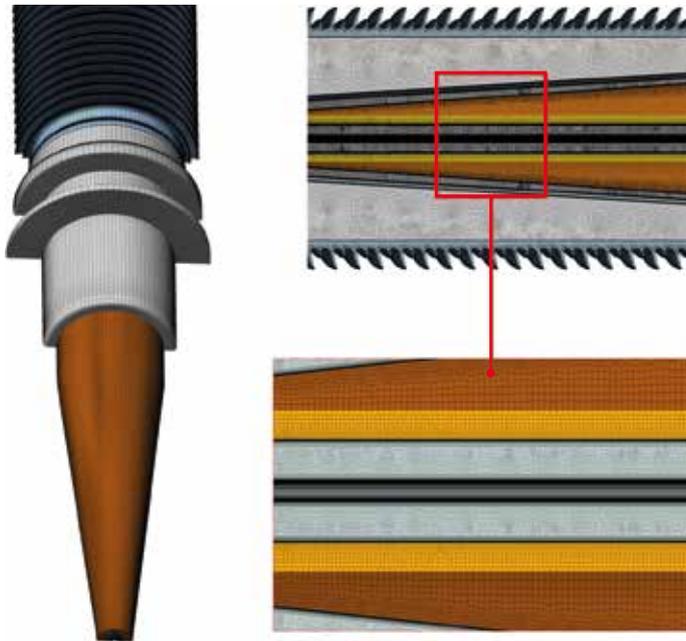
Géométrie

Représenter la géométrie de la traversée est habituellement l'étape la plus simple de la simulation puisqu'il suffit en principe d'importer et de simplifier le modèle CAO du matériel étudié →2. Les détails, tels que visseries, congés, etc., qui n'ont pas d'influence notable sur les résultats de la simulation, sont enlevés du modèle pour éviter le gaspillage de mailles dans l'étape suivante.



—
02 Exemple de simplification du modèle CAO aux fins de simulation CFD

—
03 Maillage d'une traversée GGF 600 au SF₆



03

Maillage

Ce modèle géométrique étant prêt, il faut construire un maillage numérique bornant les différents domaines de calcul. La qualité du maillage est cruciale car elle conditionne la vitesse de convergence du modèle et l'exactitude des résultats : une maille de mauvaise qualité (nombre insuffisant de cellules, par exemple) peut faire diverger les calculs d'un modèle pourtant bien préparé, alors qu'un maillage serré (trop de cellules) alourdit démesurément le temps de traitement. La modélisation fluide du SF₆ dans les traversées de type GGF, par

—
La qualité du maillage est cruciale car elle joue beaucoup sur la vitesse de convergence du modèle et la véracité de la simulation.

exemple, exige de mailler correctement les parois au voisinage du SF₆ puisque l'écoulement de gaz dans l'enveloppe d'une traversée obéit seulement à la poussée d'Archimède (convection naturelle) qui se manifeste surtout à proximité des surfaces « chaudes » du conducteur et « froides » de l'enveloppe →3.

Mise en données

Lorsque le maillage est prêt et de qualité acceptable, il peut être transféré dans le logiciel de calcul CFD pour paramétrer le modèle numérique et résoudre le problème. C'est la phase la plus ardue de la simulation. Outre les fonctions courantes de configuration du modèle (équations d'énergie, application des forces de gravité, etc.), elle inclut d'autres tâches d'importance : définition de la déperdition thermique et des matériaux, spécification des conditions initiales, aux limites et d'exploitation, caractérisation des modèles de turbulence et de rayonnement thermique, ou encore paramétrage du solveur.

Résolution analytique et post-traitement

L'étude numérique calcule les valeurs requises de température, de vitesse, de pression, etc. pour chaque maille. La résolution se fait par un algorithme itératif jusqu'à la « convergence » (accord avec les résultats expérimentaux). Partant de conditions initiales aléatoires, la solution au problème étudié est mise à jour pas à pas : à chaque itération, une erreur décrivant les déséquilibres dans les équations de masse, de quantité de mouvement et d'énergie du modèle, appelée « résidu », est calculée par rapport à la solution exacte du problème numérique. On considère ce dernier résolu lorsque les résidus passent en dessous d'un seuil choisi, c'est-à-dire quand les champs de température, de vitesse ou de pression du modèle n'évoluent plus au cours des étapes de calcul suivantes : la simulation est alors « convergée ». En outre, l'utilisateur peut définir des outils de surveillance pour suivre les valeurs spécifiques de la simulation (vitesse, température, pression) qui, dans une solution stable, doivent être constantes.

Pour finir, les résultats obtenus doivent être évalués sous l'angle tant physique que numérique pour valider le maillage et les équations mis en œuvre, et confirmer la véracité du calcul. Une étape qui s'impose également pour garantir le respect des lois de conservation masse-énergie.

Tous les échanges thermiques à l'intérieur de la traversée et sur son pourtour doivent être correctement capturés pour obtenir une représentation numérique fiable.

Flexibilité et précision

Nous l'avons dit, tous les échanges thermiques à l'intérieur de la traversée et sur son pourtour doivent être correctement capturés si l'on veut construire une représentation numérique fiable. La nouvelle génération de logiciels de simulation par éléments finis et par volumes finis du marché, tels que ANSYS Fluent ou COMSOL Multiphysics®, s'appuie sur des algorithmes pointus qui, dans le cas de notre étude, ont tous élaboré des modèles

corrects →4. Pour autant, les simulations thermiques nécessitent une attention particulière du fait de leur grande sensibilité aux conditions aux limites. Le coefficient de transfert thermique aux surfaces externes du modèle doit donc être rigoureusement spécifié. Il est bien souvent difficile de prédire l'évacuation de la chaleur du système. Dans le cas de couches limites de convection, par exemple, la migration de la chaleur dépendra des propriétés de l'air ou de l'huile, de la vitesse d'écoulement et de la température, ainsi que de la forme de la surface d'où s'évacue la chaleur.

Les résultats d'essais d'échauffement de différents types de traversées, ainsi que les relevés des paramètres physiques des matériaux ont servi à construire le modèle numérique. Au départ, l'incertitude cible entre résultats de simulation et données expérimentales a été fixée à ± 2 K maximum ; dès lors, des valeurs comprises dans cette plage valident l'adéquation des outils de simulation à la conception des traversées.



—
04 Exemples de résultats de simulation numérique
04a Distribution de température
04b Champs de vitesse
04c Isosurfaces de température

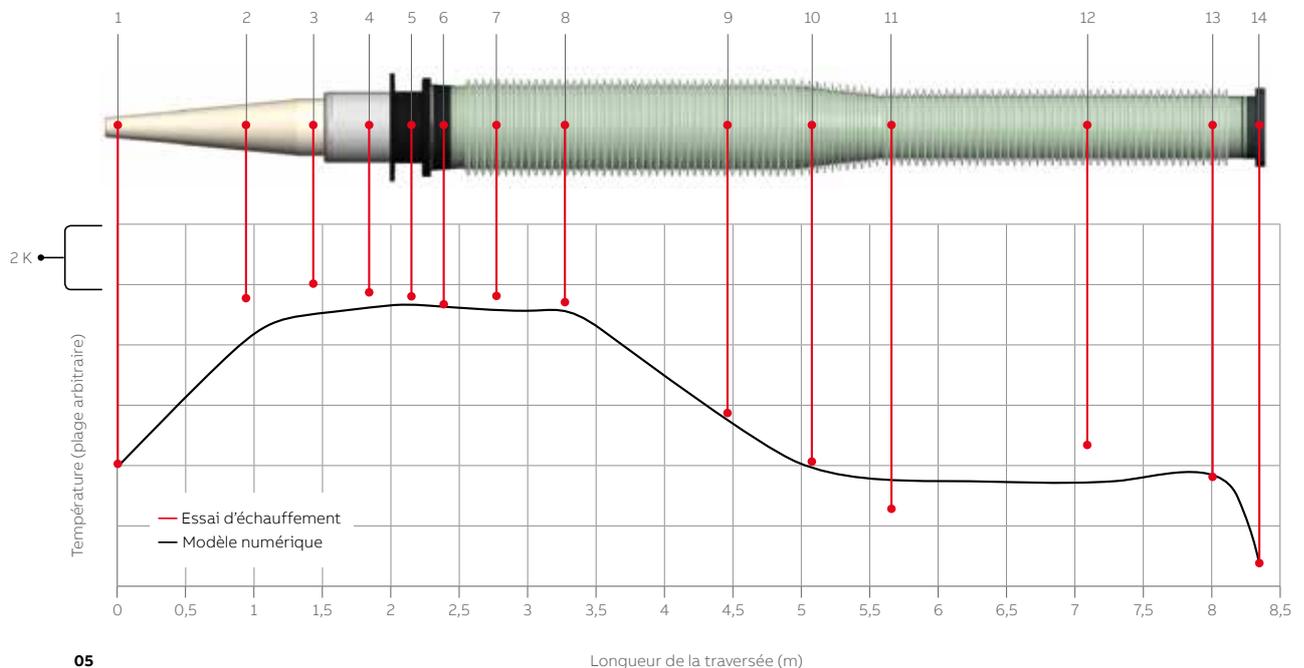
—
05 Distribution de température sur toute la longueur du conducteur ; comparaison du modèle numérique 3D et des résultats de l'essai d'échauffement

Un exemple de distribution de température le long du conducteur, résultat à la fois de l'expérimentation (essai d'échauffement) et de la simulation, est donné en →5. La comparaison des courbes montre que l'incertitude moyenne du modèle numérique est d'environ 2 %, avec un écart maximal de 1,3 K.

En somme, les résultats du nouveau modèle thermique confirment l'apport crucial de la simulation numérique à la réalisation de traversées HT. Pour preuve, l'outil a servi à la conception et à la mise au point des nouvelles traversées dimensionnées à des niveaux de courant sans précédent pour les projets CCHT de 10 et 12 GW. ●

Les résultats du nouveau modèle thermique confirment l'apport crucial de la simulation CFD à la production de traversées HT.

Conclusion : si le modèle théorique est correctement préparé, les résultats de la simulation numérique peuvent très bien concorder avec l'expérimentation. Il est alors possible d'approfondir l'étude ou d'affiner la conception des traversées en se fondant uniquement sur des calculs théoriques, qui constituent une méthode beaucoup plus économique en coût et en temps que la reconception et le mesurage d'un dispositif réel.



05

Longueur de la traversée (m)

L'EXCELLENCE EN CONCEPTION

Les transformateurs ABB se mettent en sourdine

Le niveau de bruit d'un transformateur compte au moins autant que ses caractéristiques de puissance et de tension, ou que ses pertes. De nouvelles méthodes de mesure couplant analyse vibroacoustique et modélisation numérique aident à définir des règles de conception permettant de réduire cette pollution sonore.

Michał Kozupa
Grzegorz Kmita
ABB Corporate Research
Cracovie (Pologne)

michal.kozupa@
pl.abb.com
grzegorz.kmita@
pl.abb.com

Roberto Zannol
Gianluca Bustreo
ABB Technology Center
Monselice (Italie)

roberto.zannol@
it.abb.com
gianluca.bustreo@
it.abb.com

Le marché des transformateurs est féroce-ment concurrentiel. Tout constructeur souhaitant se distinguer aux yeux de la clientèle doit trouver une manière de sortir du lot. Réduire le niveau sonore de ses appareils en est une.

Si le bruit figure au rang des pollutions industrielles, c'est encore plus vrai des émissions sonores d'un transformateur, du fait des harmoniques. ABB s'est donc toujours attaché à concevoir les transformateurs les moins bruyants possibles.

De nouveaux outils de mesure vibroacoustiques aident à analyser et à identifier les sources de bruit et de vibrations.

L'apparition de nouvelles techniques a changé la donne : la vibrométrie laser 3D et la mesure d'intensité acoustique par balayage, adossées à de puissants outils numériques de modélisation multiphysique, permettent aujourd'hui l'analyse détaillée et l'identification des sources sonores et vibratoires.

Leur précision et leur efficacité inégalées sont un atout supplémentaire lorsqu'il s'agit de concevoir des systèmes visant à réduire le bruit des transformateurs.

Bruit et vibrations

Le ronflement, causé par des phénomènes physiques dans les enroulements et le noyau, est une caractéristique intrinsèque d'un transformateur. À vide, il est dû principalement à la magnétostriction du noyau, tandis qu'en charge, ce sont les vibrations des enroulements qui sont en cause [1,2]. Dans les deux cas, ce bruit est de nature harmonique mais la fréquence dominante et le spectre fréquentiel diffèrent d'un mode à l'autre →1.





Photo : ABB a mis au point des techniques d'atténuation du bruit dans les transformateurs.

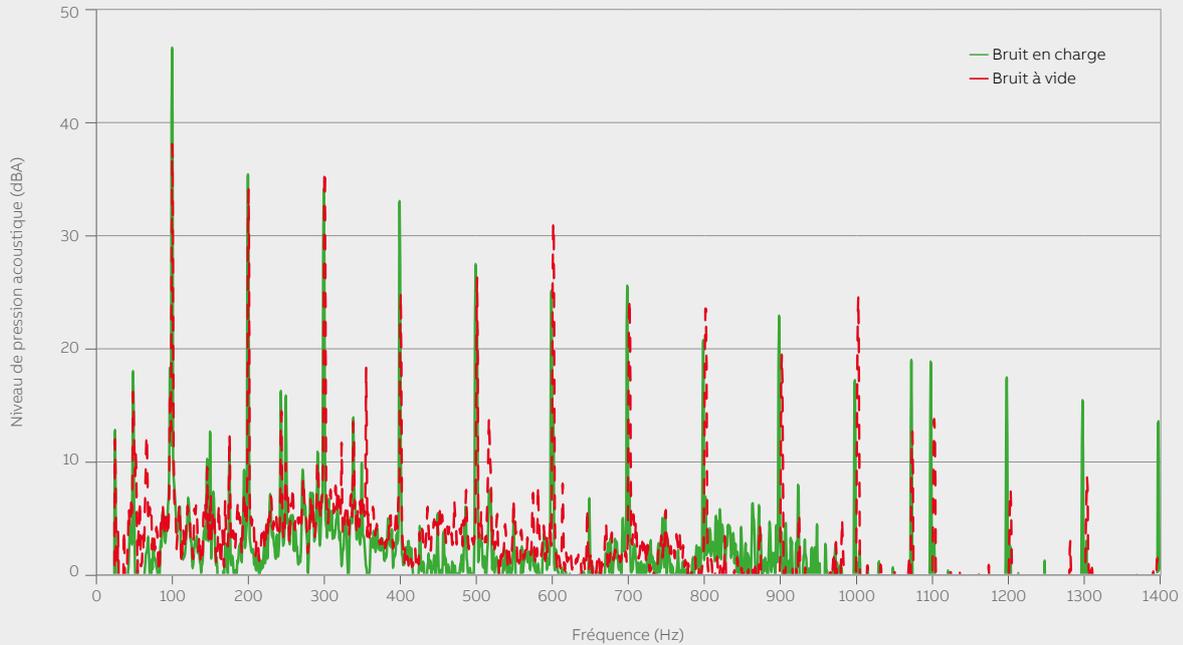
Si les vibrations sont générées par les parties actives (généralement immergées dans l'huile) d'un transformateur de puissance, c'est la cuve du transformateur qui fait rayonner le bruit. Une mauvaise conception mécanique de l'appareil peut être à l'origine de résonances structurelles locales qui amplifient ce phénomène. Bien identifier les sources vibroacoustiques est donc un préalable pour en contrer les effets.

Mesure laser

La vibrométrie laser à balayage Doppler (LDV), qui mesure directement la vitesse vibratoire, est la technique de prédilection pour connaître les vibrations et les déformées opérationnelles. Elle utilise l'effet Doppler pour mesurer le décalage en fréquence d'un faisceau laser réfléchi par une surface vibrante.

La fréquence très élevée du laser (environ 400 THz) garantit une mesure précise. La LDV étant une technique sans contact, elle présente le double avantage de ne pas interférer avec l'appareil à tester et surtout de pouvoir s'effectuer à bonne distance de ce dernier →2. Un gage de sécurité dans le cas de transformateurs de puissance haute tension !

Par ailleurs, là où la mesure traditionnelle par accéléromètre, en plus de devoir tenir compte de la situation de charge du transformateur, pâtit de sa lenteur et de sa faible résolution, la LDV effectue en continu un balayage 3D haute résolution et enregistre, en un temps très court, des milliers de points de mesure vibratoire et des informations de déformation détaillées →3.



01

Intensimétrie

La mesure de l'intensité acoustique par balayage est une très bonne méthode pour identifier et localiser les sources de bruit problématiques. L'intensité acoustique étant une grandeur vectorielle, elle renseigne aussi bien sur la direction que sur l'amplitude du son, à la différence des mesures

—

La vibrométrie laser effectue un balayage 3D haute résolution et enregistre, en un temps très court, des milliers de points de mesure et des informations de déformation détaillées.

par différence de pression, qui n'indiquent que ce dernier paramètre. Les sondes intensimétriques, très directionnelles, sont moins sensibles aux interférences du bruit de fond. La mesure s'effectue perpendiculairement à une surface définie par une grille de points équidistants. Les résultats servent à calculer la puissance acoustique sur toute la grille ou à créer des courbes isosoniques. Ensuite, on peut extraire par interpolation les lignes isosoniques pour une seule fréquence ou un niveau global →4.



—
01 Spectre acoustique en charge et à vide d'un transformateur de puissance

—
02 Mesure de vibrations par laser à balayage Doppler

Corrélation entre vibration et bruit

L'analyse des images acoustiques et des profils vibratoires d'un transformateur exige de solides connaissances sur la conversion des vibrations de structure en bruit audible, dont les principales

—
L'analyse numérique permet d'évaluer l'efficacité des éventuelles mesures d'atténuation sonore.

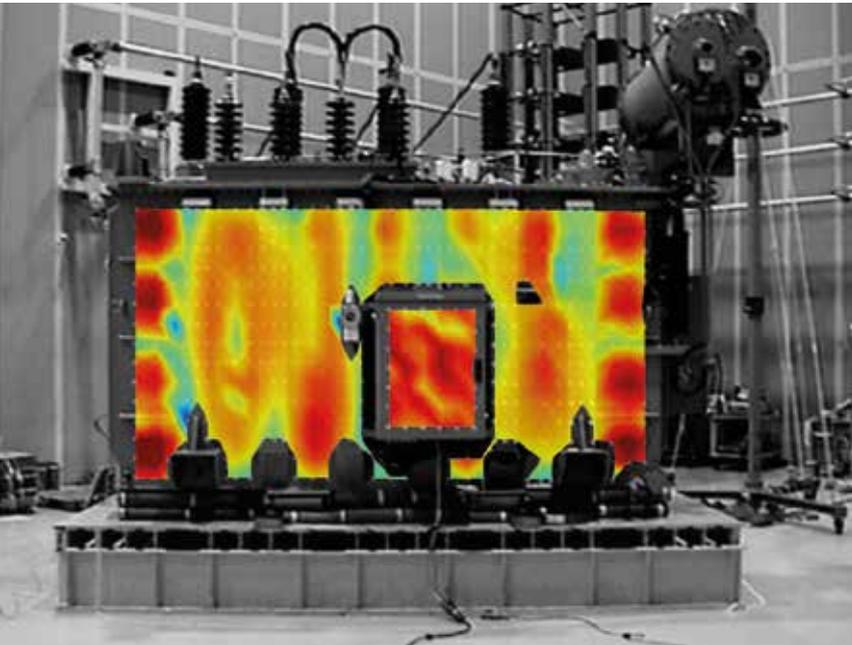
étapes sont rappelées en →5. En connaissant la surface d'une structure, le coefficient de rayonnement et la vitesse vibratoire, on en déduit la puissance acoustique rayonnée, dont la formule

donne la valeur en décibel. Le bruit du transformateur étant mesuré en unités de pression acoustique pondérée A, la vitesse vibratoire présente elle aussi une pondération A [3,4].

Modélisation multiphysique

L'analyse numérique, en plus d'éclairer sur l'origine du bruit, sert à évaluer l'efficacité des éventuelles techniques d'atténuation sonore. Le prototypage virtuel, source de gains de temps et d'argent, est de la partie, tout comme les essais avant mise en œuvre et validation de la solution.





03

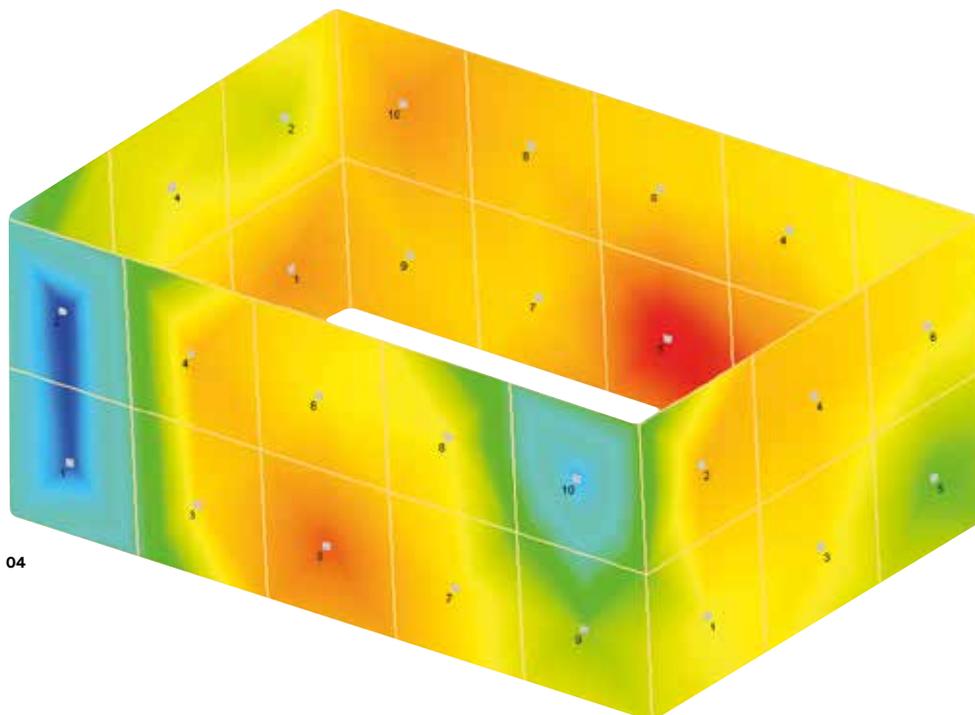
Le transfert d'énergie à l'œuvre dans la formation du son est un phénomène multiphysique classique, qui s'appréhende à l'aide de prédictions numériques couplant dynamique des structures, électromagnétisme et acoustique →6,7. Le modèle structurel, forces d'excitation comprises, dérive d'une analyse complète des harmoniques en tenant compte de l'interaction fluide-structure, paramètre clé du profil vibratoire de la cuve. Toute analyse complète de la structure, qui débouche sur la réponse acoustique, doit commencer par une analyse modale en fonctionnement précise et une bonne corrélation avec les valeurs propres du système dérivées des données d'essais réelles fournies par la vibrométrie laser en 3D.

Un modèle de vibration bien défini des surfaces périphériques ne fournit pas seulement un bon profil du bruit rayonné mais aussi des informations sur les zones de forte amplitude vibratoire : un atout de taille pour déterminer les mesures d'atténuation adéquates !

—
Un modèle de vibration bien défini des surfaces périphériques fournit un bon profil du bruit rayonné et des informations sur les zones de forte amplitude.

Atténuation du bruit

La mesure la plus courante, qui n'est pas exclusive aux transformateurs, consiste à isoler l'appareil par une enveloppe (capot) ; on gagne ainsi 20 à 30 dB, ce qui n'est pas négligeable, mais insuffisant pour arrêter les spectres de fréquences de certains transformateurs.



04

03 Déformées opérationnelles à 100 Hz de la cuve d'un transformateur de 40 MVA

04 Champs d'intensité acoustique autour du transformateur

05 Principe de conversion des vibrations de structure en pression acoustique

06 Modèle numérique complet du transformateur de puissance avec couplage électromagnéto-mécanique et acoustique

07 Rayonnement acoustique de la cuve du transformateur dans le champ de pression

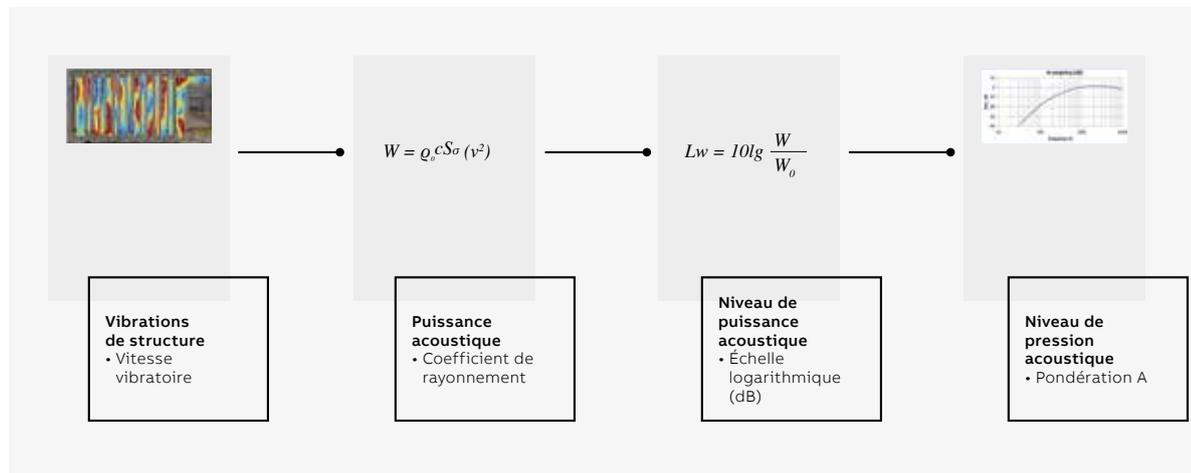
Bibliographie

[1] Kavasoglu, M., et al., « Prediction of Transformer Load Noise », *Conférence COMSOL*, Paris, 2010.

[2] Girgis, R. S., et al., « Comprehensive Analysis of Load Noise of Power Transformers », *IEEE Power Energy Society General Meeting*, p. 1-7, 2009.

[3] Hrkac, M., et al., « Vibroacoustic behavior of SPT transformer », *International Colloquium Transformer Research and Asset Management*, CIGRÉ, 2012.

[4] Kozupa, M., Kmita, G., « Investigation on noise radiation to structure vibration correlation in vibroacoustic of transformer », *Vibroengineering PROCEDIA*, vol. 3, p. 160-164, Katowice (Pologne), 2014.



05

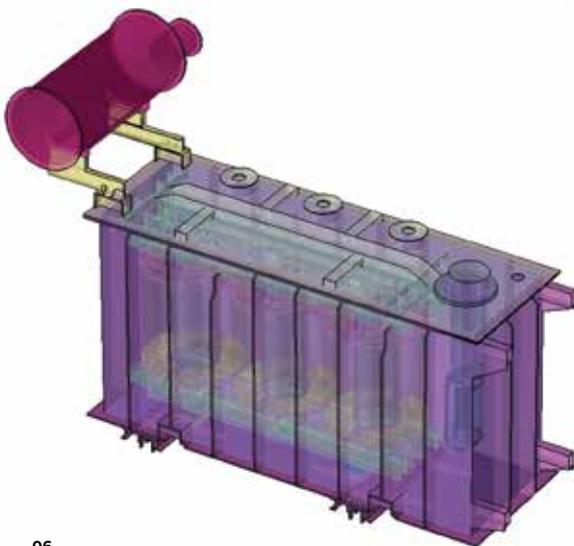
C'est pourquoi, entre autres raisons, ABB s'intéresse à des solutions intégrées au transformateur et invisibles de l'extérieur, qui ne perturbent en rien la maintenance de l'appareil par le client.

Les méthodes vibroacoustiques de mesure du bruit émis par un transformateur de puissance ont bien d'autres applications.

Nouveaux champs d'application

Ces méthodes vibroacoustiques destinées aux transformateurs de puissance ont bien d'autres usages : diagnostic des paliers et de la transmission vibratoire dans les moteurs de forte puissance, atténuation du bourdonnement

des batteries de condensateurs, analyse structurelle des turbocompresseurs, pour ne citer que quelques exemples. Les clients étant de plus en plus soucieux de minimiser les nuisances environnementales, donc sonores, la vibroacoustique et la modélisation multiphysique sont promises à un bel avenir. Fort de son expertise dans la vibrométrie laser et la modélisation acoustique, ABB est tout disposé à leur prêter une oreille attentive. ●



06



07



38

Numérique et

analytique



46



Avec plus de 70 millions de dispositifs connectés et 70 000 systèmes de contrôle-commande numériques, ABB est un fer de lance de la 4^e révolution industrielle. Le Groupe innove avec des solutions en ligne et hors ligne qui convertissent les données massives en informations exploitables pour mieux concevoir les outils de l'usine 4.0.

- 30 Plus une goutte d'eau à perdre !
- 38 Commande avancée et modélisation analytique en automatisation industrielle
- 46 Un banc d'essai pour la plate-forme ABB Ability™
- 52 DIRT Count traque et classe en temps réel les impuretés du papier
- 58 Les débitmètres électromagnétiques d'ABB voient double



NUMÉRIQUE ET ANALYTIQUE

Plus une goutte d'eau à perdre !

Parfois, l'innovation d'un partenaire externe fait décoller le développement de nouveaux produits. C'est tout le sens du partenariat entre TaKaDu et ABB, qui propose aux sociétés de distribution d'eau des solutions exploitant au maximum le potentiel de l'intelligence numérique.



Victoria Lietha
ABB Technology Ventures
Zurich (Suisse)

victoria.lietha@ch.abb.com

« Dans un environnement économique mondialisé, l'innovation est l'unique source d'avantage concurrentiel durable », déclare Hugh Courtney, président du Partenariat international des écoles de commerce (IPBS), qui s'est donné pour mission d'élever le niveau des formations en management dans le monde entier. Historiquement, cette innovation si vitale pour le développement de nouvelles activités

La Banque mondiale estime que les pertes représentent 25 à 30 % de l'eau distribuée, soit quelque 20 milliards de dollars.

naissait en interne. Alors que le progrès technologique s'accélère et se complexifie, les entreprises doivent aujourd'hui repenser leur approche de l'innovation et rechercher l'inspiration ailleurs. La coopération avec d'autres acteurs est devenue indispensable pour rester en tête de la course. Une stratégie qu'ABB a adoptée de longue date, non sans succès.



C'est pour aller plus loin dans cette voie qu'est née en 2009 ABB Technology Ventures (ATV), la branche capital risque d'ABB [1]. Basée à Zurich, à Chennai (Inde) et dans la Silicon Valley, ATV investit dans des startups qui développent des technologies de rupture, sources de valeur stratégique pour ABB.

Initié en 2012, le partenariat avec TaKaDu montre parfaitement comment l'investissement d'ATV peut améliorer l'offre ABB et attirer de nouveaux clients.



L'eau, un défi mondial

Sujet de préoccupation majeur, l'eau est au centre des tensions politiques, sociales et économiques des années à venir. Le Forum économique mondial classe les crises de l'eau parmi les dix plus grands risques qui menacent la planète en 2018 [2].

Selon les prévisions des Nations unies, sans résolution efficace des problèmes de pollution et de sur-exploitation, seulement la moitié de la population mondiale aura accès à l'eau potable, en quantité suffisante, d'ici à 2030. Changement climatique, croissance démographique, évolutions des modes

—

Par manque de données ou d'analyse, les distributeurs ont peu de visibilité sur leurs réseaux.

de consommation domestique, industrielle et tertiaire... autant de facteurs qui pèsent sur la demande, amplifiés par une offre déjà sous tension.

AMIR PELEG, « PLOMBIER HIGH-TECH »



À 51 ans, Amir Peleg peut se targuer d'avoir lancé avec succès plusieurs startups, dont YaData (ciblage comportemental), rachetée par Microsoft, Unipier (anciennement Cash-U) et EVS (Elbit Vision Systems). Il a fondé TaKaDu en 2008.

Amir est titulaire d'une maîtrise en mathématiques, physique et informatique de l'université hébraïque de Jérusalem (UHJ) et d'un MBA de l'Institut européen d'administration des affaires (Insead) de Fontainebleau. Auparavant, il avait remporté le prix des jeunes inventeurs, décerné par l'Institut Weizmann en Israël. Il préside le Forum mondial des réseaux d'eau intelligents (SWAN).

Premier facteur de pénurie : faute d'investissements dans les infrastructures, la Banque mondiale estime que 25 à 30 % de l'eau distribuée se perd avant d'arriver au robinet, du fait des fuites et ruptures de canalisation, soit un gâchis annuel de 20 milliards de dollars. Par manque de données ou d'analyse, les services publics ont peu de visibilité sur leurs réseaux d'eau. L'absence d'anticipation et, le plus souvent, de planification des réparations est criant. Souvent, c'est seulement lorsqu'un usager signale une fuite dans la rue qu'ils découvrent un problème.

—

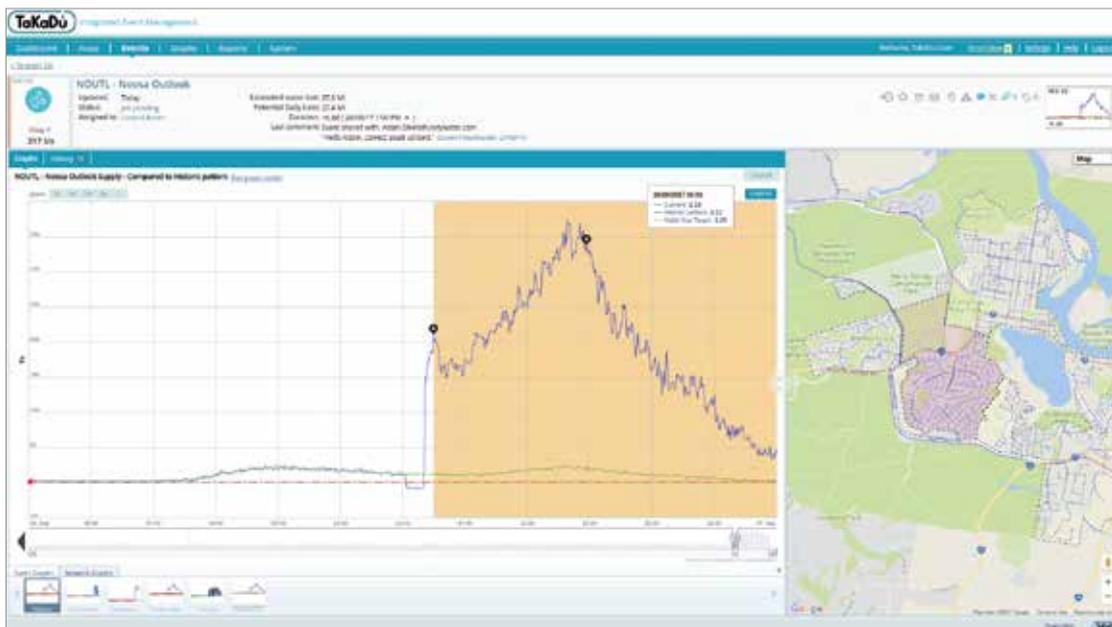
La solution cloud brevetée de TaKaDu analyse et traite les données récoltées par les capteurs intelligents du réseau.

L'apport de TaKaDu

Les nouvelles technologies viennent à la rescousse. Le numérique, l'analytique et les algorithmes de calcul basés sur l'intelligence artificielle (IA) constituent autant d'outils à la disposition des distributeurs et des collectivités pour mieux gérer l'offre et la demande d'eau douce et valoriser leurs réseaux.

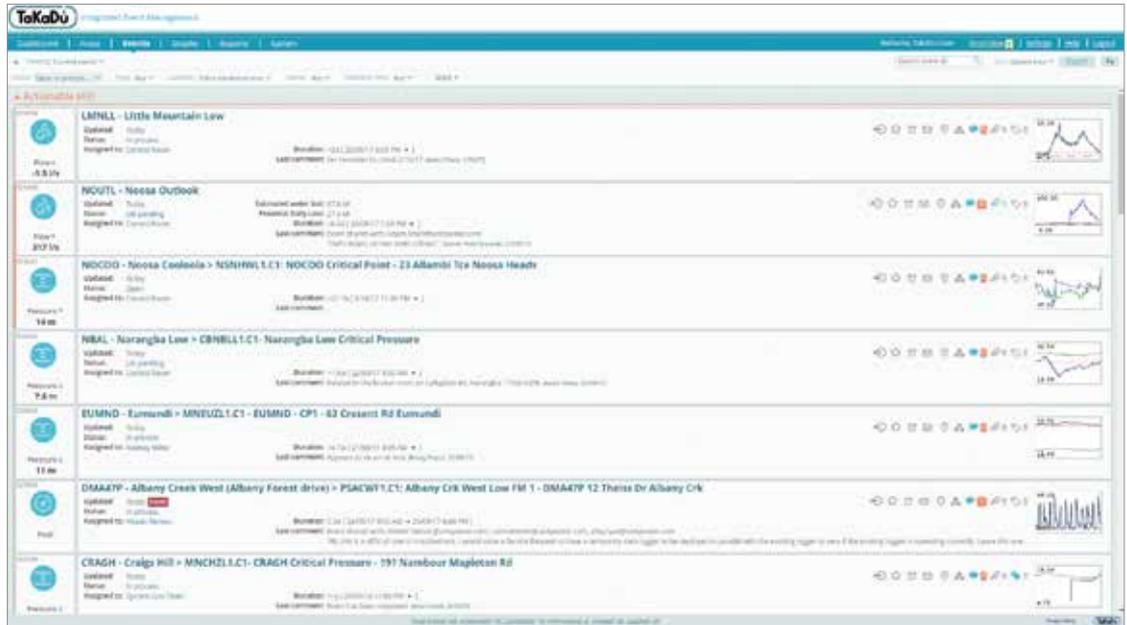
L'Israélien TaKaDu [1], pionnier de l'« eau intelligente », est partenaire d'ABB ATV. Selon son patron fondateur Amir Peleg, personne ne tient pour acquis l'abondance de la ressource hydrique en Israël, où les réserves sont très limitées →1. Environ la moitié de l'eau potable provient d'usines de dessalement, une opération très onéreuse. Le pays est par ailleurs champion du retraitement des eaux usées (plus de 85 %) pour irriguer les surfaces agricoles.

C'est lors d'une pénurie dans sa région l'ayant contraint à réduire sa consommation à l'été 2008 qu'Amir Peleg a décidé de s'intéresser à la filière. Il a alors découvert que 15 à 20 % de l'eau injectée dans le réseau s'échappait des canalisations. Une conversation avec un ingénieur lui a ouvert les yeux sur les nombreuses défaillances de la distribution : confrontées à un taux de pertes moyen de 25 à 30 %, les entreprises collectaient certes bon nombre de données brutes mais n'en faisaient guère usage pour diagnostiquer l'état du réseau ou décider d'intervenir. TaKaDu est né de cette prise de conscience.



— 02 Écran d'analyse des données TaKaDu

— 03 Exemple de gestion des événements



03

Des données dans les tuyaux

Avec son équipe, Amir Peleg développe des algorithmes et utilise des méthodes statistiques pour détecter les fuites et prévenir les ruptures de canalisations. Sa solution brevetée rapatriée sur le Cloud

— La plate-forme SaaS de TaKaDu exploite les données pour optimiser les capacités, détecter les anomalies dans les canalisations, compteurs, vannes, etc., et déclencher des alertes en temps réel.

et traite automatiquement les données brutes des capteurs intelligents qui équipent le système. Elle croise les données multisources des systèmes d'exploitation et de télégestion des réseaux, ainsi que des débitmètres en ligne, avec les données de pression et des informations météorologiques ou événementielles.

La plate-forme de services à la demande (SaaS) de TaKaDu exploite ensuite ces données pour optimiser les capacités, détecter les anomalies dans les canalisations, compteurs, vannes et autres équipements, les classer par catégorie d'événements, et alerter le client en temps réel. Une révolution pour la distribution et la gestion « intelligente » de l'or bleu, sans modification du réseau, ni investissement en appareils ou surcoût. Pour résumer, la solution de TaKaDu permet de prédire, de détecter, d'analyser et de gérer les événements dans le réseau d'eau et ce faisant, d'alléger la facture tout en offrant une visibilité et une efficacité accrues →2-5.

Comment fonctionne-t-elle ? Pour tout ou partie de chaque réseau d'adduction, le logiciel détermine des profils de consommation normaux. Il connaît l'évolution des flux selon le moment de la journée, la semaine ou la saison, ainsi que les pics de demande le matin et le soir quand les usagers partent et reviennent du travail, mais aussi pendant le week-end ou à Noël par exemple. Plus il dispose d'informations sur les utilisations normales, mieux il peut détecter avec précision les anomalies (fuites, ruptures de canalisation, voire branchements sauvages). Il a ainsi permis au distributeur Yarra Valley Water, à Melbourne, de découvrir qu'un producteur de fraises s'approvisionnait à une borne incendie.

TaKaDu a su innover de manière radicale avec une approche globale qui regroupe la gestion de différents types d'événements et de toutes les données et connaissances associées dans une même interface. « À la manière des logiciels de gestion de la relation client, indispensables aux entreprises d'aujourd'hui, la gestion intégrée des événements compile l'ensemble des données dont dispose un distributeur pour produire des informations pertinentes sur chaque incident », explique son patron fondateur.

—

Le logiciel TaKaDu détecte les anomalies (fuites, ruptures de canalisation, voire branchements sauvages) avec une précision proportionnelle à la quantité d'informations sur le profil de consommation normale.

Cette connaissance approfondie du réseau combinée à la détection temps réel des anomalies et à l'analyse rapide de chaque type d'événement permet d'identifier :

- les fuites avant rupture des canalisations ;
- les évolutions et les tendances dans la pression de l'eau ou les interruptions ;
- une consommation anormale ou illicite ;
- les problèmes de qualité de l'eau ;
- les défauts des compteurs, vannes, réducteurs de pression et autres équipements ;
- les problèmes de télémesure et de disponibilité des données ;
- les alertes automatiques en cas de problèmes d'exploitation (vannes ouvertes, zones non alimentées, etc.).





05

—
04 Tableau de bord

—
05 Exemple classique d'incident (fuite) géré par TaKaDu. ABB fournit l'instrumentation (capteurs et appareils de mesure) et le contrôle-commande, tandis que TaKaDu apporte une solution d'intelligence artificielle qui anticipe les risques de fuites et indique au client le meilleur emplacement du nombre minimal de capteurs de pression.

Selon Amir Peleg, beaucoup de gestionnaires de réseaux sont au milieu du gué : équipés de capteurs et d'outils d'analyse, ils se demandent pourquoi en installer plus. Mais il n'est pas rare qu'ils changent d'avis devant la puissance de la solution TaKaDu. De quoi enclencher un cercle vertueux d'investissement.

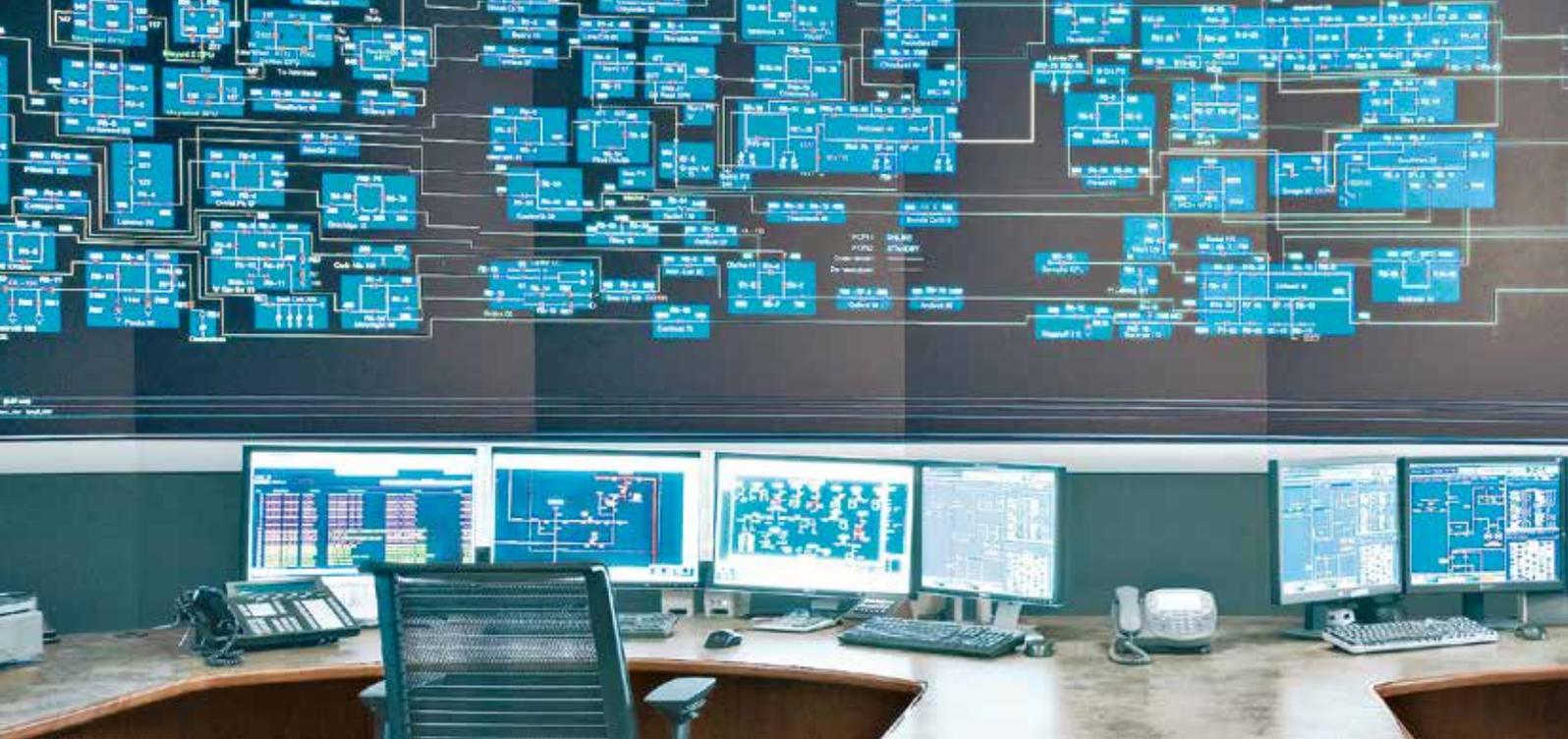
—
Adopté dans le monde entier, le logiciel de suivi éprouvé de TaKaDu complète le portefeuille d'ABB en automatismes pour l'eau.

Hô-Chi-Minh-Ville

TaKaDu complète le portefeuille ABB d'automatismes pour le secteur de l'eau avec un système de pilotage éprouvé, déjà adopté par des distributeurs en Europe, en Australie, en Amérique latine et au Moyen-Orient. Les innovations permettent aux clients d'ABB de produire, de transporter, de distribuer, de traiter et d'utiliser l'eau de manière fiable et efficace, tout en limitant les pertes et en diminuant la consommation énergétique.

« Avec la solution experte de TaKaDu, les industriels de l'eau prennent à temps la vague du numérique, se réjouit Kurt Kaltenecker, directeur de la technologie chez ATV. Notre partenariat avec TaKaDu est l'occasion de montrer à nos clients le potentiel de l'automatisation avancée et de l'exploitation des données. » TaKaDu apporte l'expertise technique pour faire parler les données brutes et les traduire en informations exploitables. De son côté, ABB fait bénéficier la jeune pousse de son expérience, de son assise technologique et de sa base clients, lui facilitant l'accès au marché.

Cette puissante synergie œuvre aujourd'hui au service d'un ambitieux projet à Hô-Chi-Minh-Ville (Vietnam) pour améliorer l'efficacité, réduire les pertes – qui avoisinent 50 % de l'eau distribuée, à cause des fuites et conduites endommagées –, prévenir les coupures et garantir l'accès de tous à la ressource.



06

Dans le cadre de la remise en état du réseau urbain, la société d'alimentation en eau potable de Saïgon (SAWACO) déploie les technologies de commande et de supervision numériques d'ABB et la solution intégrée de gestion des événements

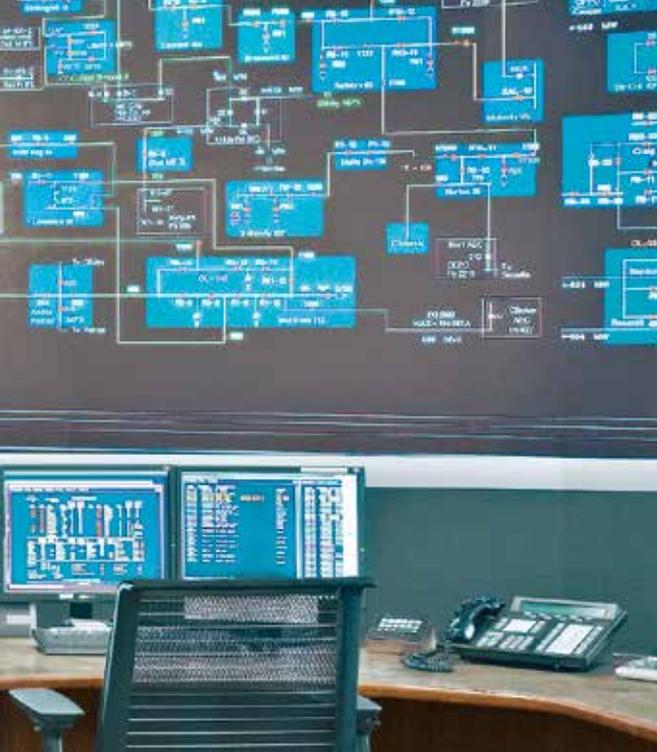
—
La société d'approvisionnement en eau potable de Hô-Chi-Minh-Ville déploie les technologies de commande et de supervision numériques d'ABB et la solution intégrée de gestion d'événements de TaKaDu.

de TaKaDu, qui détecte, analyse et gère les incidents sur le réseau (fuites, ruptures de canalisations, équipements défectueux, problèmes de télémétrie et de données et défaillances d'exploitation).

La plate-forme d'automatisation ABB Ability™ Symphony® Plus, couplée à la gestion TaKaDu, supervisera et pilotera la totalité du réseau →6.

Des solutions complémentaires d'ABB et de TaKaDu permettront à SAWACO de suivre numériquement l'état du réseau en de multiples points de collecte des données (capteurs et compteurs par exemple) et fourniront des informations permettant de limiter les consommations non comptabilisées →7. SAWACO pourra ainsi mieux approvisionner la ville, ses activités et ses huit millions d'habitants. Selon une première estimation, l'entreprise devrait économiser par an 50 millions de mètres cubes d'eau (l'équivalent de 20 000 piscines olympiques) et plus de 10 millions de dollars en coûts de production.

« Nous sommes ravis de faire équipe avec ABB sur ce projet mené dans l'un des pays d'Asie les plus dynamiques, affirme Amir Peleg. En convertissant les données brutes du réseau en connaissances exploitables, nous épargnons à SAWACO la perte de plusieurs milliers de mètres cubes non facturés chaque jour tout en améliorant notablement l'efficacité opérationnelle du réseau. »



— 06 Au fil des ans, les outils de commande et de supervision d'ABB ont évolué pour répondre aux besoins spécifiques de nombreux secteurs, comme la gestion des réseaux d'eau.

— 07 Grâce à la technologie TaKaDu, les distributeurs d'eau passent d'une gestion des crises au coup par coup à des prises de décision efficaces renseignées par l'exploitation des données.

Bibliographie

[1] Lietha, V., « Collaborer pour innover », *ABB Review*, 1/2018, p. 8-12.

[2] Forum économique mondial, « The Global Risks Report 2018 », disponible sur : <https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2018>, 17 janvier 2018.

[3] www.takadu.com

Dessiner les réseaux du futur

Fort de ce premier succès, TaKaDu a transformé l'essai : sa solution est maintenant déployée dans 12 pays, dont l'Australie, le Brésil, le Chili, Israël, la Roumanie, l'Espagne et les États-Unis. Petits ou

Le Forum économique mondial a salué la contribution de TaKaDu à la protection de l'environnement.

grands, privés ou publics, urbains ou ruraux, les clients apprécient tous d'être passés d'une gestion des crises au coup par coup à une prise de décision efficace et éclairée par les données.

En 2011, le prix Pionnier technologique du Forum économique mondial est venu couronner l'apport de TaKaDu à la protection de l'environnement. Lors de la conférence annuelle de Davos, TaKaDu a également participé à un débat sur la raréfaction des ressources hydriques. C'est toutefois l'investissement d'ATV qui a donné à l'entreprise une nouvelle dimension. En compétition avec Google Ventures, Amex Ventures, Intel Capital et Nike, entre autres, ATV a ainsi été primée le 21 mai 2014 dans la catégorie « Investissement de l'année de moins de 50 millions de dollars » pour sa mise de fonds dans TaKaDu. Ce prix, décerné par Global Corporate Venturing, récompense l'innovation, les meilleures pratiques et le service dans l'écosystème du capital risque d'entreprise. ABB s'affirme donc comme un leader stratégique et innovant, de renommée internationale. Cette distinction met aussi l'accent sur la réussite du partenariat synergique entre ABB et TaKaDu. ●

07



NUMÉRIQUE ET ANALYTIQUE

Commande avancée et modélisation analytique en automatisation industrielle

La suite logicielle ABB Ability™ Advanced Process Control and Analytics (APCA) comprend une panoplie d'outils en ligne et hors ligne destinés au déploiement des régulateurs avancés et modèles analytiques de procédé. Elle procure aux industriels de la transformation et de l'énergie des fonctions évoluées de surveillance, d'analyse prédictive et de commande en boucle fermée sur le terrain, en bordure de réseau ou dans le Cloud, qui se traduisent en temps réel par des gains de performance opérationnelle.



Luis Dominguez
Ability Platform Engineering
Digital ABB
Baden-Dättwil (Suisse)

luis.dominguez@
ch.abb.com

Et si l'industrie de transformation et l'énergie pouvaient tirer profit du virage numérique amorcé par les technologies de l'Internet des objets (Cloud, analytique, visualisation et modélisation de la commande avancée, etc.) pour optimiser leurs opérations ? L'acquisition, la création et le transfert des connaissances sont des forces de progrès qui ont le pouvoir d'améliorer l'ordonnement des procédés, mais aussi d'en prédire, d'en estimer et d'en optimiser le comportement, donc les performances, même en l'absence de mesures fiables.



Eduardo Gallestey
ABB Process Industries
Industrial Automation
Baden-Dättwil (Suisse)

eduardo.gallestey@
ch.abb.com

Riche d'un portefeuille de plus de 70 millions de dispositifs connectés, de 70 000 systèmes de contrôle-commande implantés dans le monde entier et de 1,5 milliard de dollars investis chaque année dans la recherche-développement, ABB s'érige en chef de file de la transformation numérique pour doter ses clients, industriels et énergéticiens, de solutions à la fois unifiées et multisectorielles. Cette puissance d'innovation s'est concrétisée ces cinq dernières années par des investissements croissants dans des outils de commande avancée et de modélisation analytique au service de l'optimisation prédictive des process.



—
À bord des navires, l'optimisation prédictive de la centrale d'énergie améliore le rendement énergétique et réduit la pollution.

La commande avancée repose habituellement sur des méthodes de régulation prédictive par modèle et d'estimation à horizon glissant, qui utilisent un modèle mathématique (linéaire ou non) du site à piloter et une algorithmique pointue pour estimer les états et variables non mesurés du procédé. Elle permet aux industriels d'atteindre leurs

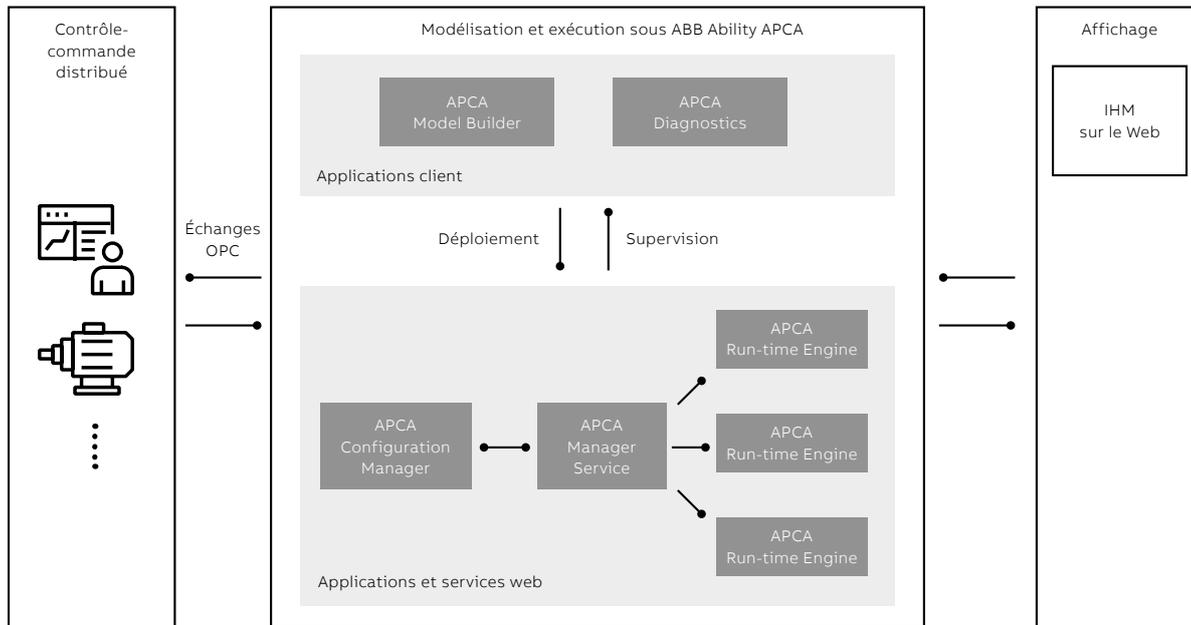
—
Avec plus de 70 millions de dispositifs connectés, 70 000 systèmes de contrôle-commande et un budget R&D de 1,5 milliard par an, ABB est un chef de file mondial de la transformation numérique de l'industrie.

objectifs opérationnels et financiers en augmentant la productivité tout en réduisant la consommation d'énergie.

Cette stratégie est généralement intégrée à des systèmes de contrôle-commande distribué, comme ABB Ability™ 800xA et ABB Ability™ Symphony Plus, pour bénéficier ainsi des ressources décentralisées, de la redondance, de la communication et de la cybersécurité intrinsèque de ces plates-formes d'automatisation modernes.

À mesure que la commande avancée s'enrichit de nouvelles composantes et fonctionnalités, les chercheurs et ingénieurs ABB explorent le potentiel de l'intelligence artificielle, avec les réseaux de neurones en apprentissage par renforcement et les technologies numériques en bordure de réseau et dans le Cloud, pour analyser et optimiser les services opérationnels du génie des procédés et de l'énergie.





01

Aujourd'hui, la plate-forme ABB Ability™ s'impose en moteur des solutions numériques de conduite avancée.

Suite logicielle ABB Ability APCA

L'offre intégrée ABB Ability, lancée en 2017, embrasse toute l'industrie avec plus de 180 solutions

—

La suite APCA et ses services d'analytique et d'optimisation constituent la dernière innovation de l'offre ABB Ability™.

numériques créées et connectées sur Internet, à l'instar du logiciel expert de surveillance et d'aide à la navigation OCTOPUS [1].

Cette plate-forme fédératrice, embarquée dans l'équipement, implantée en bordure de réseau ou dans le Cloud, exploite les technologies numériques et les logiciels industriels d'ABB tout en capitalisant sur l'infrastructure cloud, la cybersécurité et les services Azure de Microsoft (classe entreprise) pour coller aux besoins des clients.

La suite APCA, avec ses services d'analytique et d'optimisation qui surveillent, prédisent et régulent les process en boucle fermée, est la dernière innovation de l'offre ABB Ability [2].

— 01 Déploiement et supervision des processus de régulation et d'analyse dans l'architecture ABB Ability™ APCA

— 02 Écrans du gestionnaire de configuration APCA

02a Page principale listant tous les régulateurs de l'installation

02b Diagramme de Gantt illustrant les temps et séquences d'exécution des régulateurs déployés

Elle se compose d'une panoplie d'outils qui rationalisent et accélèrent le déploiement des régulateurs prédictifs et des modèles analytiques : un constructeur de modèles (*Model Builder*) et un outil de diagnostic (*Diagnostics*) hors ligne, un gestionnaire de configuration (*Configura-*

— **La réponse ABB aux exigences d'efficacité opérationnelle des sites papetiers est la solution OPT800 sous Ability APCA.**

tion Manager), un moteur d'exécution (*Run-time Engine*) et un service web de gestion des régulateurs (*Manager Service*) en ligne. APCA transmet ses régulateurs et modèles à la bordure de réseau ABB Ability pour s'intégrer à ce niveau dans un système de contrôle-commande distribué (notamment aux fins de pilotage) ou dans le Cloud ABB Ability (pour optimisation, par exemple) →1.

Développer et analyser hors ligne

Développer la régulation et l'analyse hors ligne dans APCA Model Builder présente l'avantage de tirer rapidement profit des données applicatives du client en accomplissant les tâches de modélisation, de conception du régulateur et d'analyse avant même de déployer les solutions. La possibilité d'importer des masses de données et de les soumettre à des traitements poussés (ré-échantillonnage, interpolation, filtrage et simulations en boucle ouverte et en boucle fermée) est un atout indéniable pour l'utilisateur.

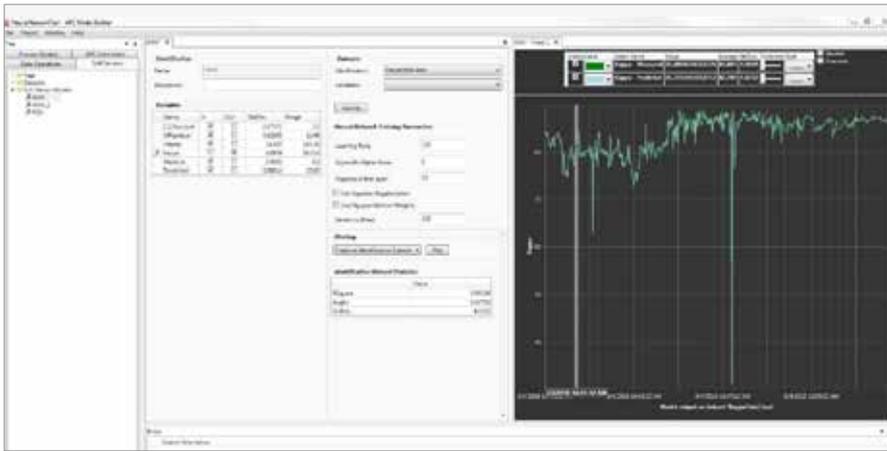
Face aux enjeux de la sécurité dans l'industrie, Model Builder a la solution : Ability APCA émet des certificats d'habilitation qui gèrent l'authenticité et l'intégrité des modèles analytiques et régulateurs avancés construits dans Model Builder. Ainsi, seuls ceux dotés de certificats valides émanant d'utilisateurs autorisés reçoivent une signature électronique, véritable sésame pour leur exportation dans le gestionnaire de configuration. Ôter le facteur humain du processus décisionnel renforce grandement la sécurité.

Name	Controller	IPC Source	Status	Last Modified	Edit	Delete	Backup	Export	Print
Operator Control	OPFC_0	works:\works\ABB_RobotCo\Controler 1	Stopped	Jan 4, 2018 9:45:23 AM					
Operator Control with Analytic Model	OPFC_0_001	works:\works\ABB_RobotCo\Controler	Auto	Jan 11, 2018 3:54:55 PM					
LevelControl	LevelOPC	works:\works\ABB_RobotCo\Controler	Auto	Jan 11, 2018 3:54:55 PM					
HandoverControler	Handover_Linear_Step_Controller	works:\works\ABB_RobotCo\Controler	Auto	Jan 11, 2018 3:54:55 PM					
HydroPowerPlant	PowerPlant_Linear_Power_Plant	works:\works\ABB_RobotCo\Controler	Auto	Jan 11, 2018 3:54:55 PM					
Preheating	OPC_00001	works:\works\ABB_RobotCo\Controler 1	Stopped	Jan 4, 2018 9:45:27 AM					
HeatExchanger	HE_Controller	works:\works\ABB_RobotCo\Controler 1	Auto	Jan 11, 2018 3:54:57 PM					
APCControl	ABBPC_Controller_01	works:\works\ABB_RobotCo\Controler 1	Manual	Jan 11, 2018 3:54:55 PM					

02a



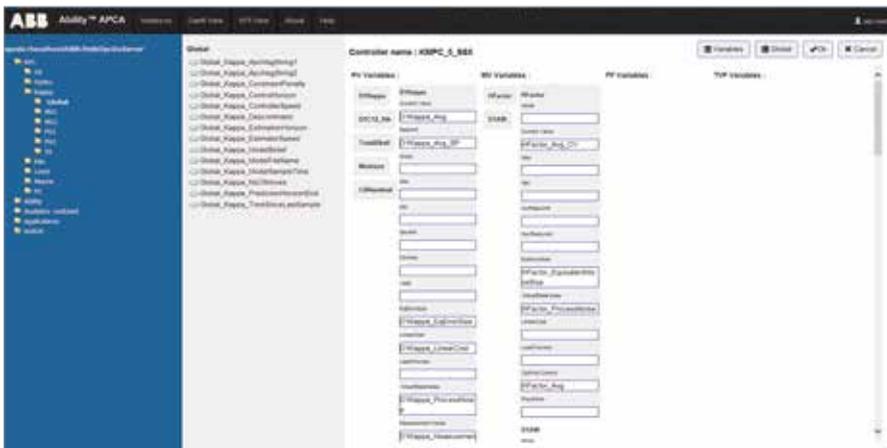
02b



03a



03b



03c

De même, l'outil APCA Diagnostics permet à l'utilisateur d'analyser les performances des régulateurs déployés en visualisant l'historique des actions de contrôle-commande consignées dans les fichiers journaux. Les valeurs estimées des variables process et la qualité des prédictions peuvent être confrontées aux données remontées de l'usine, permettant aux automatistes et instrumentistes de repérer sans peine les anomalies.

Déployer et superviser en ligne

Les régulateurs peuvent être créés, modifiés, importés/exportés ou supprimés dans APCA Configuration Manager →2a. Cette application web vérifie également la signature du fichier régula-

teur importé, suivant la même procédure de sécurité que celle de Model Builder ; un fichier invalide ou non signé donne lieu à un message d'erreur.

Point fort de cet outil en ligne : l'utilisation de protocoles de communication industriels, tels que le standard OPC, pour se connecter à un site, créer ou configurer des points de données et les mettre en correspondance avec les variables du régulateur importé. Les échanges sont sécurisés par des techniques d'authentification et de chiffrement, habituellement sous protocole HTTPS avec certificats SSL et TLS (*Secure Socket Layer/Transport Layer Security*).

— 03 Exemples d'écran APCA

03a Model Builder :
réglage d'un modèle ANN
de prédiction de l'indice
kappa dans un lessiveur

03b Configuration
Manager : affichage de
la configuration d'un
régulateur chargé

03c Configuration
Manager : mise en
correspondance des
signaux de données et
des variables et para-
mètres du régulateur

Une instance de moteur d'exécution APCA Runtime Engine, contenant les algorithmes d'optimisation exécutés en arrière-plan, est créée par le gestionnaire de configuration au chargement des régulateurs dans le système. Chaque instance est supervisée par APCA Manager Service →2b : en cas de défaillance du moteur, ce service web y remédie pendant la période d'échantillonnage, garantissant l'accomplissement de la fonction malgré des conditions défavorables. D'autres instances d'exécution, comme des messages ou alarmes/événements, sont acheminées vers l'application web pour y être éventuellement affichées. Ces deux outils APCA travaillent donc de concert pour garantir en toutes circonstances le fonctionnement des régulateurs déployés.

—
**ABB Ability SmartVentilation
améliore la qualité de l'air et
réduit de 30 à 50 % par an la
consommation énergétique des
mines souterraines.**

Modélisation analytique

L'un des problèmes récurrents auquel se heurtent les spécialistes du contrôle-commande est d'avoir à déduire des données à partir de mesures inexistantes ou des données secondaires récupérées de mesures non fiables. Dans pareils cas, la modélisation analytique peut s'appuyer soit sur un modèle de connaissance (premiers principes), soit sur les données du process, pour être ensuite déployée dans l'exécutif APCA.

Model Builder dispose à cette fin d'une batterie de modèles (graphiques ou à base de régression linéaire et non linéaire, d'analyse en composantes principales, de réseau de neurones artificiels, de machine à vecteurs de support) que l'on peut tester afin de retenir celui qui convient le mieux à l'application ou se révèle statistiquement le plus propice à l'optimisation.

Réalisations industrielles

La suite logicielle ABB Ability APCA accompagne plusieurs entités de la division ABB Automation avec des solutions d'analyse et d'optimisation visant à relever les défis de chaque filière. Voyons-en trois exemples.

Papier

ABB Ability APCA aide les procédés de fabrication continue à optimiser les opérations, même en cas d'absence ou d'inadéquation des mesures. La réponse ABB aux besoins d'efficacité opérationnelle des industriels du papier est la solution OPT800 sous Ability APCA. Des modèles analytiques développés à l'aide de réseaux de neurones artificiels (ANN), à partir de mesures prélevées sur l'installation de soufflage (facteur H, alcalinité, humidité et concentration résiduelle en alcali) servent à prédire l'indice kappa, variable déterminante de la qualité de la pâte à papier, mais souvent indisponible en l'absence de capteurs dans le lessiveur [3]. Les modèles de prédiction ANN ainsi identifiés, éduqués et validés dans Model Builder permettent ensuite de concevoir les régulateurs prédictifs →3a-c. L'utilisation conjointe de la modélisation analytique et de la commande avancée dope de 1 à 5 % le rendement et la production de pâte à papier tout en diminuant de 25 à 50 % les variations kappa et d'alcali résiduel dans les lessiveurs. Ces bénéfices se retrouvent à d'autres stades du process [4], comme l'attestent la réduction des déchets et l'amélioration des indicateurs clés de performance.

Mine

Dernière innovation ABB Ability APCA : la possibilité d'identifier des systèmes multivariables complexes à l'aide, par exemple, de modèles à retard-gain. Cette technologie a joué un rôle crucial dans la création de la solution modulaire

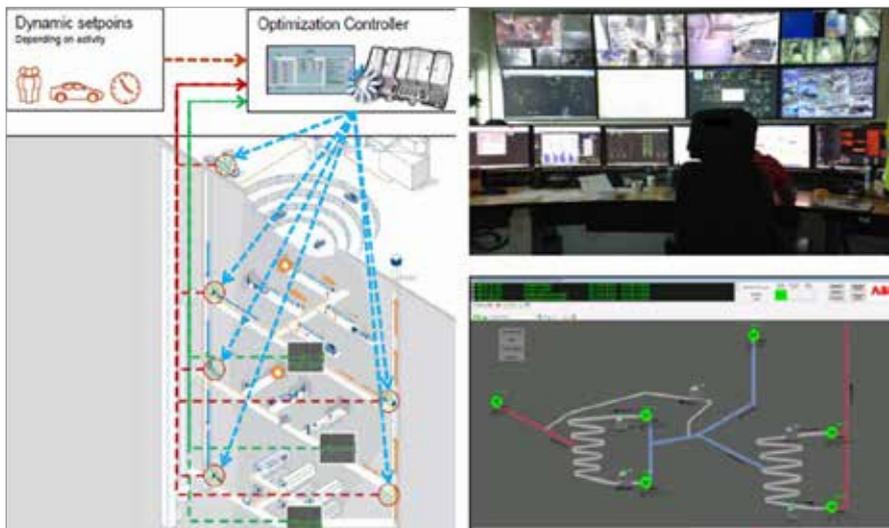
—
Grâce à la technologie APCA d'ABB, les transporteurs maritimes peuvent diminuer leur consommation et dépenses de combustible d'au moins 4 %, mais aussi la pollution, allégeant l'empreinte carbone et le coût global de la navigation.

La régulation ABB SmartVentilation optimise l'aéragé de la mine et l'évacuation rapide des gaz produits par les sautages d'explosifs, tout en minimisant la consommation d'énergie [5]. Là où les techniques de ventilation traditionnelles font courir des risques au personnel et grimper inutilement la facture énergétique, ABB Ability SmartVentilation sécurise les lieux, améliore la qualité de l'air et permet d'économiser 30 à 50 % d'énergie par an.

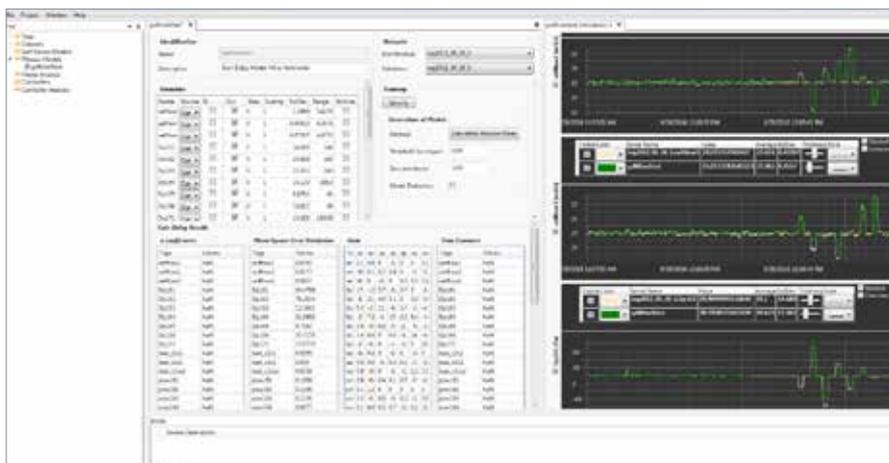
Marine

Le logiciel de surveillance et d'aide à la navigation ABB Ability Marine Advisory System OCTOPUS, assisté de la suite ABB Ability APCA, connaît un grand succès dans le domaine de la propulsion marine, où les coûts et la consommation de combustible, mais aussi le fonctionnement de la centrale d'énergie sont les premiers postes de dépenses d'exploitation et de pollution.

de ventilation à la demande des mines souterraines ABB Ability SmartVentilation →4, qui peut s'intégrer à la plate-forme ABB Ability 800xA [5].



04a

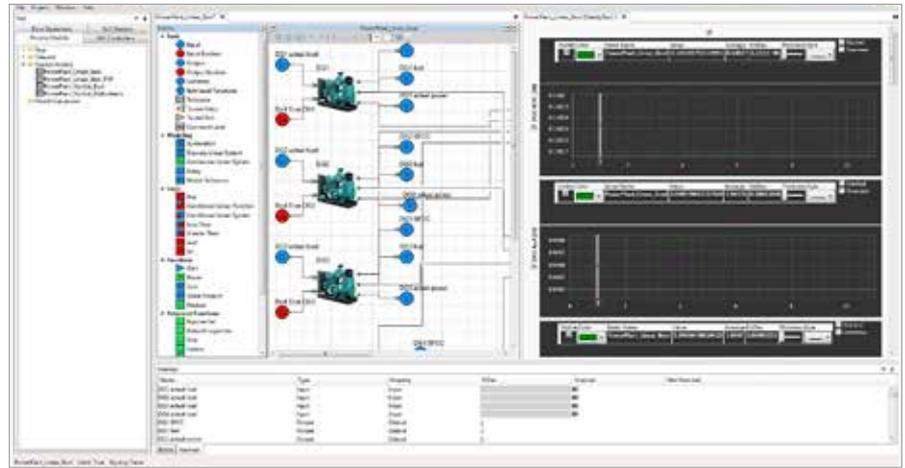


04b

—
04a Aménagement d'un site minier employant un modèle à retard-gain, identifié par Model Builder, pour optimiser le système de ventilation

04b Réglage du modèle dans Model Builder

—
05 Modèle graphique d'une centrale d'énergie de navire, construit dans Model Builder, et tracés des simulations en boucle ouverte



05

Bibliographie

[1] Tervo, K., Pietilä, J., Dominguez, L., Lundh, M., Ollikainen, T., « Closing the loop from office to propeller with ABB Ability™ », *Generations*, p. 136-139, 2017.

[2] Dominguez, L., Kumar, S. M., Gallestey, E., Saynevirta, S., « A Data-driven revolution », *InTech Magazine*, p. 12-17, 2017.

[3] Badwe, A., Saten, R., « ABB met la main à la pâte : stabiliser et optimiser la production de pâte à papier de qualité avec la commande avancée ABB », *ABB Review*, 1/2016, p. 53-59.

[4] « Advanced process control : ABB's OPT800 suite », disponible sur : <http://new.abb.com/pulp-paper/abb-in-pulp-and-paper/systems/control-systems/advanced-process-control>.

[5] ABB's SmartVentilation: A real-time mine ventilation optimization solution, disponible sur : https://library.e.abb.com/public/1d50e713babd-926dc1257d9600368d69/ABB_Mining_Flyer_Smart-Ventilation_LR.pdf.

[6] Lundh, M., Garcia-Gabin, W., « Estimation and Optimization of Vessel Fuel Consumption », Technical Report, ABB Corporate Research, 2015.

La solution utilise en entrée les prédictions de consommation d'un navire sur toute la durée du parcours pour déduire la charge optimale de chaque génératrice. Cette optimisation au long cours emploie un régulateur prédictif qui s'appuie sur un modèle mathématique de l'installation pour prédire l'état de la centrale d'énergie sur une fenêtre d'échelons future, ou « horizon de prédiction ». On en déduit une séquence optimale de distribution de la charge sur une période plus courte appelée « horizon d'optimisation » →5.

La suite logicielle ABB Ability APCA révolutionne l'analyse de données et réduit l'effort de modélisation.

La consommation de combustible de chaque génératrice, modélisée sous la forme d'une fonction non linéaire des charges et des états en ligne, repose sur le suivi des courbes de consommation spécifique de combustible et les contraintes définies par l'utilisateur. Les régulateurs prédictifs tiennent ensuite compte du modèle de rendement énergétique identifié de chaque groupe diesel pour ajuster les charges correspondantes en temps réel.

La technologie APCA d'ABB permettra à la filière d'abaisser non seulement ses coûts et sa consommation énergétiques d'au moins 4 % [6], mais également les émissions polluantes, réduisant l'empreinte carbone et le coût global du transport.

Révolutionner l'analyse

L'avènement de l'Internet des objets a donné aux secteurs du process, comme le papier et la pâte à papier, et du transport maritime, gros consommateur d'énergie, la capacité de déployer et de surveiller des solutions de commande avancée, d'analytique et d'optimisation, en bordure de réseau comme dans un cloud industriel. La suite ABB Ability APCA révolutionne l'analyse de données et allège l'effort de modélisation. La mise en service et le suivi en ligne des régulateurs prédictifs s'en trouvent améliorés. Cette nouvelle technologie a le potentiel de hisser le modèle économique des services et applicatifs logiciels « à la demande » (SaaS) à un niveau sans précédent qui facilite les prédictions stratégiques et maximise la synergie des opérations. ●

 NUMÉRIQUE ET ANALYTIQUE

Un banc d'essai pour la plate-forme ABB Ability™

Un banc d'essai polyvalent et performant, adapté à la commande avancée et au suivi d'état, mais aussi capable d'évaluer des compresseurs industriels ? ORKAN est tout cela et bien plus encore : intégré à l'écosystème ABB Ability™, il aide les industriels du pétrole, du gaz et de la chimie à mettre au point des technologies révolutionnaires.

Piotr Lipnicki
Daniel Lewandowski
ABB Corporate Research
Cracovie (Pologne)

piotr.lipnicki@
pl.abb.com
daniel.lewandowski@
pl.abb.com

Diego Pareschi
ABB BV
Rotterdam (Pays-Bas)

diego.pareschi@
nl.abb.com

L'avènement de l'Internet des objets (IoT) et de l'usine connectée →1 change la donne dans l'industrie. L'atelier ne se contente plus d'interagir avec divers dispositifs, systèmes, ordinateurs et opérateurs pour surveiller de près le procédé et collecter des données à des fins d'analyse, de traitement ou de communication temps réel ; il dialogue avec les systèmes d'information qui exploitent et analysent ces données afin d'optimiser le procédé et d'alimenter les outils de prédiction et les processus de décision. Une bonne communication entre tous ces acteurs améliore les perfor-

Quand un compresseur centrifuge atteint un taux de compression maximal et un débit minimal, il entre en zone d'instabilité ou « pompage » : un danger pour l'appareil et l'installation !

mances et rendements de production tout en réduisant le coût global des opérations. Il faut aussi gérer les aspects physiques, électriques et mécaniques des machines, de la plus simple à la plus complexe, ainsi que les organes de contrôle-commande du procédé, comme les régulateurs.

Pour assurer cette interconnexion croissante de fonctions toujours plus diverses et concomitantes, les multiples dispositifs de l'usine moderne doivent offrir fiabilité et efficacité en toutes circonstances. La multiplication des interactions étant source de confusion, rien d'étonnant à ce que les coûts dérapent et que les défaillances s'invitent dans l'équipement ou l'installation.

De nombreux sites de production s'appuient aujourd'hui sur des systèmes d'entraînement, une infrastructure informatique et des matériels sujets aux pannes et sensibles aux perturbations du réseau électrique. Souvent, c'est même un élément clé de la production qui est à l'origine des anomalies et perturbe la qualité de la fourniture électrique, avec des conséquences financières parfois dramatiques pour l'industriel. Il faut donc à tout prix éviter les arrêts intempestifs.

Protéger les actifs des perturbations réseau et garantir leur fonctionnement au sein de procédés complexes exige des capacités d'analyse du système électrique, couplées à des mesures pour atténuer l'impact de ces perturbations. En rendant le site plus résilient aux défauts électriques, ces mesures garantissent sa disponibilité et préservent la sécurité, la continuité et la rentabilité de l'activité.



—
Photo : les compresseurs sont présents à tous les niveaux dans les secteurs du pétrole, du gaz et de la chimie.

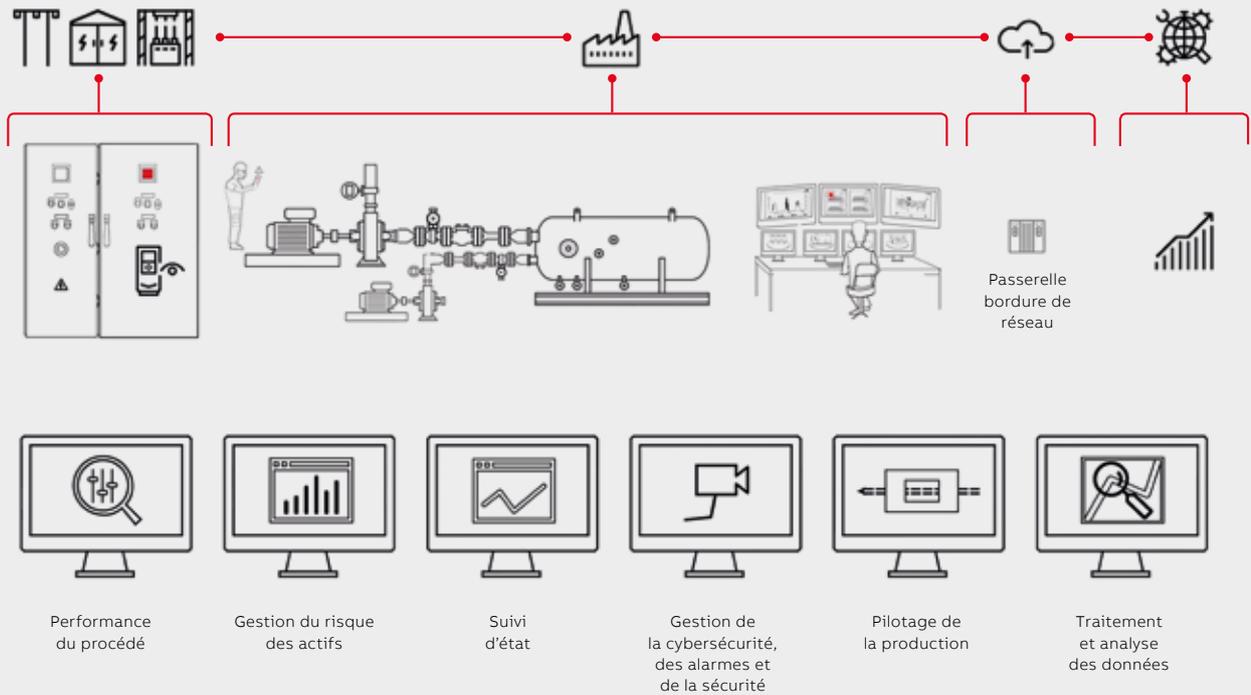
Fort d'un esprit pionnier de plus de 130 ans, ABB est encore aujourd'hui à l'avant-garde des

—
Le préjudice économique causé par une panne peut rapidement dépasser le coût initial du compresseur.

innovations qui forgent la 4^e révolution industrielle. Le Groupe s'appuie sur son expertise et sa connaissance inégalées de la connectivité industrielle pour aider ses clients à décupler leurs

connaissances et leur capacité d'action. Depuis sa création, ABB a toujours mis le client au cœur de sa stratégie de services.

Pour mener cette course à l'innovation technologique et numérique, ABB met au point des concepts « intelligents » qu'il vérifie au moyen de revues de conception, de modélisations et simulations avancées, et d'essais rigoureux réalisés dans des conditions strictes, notamment pour les petites configurations. Le banc d'essai pour compresseurs ORKAN →2 fait partie de cet arsenal ABB.



01

Banc d'essai pour compresseurs ORKAN

L'industrie du pétrole, du gaz et de la chimie a fréquemment recours à la compression et au transport du gaz, qui représentent la majeure partie de sa facture énergétique. Pour gagner en performance, les compresseurs axiaux y sont monnaie courante. Leur conception et leur exécution revêtent une importance capitale en raison des faibles tolérances de débit volumétrique et de rapport de pression, ainsi que des exigences d'économie d'énergie.

—

ORKAN évalue la stabilité de l'installation et l'impact des défauts électriques afin d'aider les ingénieurs ABB à protéger les machines contre les perturbations de l'écoulement.

Depuis l'introduction du compresseur axial il y a plus d'un siècle, les ingénieurs n'ont cessé d'en améliorer la construction. Ses excellentes caractéristiques constructives et sa grande fiabilité en font aujourd'hui le choix privilégié pour nombre d'applications critiques, telles les gazoducs. Mais son omniprésence a pour corollaire une exigence de fiabilité absolue.

Toute défaillance d'équipement doit être évitée, au risque d'entraîner un préjudice économique, qui peut rapidement dépasser le coût initial du compresseur, et des problèmes de sécurité. Dans ces conditions, il est logique que les industriels recherchent un système de suivi d'état robuste et précis pour garantir la sûreté de fonctionnement de leur parc de compresseurs.

Concevoir un système de suivi d'état performant implique de bien connaître ces machines complexes. Le rendement maximal des compresseurs centrifuges se situe dans une plage de fonctionnement stable, proche de la « limite de pompage » : c'est là un

02a



—
01 Les outils collaboratifs d'ABB Ability fournissent des informations directement exploitables pour optimiser la performance industrielle.

—
02 Bancs d'essai ORKAN à Cracovie (Pologne)

02a ORKAN 1

02b ORKAN 2

délicat exercice d'équilibre. Quand le compresseur atteint son taux de compression maximal et son débit minimal, il devient instable et entre en pompage : un danger pour l'appareil et l'installation ! Le risque est d'autant plus grand que le compresseur reste longtemps dans la zone de pompage. On comprend donc l'importance d'un pilotage fin du système de compression.

Depuis 2012, ORKAN teste l'intégration de technologies ABB dans des solutions locales et à distance dans le Cloud.

L'utilisation d'un système de suivi d'état, assorti d'algorithmes pointus, présente l'avantage d'améliorer à la fois la sécurité de l'installation et le rendement du compresseur. C'est dans cet esprit qu'ABB a développé le banc d'essai ORKAN →2 : ses deux machines permettent de reproduire le fonctionnement, en série comme en parallèle, de nombreuses applications industrielles réelles.

Le banc sert à tester l'impact des défauts électriques côté procédé, aux fins de diagnostic, à évaluer la stabilité de l'installation et à développer de nouvelles solutions de protection des machines contre les perturbations de l'écoulement. Ces dernières années, ORKAN a été mis à contribution pour développer et tester de nombreuses solutions : modes de commande du banc (perturbations réseau, par exemple) et de l'alimentation (électrique et mécanique), modes de régulation du procédé (régulation de base, commande de la pression d'aspiration et de refoulement, antipompage).

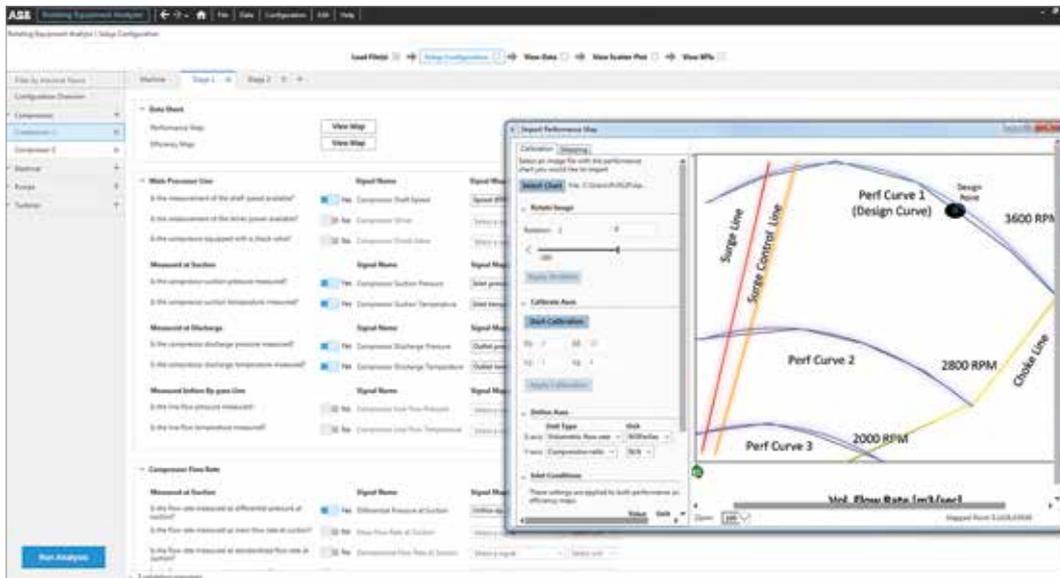
Le banc d'essai est équipé de dispositifs ABB : variateurs basse tension ACS880 et ACS850, deux moteurs asynchrones, contrôleur AC 800PEC, automates de suivi d'état AC 500 et AC 500 haute performance, disjoncteur Emax ainsi que nombreux capteurs de débit, de pression et de température. Avec la plate-forme ServicePort™ d'ABB, l'utilisateur peut visualiser, analyser et suivre tous les indicateurs clés de performance (KPI) et donc optimiser le fonctionnement des compresseurs et du procédé →3.

Applications pratiques

Depuis 2012, ce banc d'essai innovant a servi à tester l'intégration des différentes technologies ABB aux solutions locales ou à distance dans le Cloud : suivi d'état des équipements et test des algorithmes de diagnostic, évaluation des interactions entre systèmes de contrôle-commande et de diagnostic. C'est d'ailleurs cette alliance du contrôle-commande et du diagnostic qui distingue les solutions ABB de la concurrence. ORKAN permet aussi de collecter des données massives →4 et d'évaluer des solutions de Cloud et d'IoT. Atout supplémentaire : il prend en charge de multiples protocoles de communication, favorisant la connectivité des tâches de conception, de développement, d'analyse et de test. Les masses de données collectées en phase d'essai permettent d'explorer diverses méthodes d'analyse, comme le suivi d'état, à l'aide d'outils de diagnostic et de prédiction, indispensables aux secteurs du pétrole, du gaz et de la chimie.

02b





03

L'étude du banc d'essai inclut une analyse des stratégies clés de déploiement afin de répondre aux questions suivantes : que faire des résultats de l'analyse ? Comment les présenter de manière intuitive ? L'objectif premier des recherches est de proposer une solution sur mesure pour chaque cas d'emploi et profil utilisateur : ingénieur, technicien et responsable de maintenance, mécanicien, électricien, spécialiste du procédé, expert du suivi d'état, etc. Les informations obtenues doivent également être simples à comprendre et à exploiter, ce qui se traduit par une signalisation tricolore, des messages d'état (actuel et prévu) en texte clair, et la possibilité de remonter jusqu'à la cause de défaillance, par exemple.

—

ORKAN est aussi associé à la solution ABB Ability Rotating Machines Analytics qui intègre les capteurs sans fil et systèmes de contrôle-commande de compresseurs à la plate-forme ServicePort.

Évolution

Le développement de méthodes précises de contrôle-commande et de suivi d'état ne dépend pas uniquement du niveau de raffinement des modèles. Aussi complexe soit-elle, une simulation ne reflète pas la réalité, tout comme le croisement de paramètres ne suffit pas à décrire tous les processus à l'œuvre dans le compresseur ni à assurer un résultat 100 % fidèle. Sans compter que la mise en œuvre réussie de solutions théoriques en environnement numérique ne garantit pas leur bon fonctionnement en situation réelle.

La multiplication des sources de perturbation, l'inexactitude des paramètres et le haut niveau d'abstraction des modèles suffisent à rendre la solution théorique la plus élaborée sans intérêt pratique. C'est pourquoi l'intelligence artificielle ou l'apprentissage automatique constituent de bons cas de test pour vérifier le fonctionnement du banc. ORKAN a connu son baptême du feu en novembre 2016, en aidant au développement et aux essais de technologies d'apprentissage automatique et de diagnostic prédictif des machines tournantes, actifs critiques de l'industrie du pétrole, du gaz et de la chimie.

Depuis 2017, ORKAN contribue aussi aux tests de la suite logicielle ABB Ability Rotating Machines Analytics, qui intègre l'instrumentation sans fil et le contrôle-commande de compresseurs à la plate-forme ServicePort et sa connexion au Cloud ABB Ability →3.

L'avenir sera numérique

À l'avant-garde des solutions qui dessinent l'industrie du futur, ABB a mis sur pied un écosystème numérique unifié et transversal (de l'appareil au Cloud en passant par la bordure de réseau), dans lequel dispositifs, systèmes, solutions et services interagissent à la perfection sous une même bannière : ABB Ability. Le Groupe est depuis passé à l'étape suivante, qui consiste à créer un double ou « jumeau numérique » des capteurs¹⁾, dispositifs et systèmes, quasiment copie conforme du monde physique.

— 03 Affichage du risque de pompage dans ServicePort

— 04 L'outil logiciel DL400 collecte des données en vue d'évaluer la performance du procédé et du système de contrôle-commande.

— **Note**
1) Cf. « Les débitmètres électromagnétiques voient double », p. 58

Ce dispositif, sur lequel s'appuie le banc ORKAN, a besoin d'un modèle de données cohérent comprenant les variables mesurées et les règles de projection vers leur double virtuel. Pour cela, les mesures doivent pouvoir accéder facilement à cette représentation numérique par le biais d'une infrastructure de communication complexe, en parfaite adéquation avec le jumeau numérique et

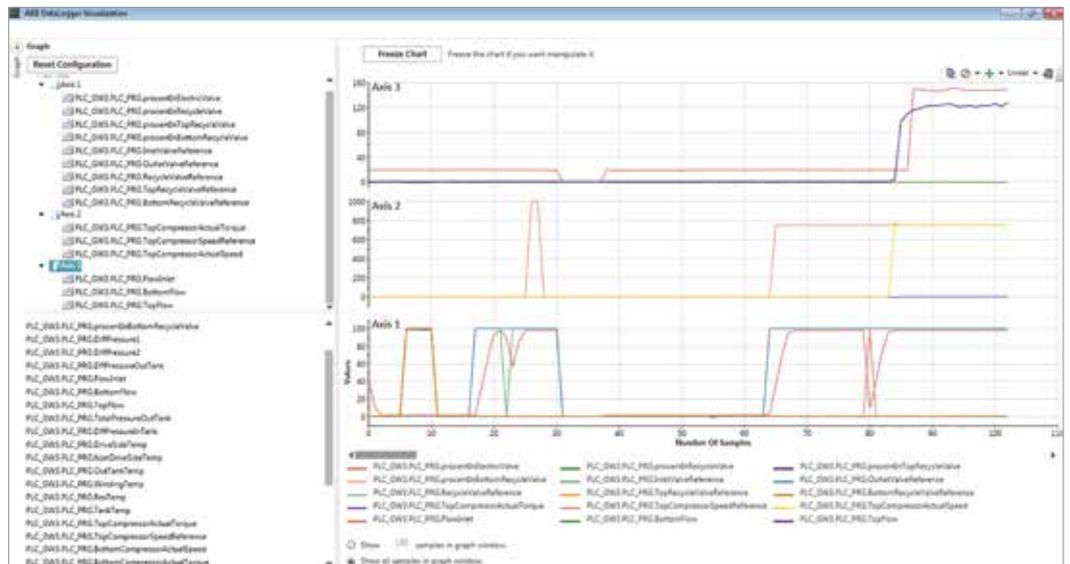
— **ORKAN est l'« incubateur » idéal des innovations de rupture : il permet d'étudier et de tester des systèmes et dispositifs numériques interconnectés ainsi que des services connexes.**

son objet. Les centres de recherche institutionnels ABB du monde entier ont recours à cette méthode pour inventer les technologies industrielles de demain. Mais pour exploiter pleinement les rapides progrès du numérique, disposer d'une simple copie ne suffit plus ; les industriels ont besoin d'une représentation virtuelle présentant des caractéristiques différentes de l'objet réel ; autrement dit, un « avatar numérique ». À l'instar du jumeau, l'avatar reproduit bel et bien un objet réel, mais il est en outre capable d'interagir avec l'environnement numérique de manière différente du comportement habituel de l'objet dans le monde réel. Les chercheurs ABB planchent actuellement sur ce concept inédit.

Perspectives

Pour s'épanouir, l'innovation a besoin d'un milieu favorable à l'invention, à la conception, à la simulation, à l'expérimentation et au déploiement de technologies et solutions novatrices. Ces caractéristiques fondamentales du banc d'essai constituent le socle nécessaire pour qu'une entreprise puisse rebondir sur son avance technologique et rester en tête de la course au numérique. Le banc d'essai polyvalent ORKAN offre tout cela, et bien plus : un « incubateur » idéal pour faire émerger et prospérer l'innovation de rupture, étudier et tester des systèmes et dispositifs interconnectés en toute transparence, ainsi que les services associés. ORKAN fait partie de la plateforme numérique ABB Ability, qui fédère tous les actifs de l'usine, de l'appareil au Cloud en passant par la périphérie. ●

04



NUMÉRIQUE ET ANALYTIQUE

DIRT Count traque et classe en temps réel les impuretés du papier

Les dernières avancées en matière d'imagerie permettent d'analyser des détails toujours plus petits sur les produits papetiers. Alors que les cadences de fabrication ne cessent d'augmenter, comment traiter les données collectées pour évaluer la qualité du produit fini et améliorer le suivi et le contrôle-commande du procédé ?

Tommi Huotilainen
Seppo Riikonen
ABB Oy
Helsinki (Finlande)

tommi.huotilainen@
fi.abb.com
seppo.riikonen@
fi.abb.com

Myron Laster
ABB Industrial
Automation
Atlanta (États-Unis)

myron.laster@us.abb.com

La première fonction d'un système d'imagerie utilisé en papeterie (*Web Imaging System, WIS*) →1 est de détecter les défauts de fabrication qui risquent de dégrader la qualité du produit, qu'il s'agisse d'anomalies franches et ponctuelles (trous, taches, impuretés, etc.) ou plus diffuses (plis, traînées, boue, etc.).

—
La première fonction d'un système d'imagerie des défauts papetiers est de détecter les anomalies à des fins d'analyse qualité.

Bien souvent, la mesure de la qualité de la bande de papier produite par les machines modernes, ultrarapides et performantes, a lieu à distance, en laboratoire, ou bien en ligne à partir de petits échantillons. ABB a récemment mis au point une méthode innovante pour analyser en temps réel un grand nombre de régions d'intérêt, ou « ROI » (*regions of interest*), sur toute la longueur de la bande.

Cette innovation et les mesures précises qui en découlent permettent aux papetiers

- de surveiller en ligne les facteurs de qualité globale d'un produit ;
- de réagir immédiatement aux incidents de production pour améliorer le procédé ;
- d'évaluer la qualité du produit dans sa totalité ;
- de classer les zones du produit fini en fonction des spécifications du client.

Par rapport aux méthodes concurrentes, où une mesure de mauvaise qualité sur une portion de bande entraîne la mise au rebut ou le déclassé d'une grande quantité de produit pourtant conforme aux spécifications, la solution ABB est gage d'économies.

—
01 Solution d'imagerie
des défauts papetiers
« WIS » d'ABB

Elle s'appuie sur les derniers progrès de l'imagerie industrielle et du traitement temps réel des données pour enregistrer une image du produit et en isoler les régions d'intérêt, selon le principe de

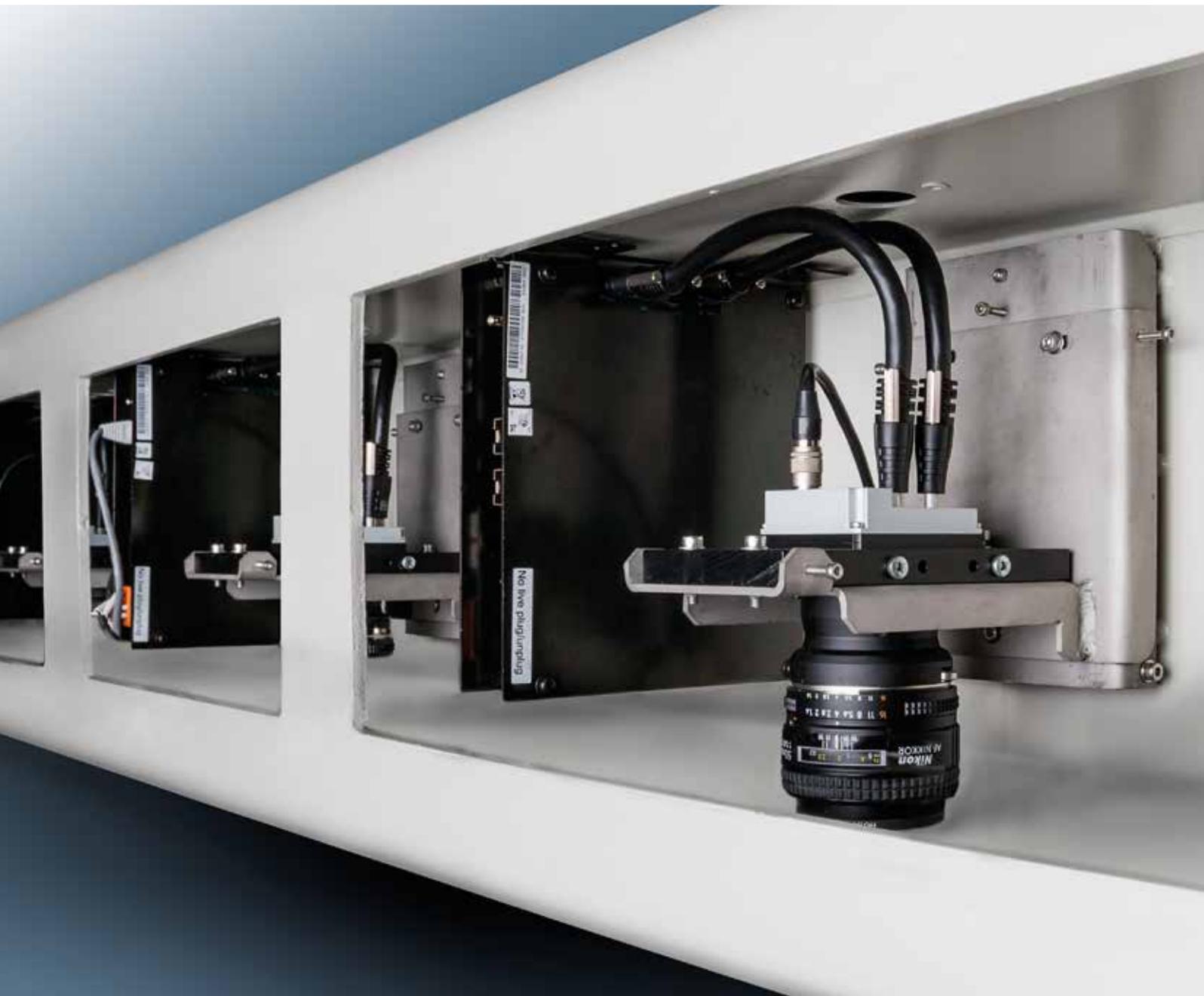
—
La méthode ABB s'appuie sur les dernières avancées de l'imagerie et du traitement temps réel des données pour enregistrer une image du produit et en isoler les zones d'intérêt.

« segmentation en ROI ». Vient ensuite l'analyse en temps réel de leur morphométrie (taille et forme) : longueur, largeur, angle et proportions.

Quel que soit le nombre de ROI par unité temporelle, cette analyse doit se dérouler en temps réel, avec son lot de contraintes [1].

Imagerie papetière

La première étape du traitement temps réel consiste à générer l'image en choisissant les bons paramètres (éclairage, configuration de l'image, caractéristiques optiques et caméra) →2. Le matériel d'imagerie analyse ensuite ces données brutes, effectue plusieurs corrections (luminosité en fonction de la position, transformation de l'image en niveaux de gris, etc.), puis les segmente en ROI ; cette étape, loin d'être évidente, multiplie les méthodes et paramétrages de segmentation en parallèle afin de générer le plus d'informations exploitables par l'analyse.



Nous l'avons dit, l'analyse temps réel doit gérer une quantité de données impressionnante, avec une dynamique et une résolution très élevées. Des circuits logiques programmables (FPGA) dédiés s'y emploient : ces composants combinent un grand nombre d'éléments logiques de base pour créer des fonctions complexes. Aujourd'hui, un FPGA peut contenir des millions de portes logiques commutant à des fréquences d'horloge élevées, des

—

ABB a conçu un appareil d'imagerie à base de FPGA qui traite en entrée les données brutes et génère en sortie les résultats et les images cibles avec la résolution et la plage dynamique souhaitées.

mémoires de grande capacité et un processeur numérique de signaux (DSP) dédié. ABB a conçu une caméra à base de FPGA qui traite les données brutes entrantes et ne transfère que les résultats et images cibles ayant la résolution et la plage dynamique souhaitées [2]. Grâce à cette technique de réduction de données, l'appareil est capable de traiter en temps réel l'intégralité de la bande de papier.

Cette plate-forme matérielle simplifie l'ajout ultérieur de nouvelles fonctions de mesure pour prolonger la durée de vie du système.

Segmentation morphométrique

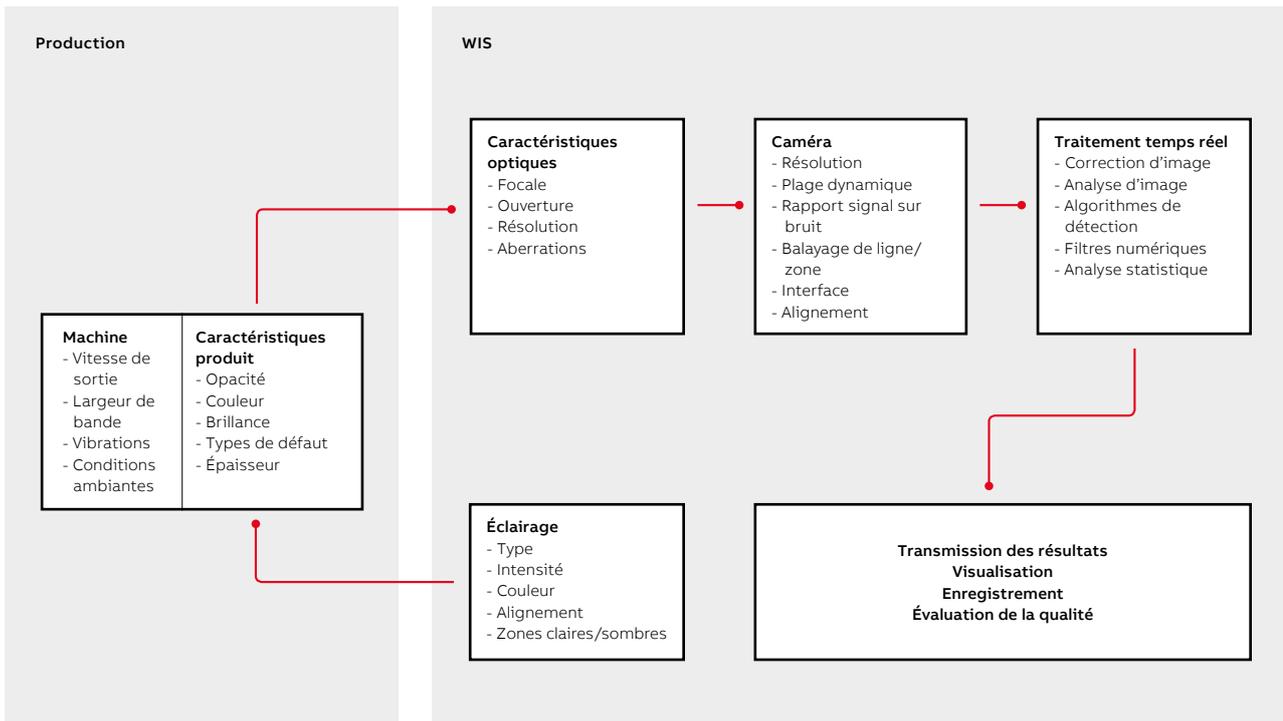
La segmentation ROI commence par mettre en évidence les régions d'intérêt sur l'image, qu'il s'agit ensuite d'analyser en temps réel pour obtenir de précieuses informations sur la qualité du produit. Partant de là, on peut caractériser leur géométrie, puis les classer en conséquence.

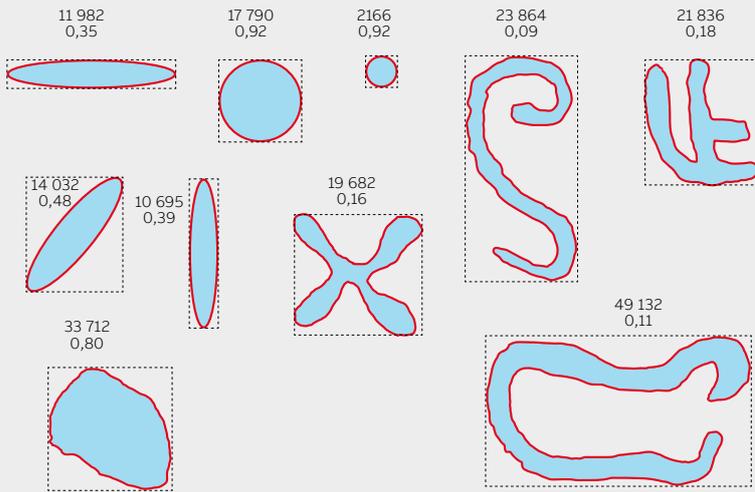
La figure →3 illustre trois paramètres clés :

- La *surface* correspond au nombre total de pixels d'une région ;
- Le *périmètre* sert à calculer d'autres propriétés géométriques, comme la *rondeur* ;
- La *rondeur* permet de distinguer un cercle (valeur 0,92 en haut à gauche de l'image) d'une fleur (valeur 0,16 au centre), alors même que ces deux figures ont quasiment la même surface (17 790 et 19 682).

Classement

L'algorithme de traitement exécuté par le FPGA a été soumis à trois essais distincts : un test combinant classement par intensité et par taille, un test de simple classement par taille et un test de performance du traitement. Ces essais se sont déroulés sur un tambour construit sur mesure pour le client, à une vitesse et sous un éclairage variables →4.





03

— 02 Caractéristiques du WIS

— 03 Formes des régions délimitées par segmentation : la valeur du haut indique la surface, celle du bas la rondeur, déduite des paramètres morphométriques de surface et de périmètre.

— 04 Tambour utilisé pour tester l'algorithme

Taille et intensité combinées

Ce test consistait à détecter les points suivant une première valeur de seuil de faible sensibilité, puis à déterminer la taille du point, cette fois avec un autre seuil plus sensible. Pour cela, la caméra balayait à 115 m/min un motif de 90 points gris et 90 points gris et noirs de cinq tailles différentes (de 0,2 à 3,1 mm²).

Un premier balayage à faible seuil de détection a permis de reconnaître 10 980 régions comprenant des points plus petits et plus foncés. Un second passage, avec une sensibilité plus élevée, a mesuré la taille des points et les a classés selon ce critère ; dans ce cas, seuls les points gris contenant une zone sombre (à gauche du motif →5) ont été comptés. Une plus haute sensibilité de détection a permis de repérer la totalité des 21 960 points gris et noirs.

Les résultats du comptage et du classement (taille et intensité) ont parfaitement concordé avec la distribution des points sombres sur le motif de test.

Autrement dit, l'algorithme est capable de détecter les points avec l'intensité voulue, de mesurer leur taille suivant la sensibilité et de les classer en conséquence.

Taille seule

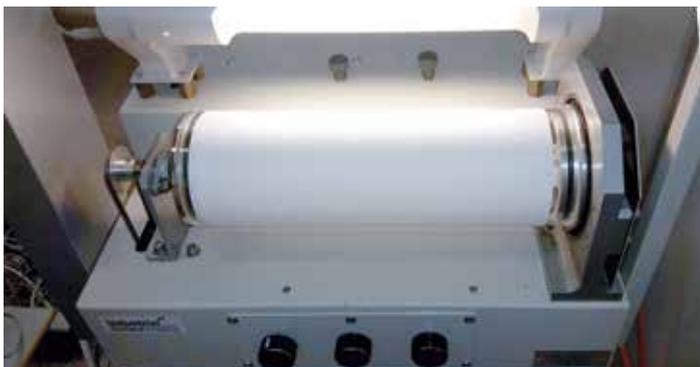
Ce test visait à évaluer la capacité de l'algorithme à classer par taille des points noirs très densément répartis sur un échantillon de papier, et ce à grande vitesse.

—
L'algorithme de traitement exécuté par le FPGA a été soumis à trois essais distincts.

Le motif de test comportait 240 points de cinq tailles différentes (de 0,60 à 0,06 mm²) →6, détectés et mesurés à la cadence d'environ 1,4 million de régions par seconde ; le résultat du classement s'est avéré très proche de la répartition sur le motif d'origine →7.

Morphométrie

Ce dernier test a porté sur la performance de la reconnaissance à grande vitesse lorsque le motif comprend une forte densité de régions de formes différentes. Les 240 formes sombres, de taille comprise entre 0,10 et 2,50 mm², se déclinaient en quatre géométries et cinq tailles différentes →8. Le balayage s'est déroulé à 420 m/min, soit un rythme de détection et de mesure d'environ 223 000 régions/s. Les résultats obtenus correspondaient tout à fait à l'image d'origine, tant en termes de taille que de forme.



04

Analyse des impuretés

Les impuretés visibles dans la pâte, le papier ou le carton ont un impact non négligeable sur la qualité du produit fini, que ce soit par leur nombre, leur taille ou leur intensité [3-7]. Leurs méthodes de comptage et de classement figurent donc parmi les plus performantes du contrôle qualité.

—
La méthode innovante de mesure en temps réel d'ABB couvre la totalité de la bande de papier, ce que ne prévoit aucune norme en vigueur.

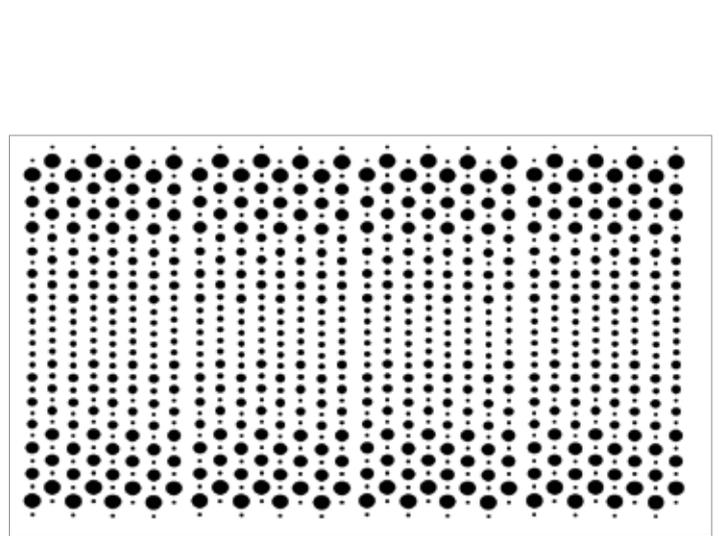
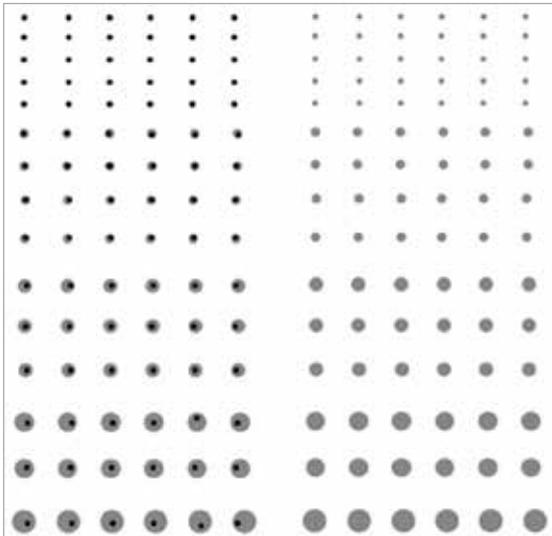
Si plusieurs normes internationales spécifient la procédure d'analyse, elles se limitent généralement à des mesures expérimentales effectuées hors ligne, sur une zone restreinte du produit.

La méthode innovante de mesure en temps réel d'ABB couvre la totalité de la bande de papier, ce que ne prévoit aucune norme en vigueur. Si l'on veut établir un nouveau référentiel en la matière, il serait bon d'identifier et de spécifier les besoins pour ensuite déterminer les valeurs de référence les plus utiles aux fabricants. Les résultats des essais menés par ABB indiquent que sa méthode de détection des défauts papetiers, notamment la mesure et le classement par taille des impuretés, offre une solution temps réel fiable qui peut servir de socle normatif.

Analyse temps réel DIRT Count

Intégré à l'offre ABB de solutions d'imagerie pour le papier, l'outil « HPINet DIRT Count » assure la détection, la mesure et l'analyse en temps réel des impuretés à la surface de toute la bande. Ce système automatisé en ligne utilise une caméra numérique haute résolution à base de CMOS et des traitements temps réel. Il inspecte toute la largeur de bande pour détecter et signaler, avec une répétabilité et une régularité hors pair, des défauts et impuretés de 0,01 mm² ! Couplé à la technologie ABB d'imagerie de pointe et à l'excellente résolution de la caméra, il permet de mesurer les dimensions d'un défaut avec une précision atteignant 0,04 mm.

Au stade du séchage de la pâte, les caméras intelligentes WIS d'ABB analysent avec précision les impuretés tout en inspectant en continu 100 % de la bande, avec l'avantage supplémentaire de pouvoir identifier d'autres défauts majeurs ou structuraux susceptibles de perturber la production. L'exploitant est ainsi en mesure de gérer la qualité de la pâte sur toute la bande : des gains de productivité et de rentabilité indéniables !

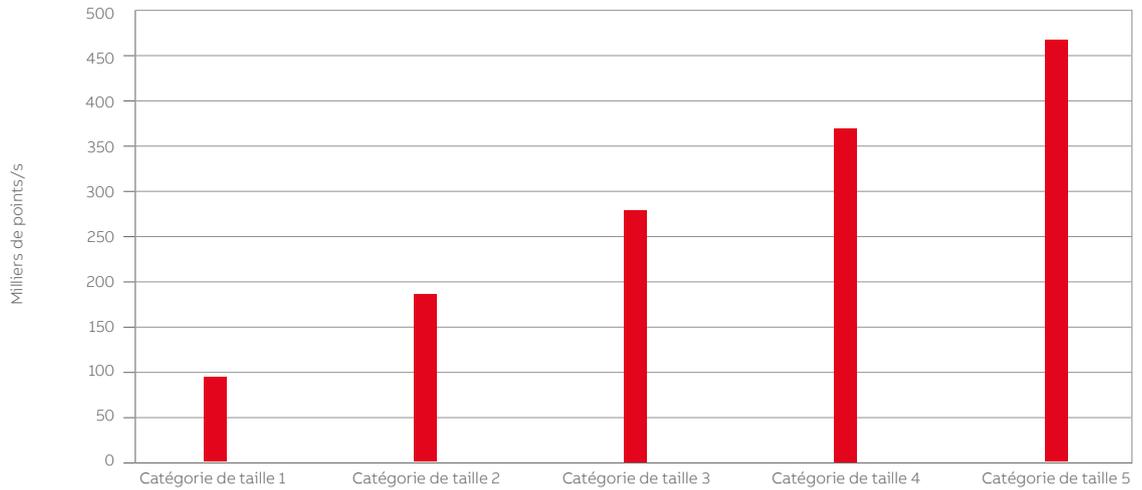


—
05 Motif utilisé pour tester le classement par intensité et taille combinées

—
06 Motif utilisé pour tester le classement par taille seule

—
07 Classement par taille : les résultats du test concordent exactement avec la répartition sur le motif.

—
08 Motif utilisé pour tester la performance de détection avec des régions de formes variables et densément réparties



07

Bibliographie

[1] Huotilainen, T., et al., « Real-time ROI Morphometrics in High Quality Web Imaging », *PaperCon*, Cincinnati (États-Unis), 2016.

[2] Mittal, S., et al., « FPGA: An Efficient and Promising Platform for Real-Time Image Processing Applications », *Proceedings of the National Conference on Research and Development in Hardware & Systems (CSI-RDHS)*, Kolkata (Inde), 2008.

[3] Strokina, N., et al., « Framework for Developing Image-based Dirt Particle Classifiers for Dry Pulp Sheets », *Machine Vision and Applications*, Springer-Verlag, vol. 24, n° 4, p. 869-881, 2013.

[4] Strokina, N., *Machine vision methods for process measurements in pulping*, thèse de doctorat de l'université de Technologie de Lappeenranta (Finlande), 2013.

[5] Strokina, N., et al., « Semisynthetic ground truth for dirt particle counting and classification methods », *Proceedings of the 12th IAPR Conference on Machine Vision Applications*, Tokyo (Japon), 2011.

[6] Strokina, N., et al., « Adaptive Classification of Dirt Particles in Paper-making Process », *17th Scandinavian Conference on Image Analysis*, Ystad (Suède), 2011.

[7] Fouladgaran, M., et al., « Automated counting and characterization of dirt particles in pulp », *Proceedings of the International Conference on Computer Vision and Graphics*, Varsovie (Pologne), p. 166-174, 2010.

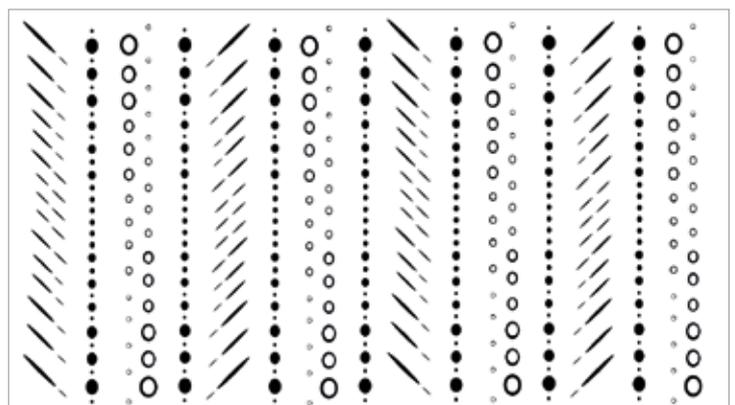
Couverture complète

Une caméra intelligente, avec composants FPGA et traitement d'images temps réel en parallèle, constitue l'une des solutions de détection des défauts papetiers les plus performantes du marché. Le parallélisme des calculs et des données, ainsi que la souplesse des évolutions fonctionnelles, permettent d'enrichir un WIS existant de capteurs logiciels, par exemple, pour prolonger le cycle de vie de la solution et lui donner un avantage concurrentiel durable.

Les derniers progrès des circuits FPGA et des algorithmes de traitement d'image ouvrent de nouvelles perspectives à l'analyse temps réel des produits papetiers (pâte, papier, carton) en couvrant la totalité de la bande, même avec une forte densité de ROI. Les données obtenues lors des essais de cette nouvelle méthode avec une seule caméra ont prouvé qu'il était possible de détecter plus de 1,4 million de ROI par seconde, de les compter, de mesurer leur taille, de les classer et de transmettre les résultats : une performance qui équivaut à traiter plus de 5 milliards de ROI à l'heure par caméra !

La nouvelle solution HPINet DIRT Count d'ABB s'appuie sur son matériel d'imagerie et sa technologie de traitement des ROI pour détecter, analyser et classer les impuretés dans la pâte.

Grâce à ces innovations ABB, les papetiers pourront améliorer la qualité des produits finis, limiter les rebuts et augmenter le taux d'utilisation de l'outil productif ; bref, gagner en productivité sur toute la ligne. ●



08

NUMÉRIQUE ET ANALYTIQUE

Les débitmètres électromagnétiques voient double

Les débitmètres électromagnétiques d'ABB sont à la pointe des technologies de mesure de débit. Cette instrumentation se dote aujourd'hui d'un nouvel atout, le « jumeau numérique » qui, à partir d'un modèle multi-physique, mime le comportement de l'appareil dans un environnement virtuel pour en améliorer la conception et en prédire les performances en exploitation.



Subhashish Dasgupta
ABB Corporate Research
Bangalore (Inde)

subhashish.dasgupta@
in.abb.com



Vinay Kariwala
ABB BU Measurement
& Analytics
Bangalore (Inde)

vinay.kariwala@in.abb.com

Ces dix dernières années ont vu l'essor du numérique dans l'industrie des procédés, notamment dans les opérations de transport de fluides comme la distribution et le traitement des eaux potables et usées. À mesure que ces technologies prometteuses prenaient corps dans l'usine, les chercheurs et spécialistes ABB du domaine se sont attachés à garantir aux clients les outils les plus performants et économiques pour améliorer leur avantage concurrentiel. Le jumeau numérique s'y emploie à merveille puisqu'il autorise la détection précoce d'anomalies physiques et prédit avec précision les performances de la conception. Tourné vers le futur, ABB en a fait un levier de progrès pour améliorer son offre de débitmètres, lever les obstacles rencontrés dans le process et en valoriser les opérations, en parfaite adéquation avec les attentes croissantes des clients.



Débitmètres électromagnétiques

Les procédés de fabrication continue exigent une instrumentation fiable et précise pour se conformer aux dures exigences normatives de performance. Depuis plus de 40 ans, ABB est le fidèle partenaire de l'industrie de l'eau avec son offre globale de développements produits, de solutions systèmes et de services. Robustes, fiables et ultraprécis, les débitmètres ABB sont traditionnellement les « bêtes de somme » des process industriels →1a.

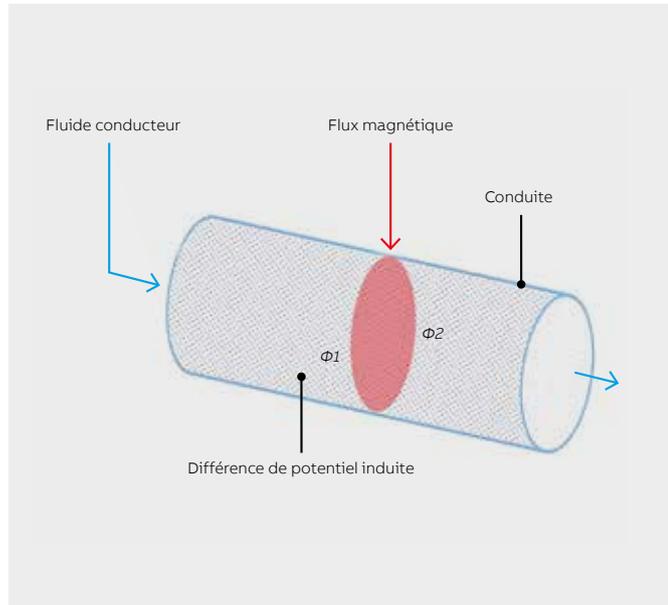
Composante majoritaire du catalogue Débitmétrie du Groupe, le débitmètre électromagnétique (DEM) a la faveur des industriels du transport ou du traitement de liquides électriquement conducteurs, qui en apprécient trois grands avantages : la simplicité d'installation, le faible impact sur les chutes de pression et l'exactitude de mesure. Qui plus est, la performance d'un DEM est insensible aux variations de température, de pression ou de densité, comme aux légères fluctuations de profil d'écoulement. Quel que soit le sens du débit, les DEM et leurs erreurs de mesurage limitées à $\pm 0,2\%$ sur une large plage de détection sont synonymes de grande précision à de faibles débits.

Photo : usine de traitement des eaux potables et usées





01a

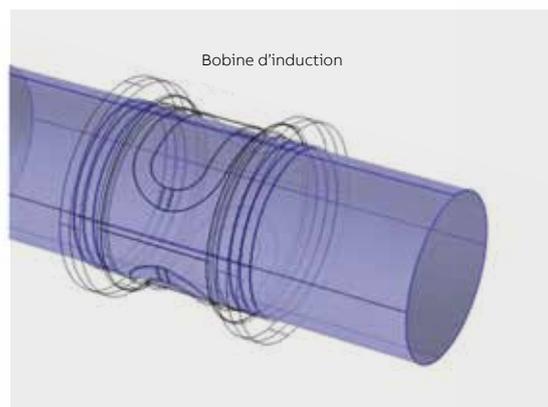


01b

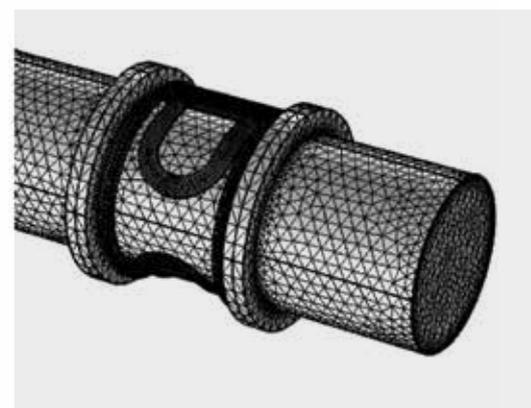
ABB ne cesse d'explorer de nouvelles pistes d'amélioration pour répondre aux exigences normatives de performance et aider ses clients à optimiser les coûts. En conjuguant une fine connaissance des phénomènes physiques en jeu et de nouvelles techniques de modélisation vérifiables, le Groupe ajoute de la valeur aux appareils existants.

—
 Depuis plus de 40 ans, ABB accompagne l'industrie de l'eau avec une offre globale de développements produits, de solutions systèmes et de services.

Les DEM fonctionnent selon le principe d'induction de Faraday : un champ magnétique induit par deux bobines placées de part et d'autre d'une conduite dans laquelle s'écoule un fluide conducteur (eau, par exemple) crée une différence de potentiel ou une force électromotrice (FEM), proportionnelle à la vitesse de passage du fluide. Perpendiculairement à cela, deux électrodes montées sur la paroi interne de la conduite mesurent le signal de tension électrique pour déduire le débit du fluide →1b. Le rapport FEM induite-vitesse d'écoulement est rapporté au facteur d'étalonnage. S'il importe de prédire la « sensibilité » de la mesure, il est tout aussi capital d'en prédire les variations aux fluctuations de l'écoulement. Il faut donc évaluer les phénomènes thermiques et structuraux susceptibles de dégrader le fonctionnement du DEM, afin de garantir la sécurité du process et la qualité du produit traité, mais aussi mesurer les performances de l'appareil en conditions difficiles.



02a



02b

—
01a Débitmètre électromagnétique ABB

01b L'interaction d'un flux magnétique avec un fluide électriquement conducteur induit une différence de potentiel Φ_2 proportionnelle à la vitesse d'écoulement $\Phi_1 - \Phi_2$.

—
02a Géométrie CAO d'un débitmètre électromagnétique

02b Discrétisation du domaine pour calculs par éléments finis

02c Modélisation de diverses formes et tailles de débitmètres

Avatar numérique

Et si pour cela on élaborait un modèle de connaissance du procédé capable de prédire les performances du débitmètre tout en minimisant les essais ? Un outil sans précédent pour gagner en productivité et performance ! À partir d'une analyse multiphysique par éléments finis, ABB a donc développé une maquette logicielle, réplique virtuelle ou « jumeau numérique » du DEM réel et de son comportement, qui permet d'en comprendre les complexités, de détecter les anomalies et d'améliorer la conception de l'appareil en se nourrissant des connaissances acquises sur le procédé. Une mine d'informations pour réaliser, puis exploiter le produit sur le terrain. Les jumeaux numériques sont à même de simuler virtuellement la quasi-totalité des conditions opérationnelles, avec l'assurance que l'équipement se comportera à l'identique dans la réalité industrielle.

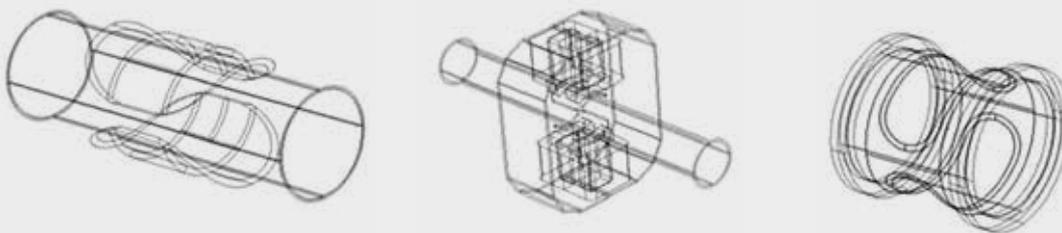
Modélisation multiphysique

La modélisation par analyse des éléments finis (AEF) consiste à « discrétiser » le domaine géométrique d'un objet, c'est-à-dire à le découper en petits espaces finis ou « mailles de calcul ». Nourrie de données comme les propriétés des matériaux de l'équipement ainsi que ses conditions d'exploitation et aux limites, cette maquette numérique résout les équations de la physique sur ces domaines finis pour en déduire des paramètres. La méthode, qui fournit des informations en trois dimensions et, au besoin, variables dans le temps, sert à prédire les performances

—
À partir d'une analyse multiphysique par éléments finis, ABB a développé une maquette logicielle ou « jumeau numérique » du débitmètre.

et à améliorer la conception d'un grand nombre d'équipements industriels du pétrole, du gaz et de l'aéronautique, entre autres. Contrairement aux méthodes d'essai classiques, la modélisation AEF permet de comprendre aisément des procédés complexes. Les méthodes expérimentales obligent en effet à instrumenter l'appareil, ce qui coûte cher et s'avère difficilement réalisable dans l'industrie de transformation. A contrario, les récents progrès et les baisses de coût du calcul intensif facilitent la résolution itérative d'équations physiques aussi diverses que complexes, grâce à la méthode AEF.

La recherche ABB a donc choisi la modélisation multiphysique pour améliorer son offre de produits Débitmétrie.



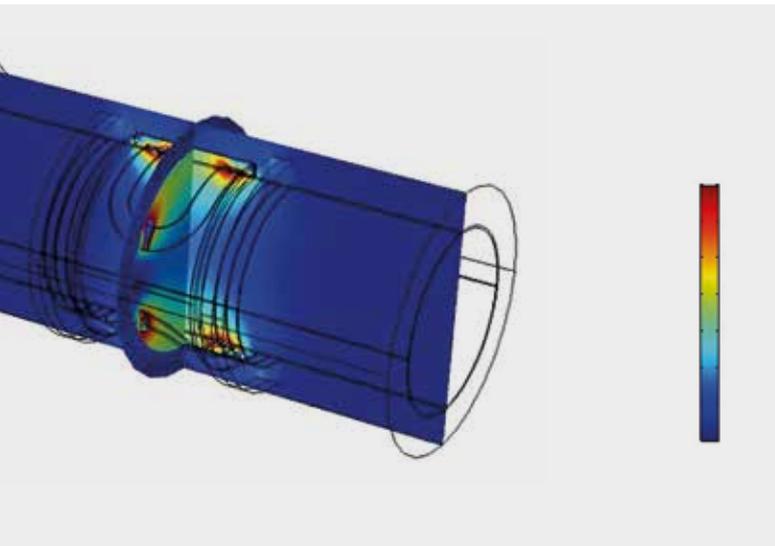
Intégrer les phénomènes physiques

On commence par créer la géométrie, ou « domaine de calcul », du débitmètre à l'aide d'un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) →2a,

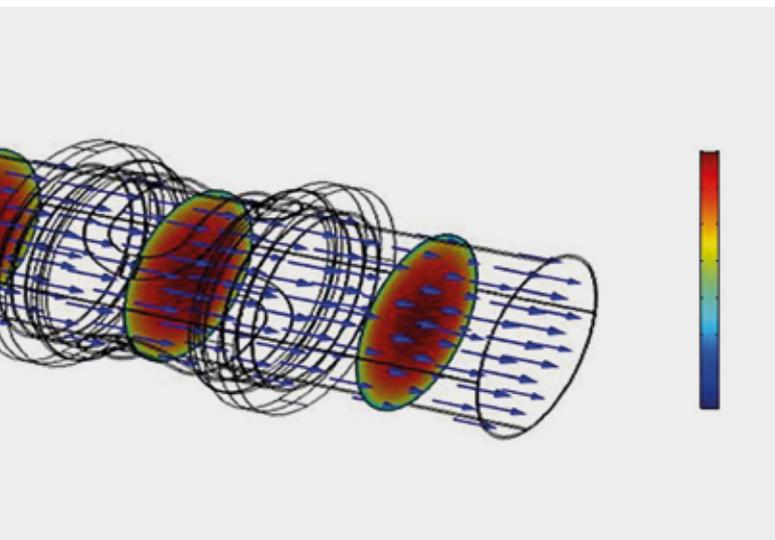
—
Le jumeau numérique peut simuler virtuellement la quasi-totalité des conditions opératives, garantissant un comportement de l'équipement à l'identique dans la réalité.

que l'on discrétise ensuite en minuscules éléments →2b dans lesquels sont résolues les équations. Plusieurs exemples de débitmètres de forme et de taille variables sont ainsi modélisés →2c.

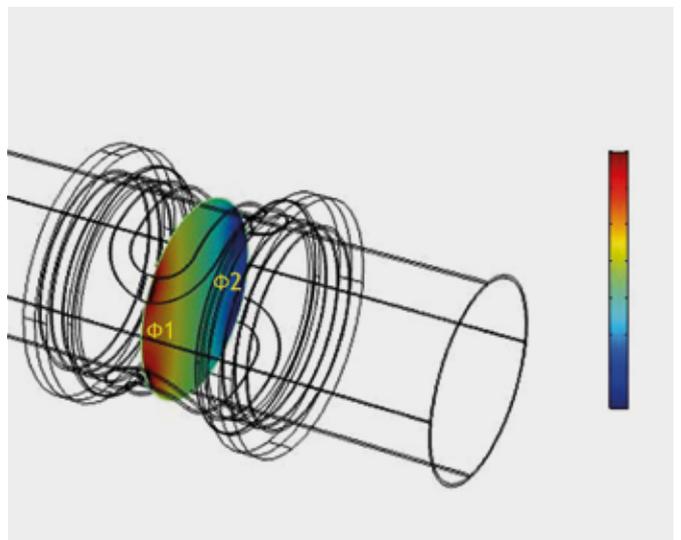
L'intégration des deux principaux phénomènes en jeu (électromagnétisme et dynamique des fluides) et d'autres physiques diverses dans un même modèle est la partie délicate de l'opération. Les phénomènes électromagnétiques sont analysés en résolvant des équations de Maxwell qui déterminent la densité de flux magnétique au sein du domaine de calcul →3a, et les phénomènes fluidiques, par des équations de conservation de la masse et de la quantité de mouvement pour divers régimes d'écoulement du fluide dans la conduite →3b. Puis la FEM induite (interaction flux magnétique-vitesse d'écoulement) est calculée en intégrant les champs magnétique et flux avec l'équation de Lorentz, dérivée de la loi de Faraday →3c pour donner la sensibilité (rapport FEM induite/vitesse d'écoulement). Le modèle tient aussi compte des paramètres de propagation de la chaleur et de dynamique des structures, en calculant les contraintes thermiques →4a et hydrauliques →4b exercées sur la paroi de la conduite : on obtient ainsi une image globale du processus. Ces simulations pointues sont essentielles pour prédire l'effet de conditions extrêmes sur l'état du débitmètre, comme le passage de liquides à haute température/haute pression dans la conduite. Ces calculs exhaustifs débouchent sur un modèle multiphysique complet du DEM, capable d'en prédire aussi bien les performances que l'imminence d'une défaillance en conditions défavorables.



03a



03b



03c

—
03 Analyses qualitatives des phénomènes physiques (valeurs maximales en rouge)

03a Distribution du flux magnétique

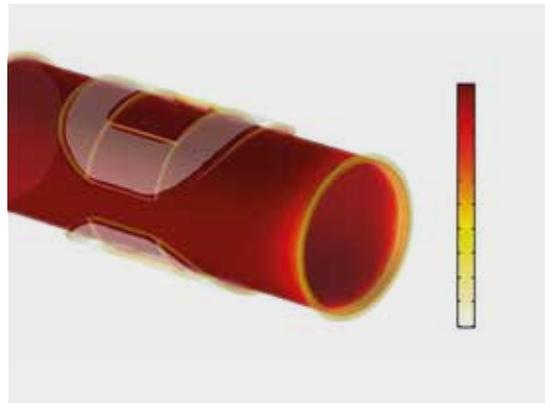
03b Contours de vitesse d'écoulement

03c Tension induite

—
04 Représentations qualitatives des champs de contraintes thermiques et hydrauliques (valeurs maximales en rouge)

04a Champ de température

04b Champ de contraintes



04a



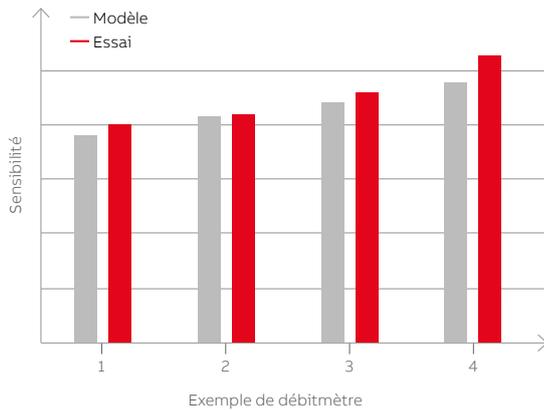
04b

Il est clair que la modélisation minimise les essais coûteux et chronophages. Plusieurs débitmètres ABB adaptés à différentes tailles de conduite ont été simulés avec succès en 2017. Les sensibilités calculées par modélisation et celles obtenues par expérimentation ont concordé à 95 %, prouvant le réalisme et la précision de cet outil prédictif →5. Outre la sensibilité, le modèle a pu prédire la linéarité du DEM ou, en d'autres termes, la constance de la sensibilité aux variations de débit, qui donne l'exactitude de mesure. La pertinence

—
ABB a pu déterminer le meilleur emplacement de ses appareils dans un réseau de canalisations et corriger la mesure de débit.

du jumeau numérique ne se limite pas à la phase d'essai : le modèle a beaucoup fait progresser la conception de l'appareil et la qualité du mesurage. En incorporant au modèle des idées et conceptions novatrices, l'amélioration des performances du DEM a pu être évaluée.

L'appareil ainsi modifié a surclassé les produits existants et ouvert la voie à des évolutions conceptuelles. Le jumeau numérique participe à l'effort de développement du débitmètre en améliorant la sensibilité et la précision de mesure, et en réduisant le coût de fabrication. De gros efforts sont aujourd'hui accomplis pour tester des prototypes, incorporer les modifications de conception et évaluer la faisabilité de certaines nouveautés.

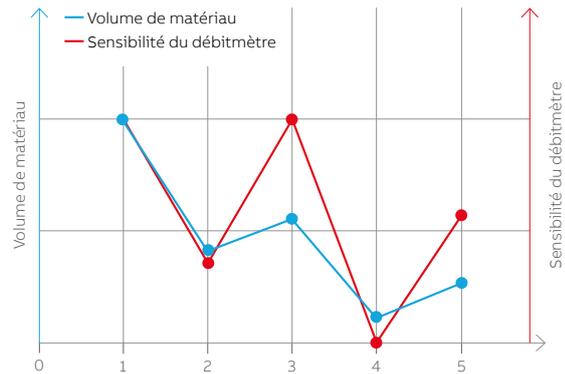


05

Faire plus avec moins

Le développement produit a pour premier objectif de minimiser l'usage de matériaux tout en maintenant, voire en maximisant les performances. Dans cette optique, le jumeau numérique a servi à optimiser la conception des éléments constitutifs du DEM en vue d'en diminuer les coûts matériels. C'est le cas de la bobine électromagnétique, qui a vu sa taille et sa forme optimisées pour accroître les performances de l'appareil. On a évalué la variation de taille d'une bobine à l'aide d'une série d'itérations →6 : l'une d'elles a montré qu'il était possible de préserver la sensibilité originale du débitmètre tout en utilisant nettement moins de cuivre, matériau constitutif de la bobine. Un verdict corroboré par des simulations de conceptions inédites de bobines qui ont permis de réduire la quantité de matière nécessaire pour maintenir les performances d'origine. Ces développements sont très précieux pour les gros débitmètres dont les bobines constituent une part non négligeable du coût matière total.

Les solutions avancées pour diminuer l'encombrement de ces appareils ont récemment été évaluées et vérifiées en phase d'essais sur prototype.



06

Copie conforme

Si le développement et les essais sont deux étapes clés du cycle de vie produit, l'installation a aussi ses difficultés ; c'est le cas notamment lorsque le système comporte des coudes et des vannes qui peuvent déformer les profils d'écoulement et dégrader la précision de mesure. Il est donc primordial de comprendre l'effet systémique des caractéristiques de la conduite sur les performances du débitmètre. Le jumeau numérique d'ABB

Le développement produit a pour premier objectif de minimiser l'usage de matériaux tout en maintenant ou en maximisant les performances : une tâche dont le jumeau numérique s'acquitte à la perfection.

prend ainsi en compte le réseau de canalisations du client →7. Il étudie l'effet d'une modification de l'écoulement sur la précision de mesure pour mieux cerner l'impact de certaines particularités du système, comme la présence de coudes en amont du débitmètre. ABB a pu ainsi déterminer le meilleur emplacement de l'instrumentation au sein d'un réseau de conduites donné et permettre la correction de mesures de débit sur un appareil installé.

—
05 Modélisation de plusieurs types de débitmètres et comparaison avec les données expérimentales

—
06 Optimisation de la bobine par modélisation itérative

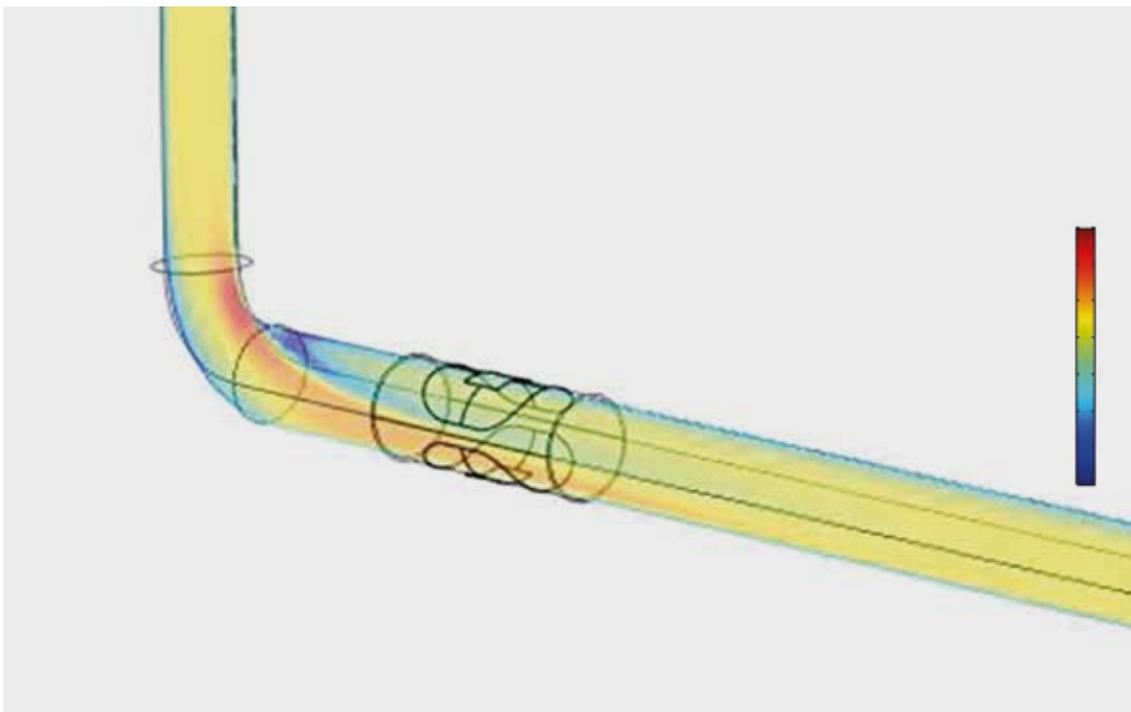
—
07 Modélisation d'un débitmètre électromagnétique installé chez un client pour prédire les performances opérationnelles en régime d'écoulement déformé

À ce jour, le jumeau numérique a prouvé sa capacité à prédire les performances des débitmètres et à améliorer leur conception. L'extension du modèle pour simuler l'influence des caractéristiques opérationnelles du débitmètre sur les profils d'écoulement du réseau client trace de

—
Le jumeau numérique est un guide utile à l'installation des appareils sur site, permettant aux industriels de l'eau, par exemple, d'améliorer leurs systèmes de régulation des flux.

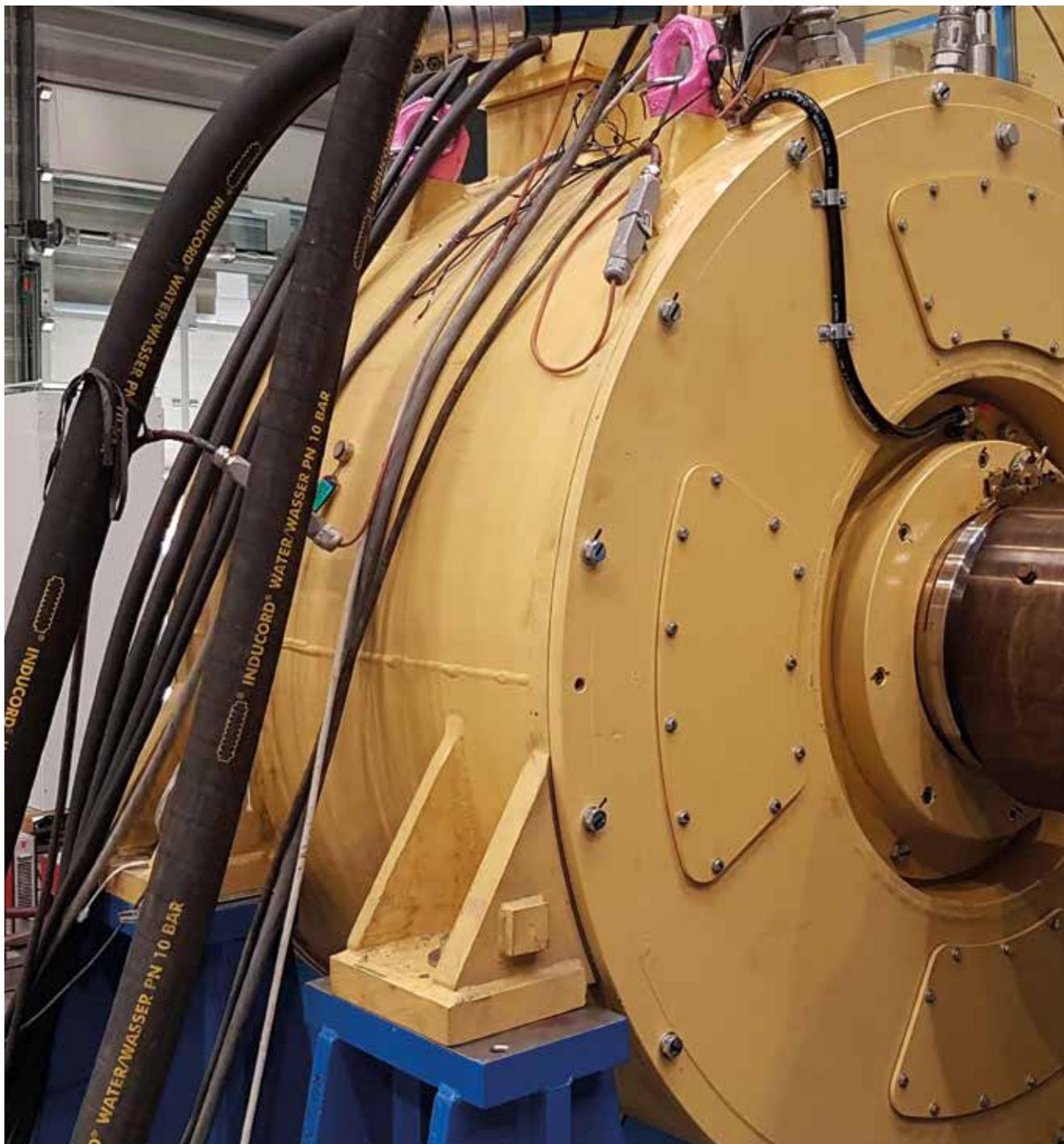
nouveaux axes d'amélioration de la précision du mesurage. L'outil peut également servir de guide à l'installation des appareils sur site et permettre à des filières comme la gestion de l'eau d'améliorer leurs systèmes de régulation des flux pour doper la performance industrielle.

Un ambitieux programme de recherche ABB travaille au développement de ce double numérique pour d'autres procédés continus afin de doter les clients d'outils de productivité et de performance à la pointe de l'innovation. ABB entend ainsi maximiser la valeur des produits, minimiser les défauts en fabrication, accélérer la mise sur le marché et optimiser le fonctionnement des appareils. ●





Dynamiqu



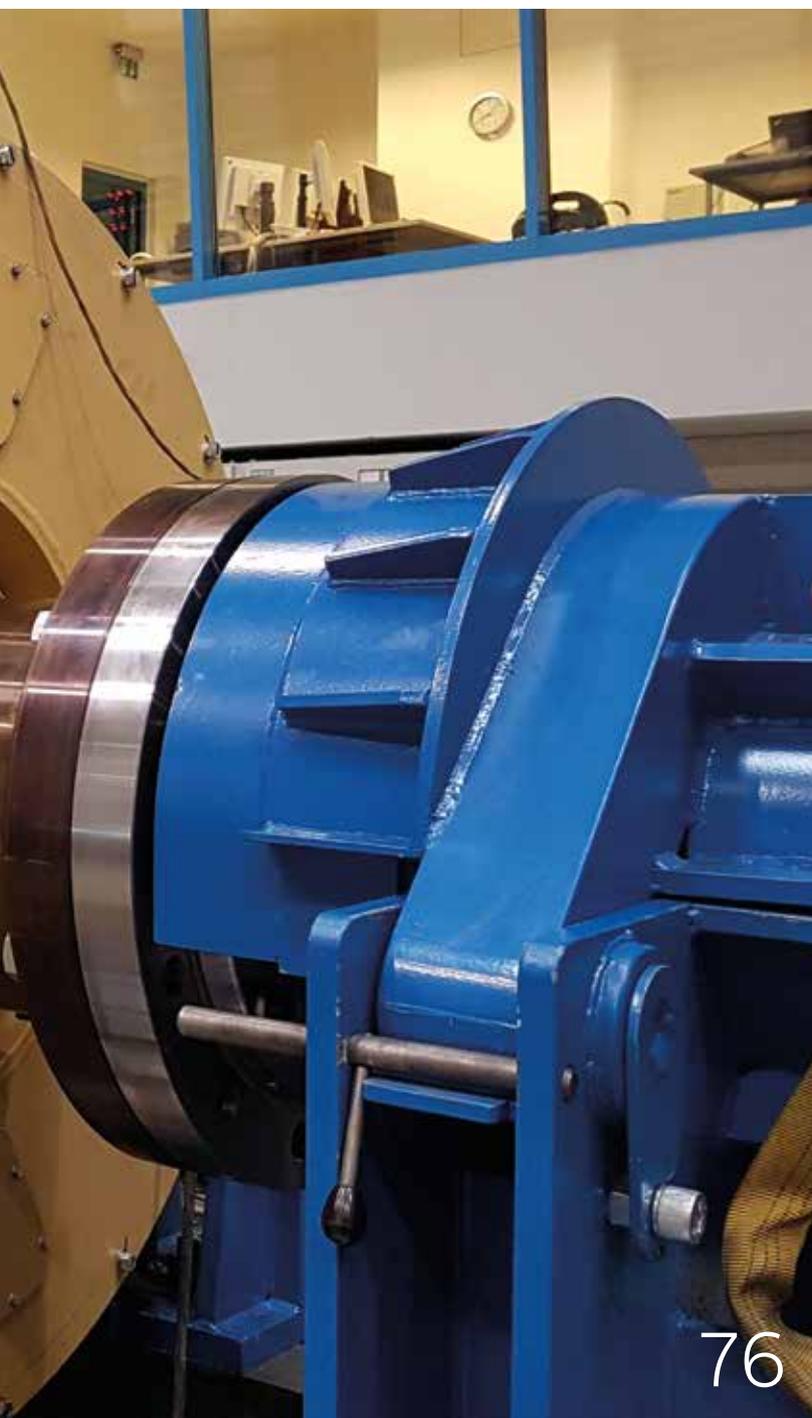


68

e

Multiplication des variables d'exploitation, numérisation des outils de production, intégration d'une instrumentation communicante... Concevoir des dispositifs en mouvement, les faire interagir et accomplir quantité de tâches (saisir, déplacer, bâtir...) sont loin d'être aisés. Mais c'est aussi ce qui fait le sel de l'industrie du futur.

- 68 La production prend la voie rapide
- 74 Flexibiliser la production de masse
- 76 Entraînements sans réducteur



76

DYNAMIQUE

La production prend la voie rapide

Pour réconcilier production à la chaîne et travail à façon, les industriels ont besoin d'outils de fabrication aussi modulables qu'efficaces et rentables. Le système de transport ultraflexible ACOPOStrak de l'automaticien autrichien B&R, qui a rejoint le groupe ABB en 2017, promet de répondre à cette nouvelle donne.

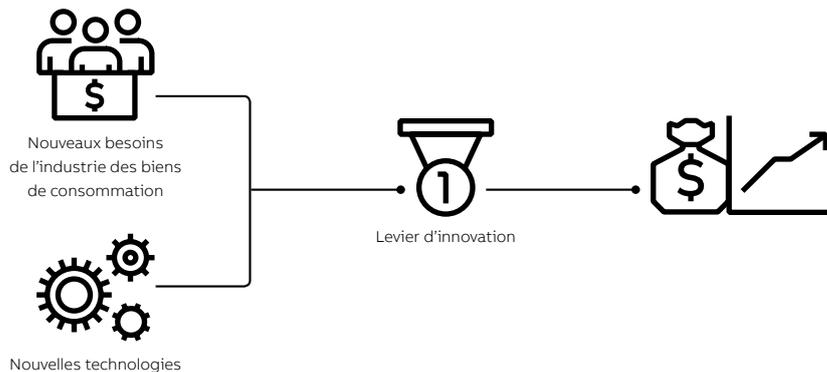


Carmen Klingler-Deiseroth
Journaliste indépendante

Pour en savoir plus :
robert.kickinger@
br-automation.com

Pouvoir personnaliser un produit ? Une évidence pour la génération des consommateurs nés avec le numérique. Face à ce nouveau besoin, la priorité des fabricants va désormais à la flexibilité de l'outil industriel, sans rien sacrifier aux impératifs de performance et de rentabilité. Cette tendance oblige à repenser l'aménagement industriel et les moyens de production.

La production de lots de taille réduite, voire unitaire, n'est pas une idée neuve ; c'est même le quotidien de l'artisan. En revanche, ce qui est révolutionnaire, c'est fabriquer massivement des produits à la demande. Jusqu'à présent, la pratique n'était ni facile à réaliser ni économiquement viable car tout assouplissement de l'appareil productif se traduit en général par une baisse du taux de rendement synthétique (TRS). Bref, le « sur-mesure pour tous » n'est pas rentable.





01

—
01 Le système de transport intelligent ACOPOStrak revisite les modes de conception et d'exploitation des lignes de production.

—
02 La conjonction de nouvelles technologies et d'une croissance de la demande en produits personnalisés ouvre de nouvelles perspectives de création de valeur.

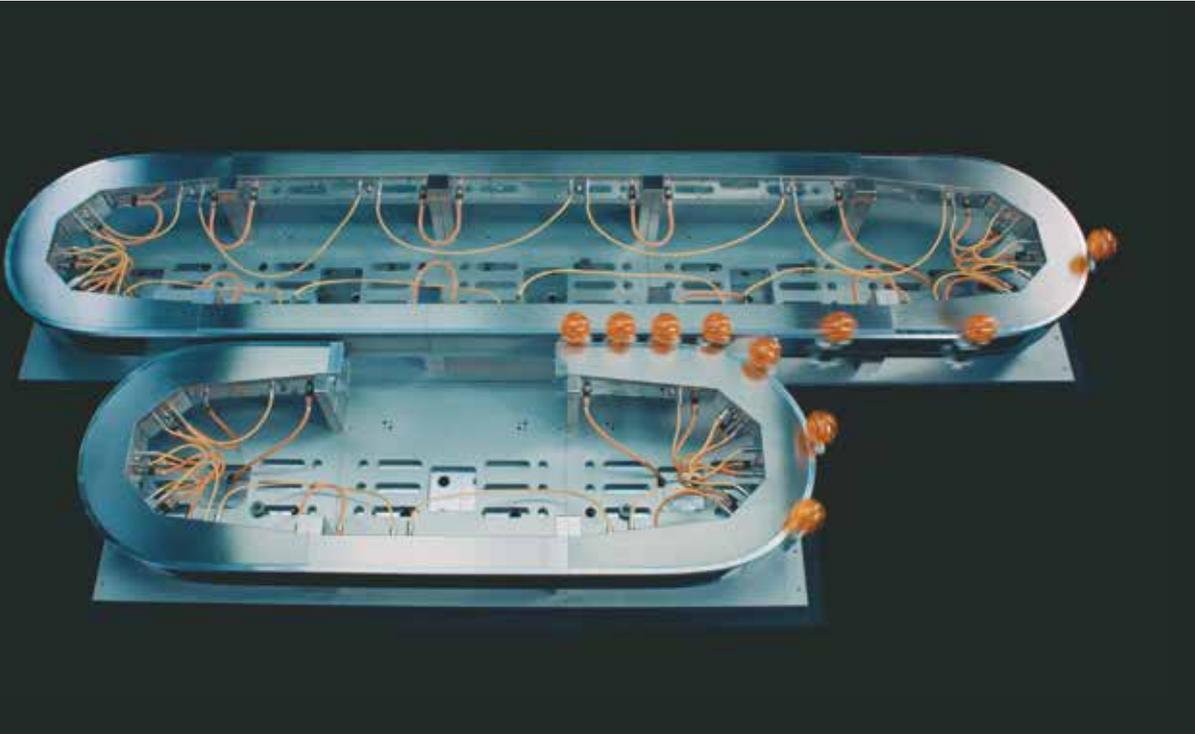
La personnalisation de masse a donc pour finalité de maintenir le triptyque du TRS – disponibilité de l'équipement, performance des machines, qualité des produits – au même niveau que la production en série. De plus, qu'il s'agisse d'innover ou d'améliorer l'existant, les fabricants entendent maximiser le retour sur investissement (ROI) et minimiser les délais de mise sur le marché, seuls moyens de rendre la production personnalisée économiquement viable →2.

—
La conception révolutionnaire d'ACOPOStrak inaugure une nouvelle ère d'efficacité opérationnelle et de productivité.

Jusqu'ici, la mise au point d'ateliers de fabrication flexible s'est avérée laborieuse. Bien souvent, les problèmes ne se manifestent qu'une fois la production lancée. Or, à ce stade, revoir du tout au tout la conception d'une machine peut repousser de plusieurs mois la commercialisation du produit et faire exploser les coûts.

ACOPOStrak en piste

Adapter la fabrication flexible à la demande croissante de produits sur mesure ou de lots de production individualisés oblige à imaginer de nouvelles méthodes de conception mécanique et technologies d'entraînement. Des innovations majeures dans ces deux domaines sont au cœur du système intelligent de transfert de produits ACOPOStrak →1 de B&R Automation, depuis peu société du groupe ABB : une révolution dans l'adaptation et la flexibilisation de la fabrication pour plus d'efficacité et de productivité.



03

Aiguiller pour maximiser

En quoi cet automatisme intelligent se singularise-t-il dans le monde de la fabrication adaptative ? La réponse tient dans son aiguillage intégré, entièrement électromagnétique et sans usure, qui, tel un échangeur routier, permet de séparer et de fusionner des flux de produits sur des navettes passant à toute vitesse d'une piste à l'autre, sans freiner la productivité →3. Les articles produits en masse, comme les boissons en bouteille, peuvent être groupés à la volée pour former des lots personnalisés et panachés (pack de six bouteilles de trois saveurs différentes, par exemple), sans modifier l'équipement →4.

Pour préserver la qualité, les lignes doivent être capables de réagir en temps réel aux défauts de fabrication, sans dégrader le process. Il faut immédiatement retirer les produits défectueux de la ligne, à pleine cadence : en effet, ceux qui passent entre les mailles du contrôle qualité et poursuivent leur cours peuvent aboutir à la mise au rebut d'un lot complet. Avec ACOPOStrak, tout produit défectueux, sitôt repéré, est écarté sur-le-champ.



04

—
03 L'aiguillage tout électromagnétique permet de séparer et de réunir des flux de produits à grande vitesse.

—
04 Les articles produits en masse, comme des boissons en bouteille, peuvent être groupés à la volée par pack de six.

—
05 Pour changer de produit, il suffit de placer les roues d'une nouvelle navette sur la piste de service, sans arrêter la production.

Itinéraires parallèles

ACOPOStrak et son aiguillage flexibilisent le traitement individualisé et parallèle des produits. Un même flot peut se séparer pour être réparti sur plusieurs postes de travail, puis fusionner en aval. Fini les goulets d'étranglement imposés par le poste le moins rapide ; le client peut accroître la productivité de la chaîne sans augmenter la surface au sol des équipements. Autrement dit, ACOPOStrak dope le rendement par mètre carré d'empreinte machine et maximise le ROI.

ACOPOStrak et son aiguillage flexibilisent la production pour un traitement parallèle des produits.

Son architecture modulaire et flexible est facilement extensible par ajout de segments de piste et de stations. En permettant une réaction rapide à l'évolution du marché, ACOPOStrak donne corps à la fabrication adaptative, portée par l'Internet industriel.

Les systèmes de production dotés d'ACOPOStrak font preuve d'une exceptionnelle tolérance aux fautes. Si un défaut se produit au niveau d'une vanne sur une ligne d'embouteillage, les bouteilles sont détournées de cette voie. Résultat : la vanne défectueuse n'engendre pas de rebuts et le facteur qualité du TRS augmente.

Zéro temps mort

Les navettes sont remplacées en quelques secondes et sans outil, garantissant une disponibilité inégalée. Pour changer de produit, il suffit de placer les roues d'une nouvelle navette sur les guides ; la force magnétique exercée par les aimants permanents la maintient immédiatement sur la piste. Si le circuit inclut une piste de service, le transfert est encore plus efficace : l'opérateur y pose les roues des navettes qui sont ensuite aiguillées vers les flux de production →5. De même, les navettes devenues inutiles peuvent être déviées vers la piste de service. Et tout cela, à pleine cadence.



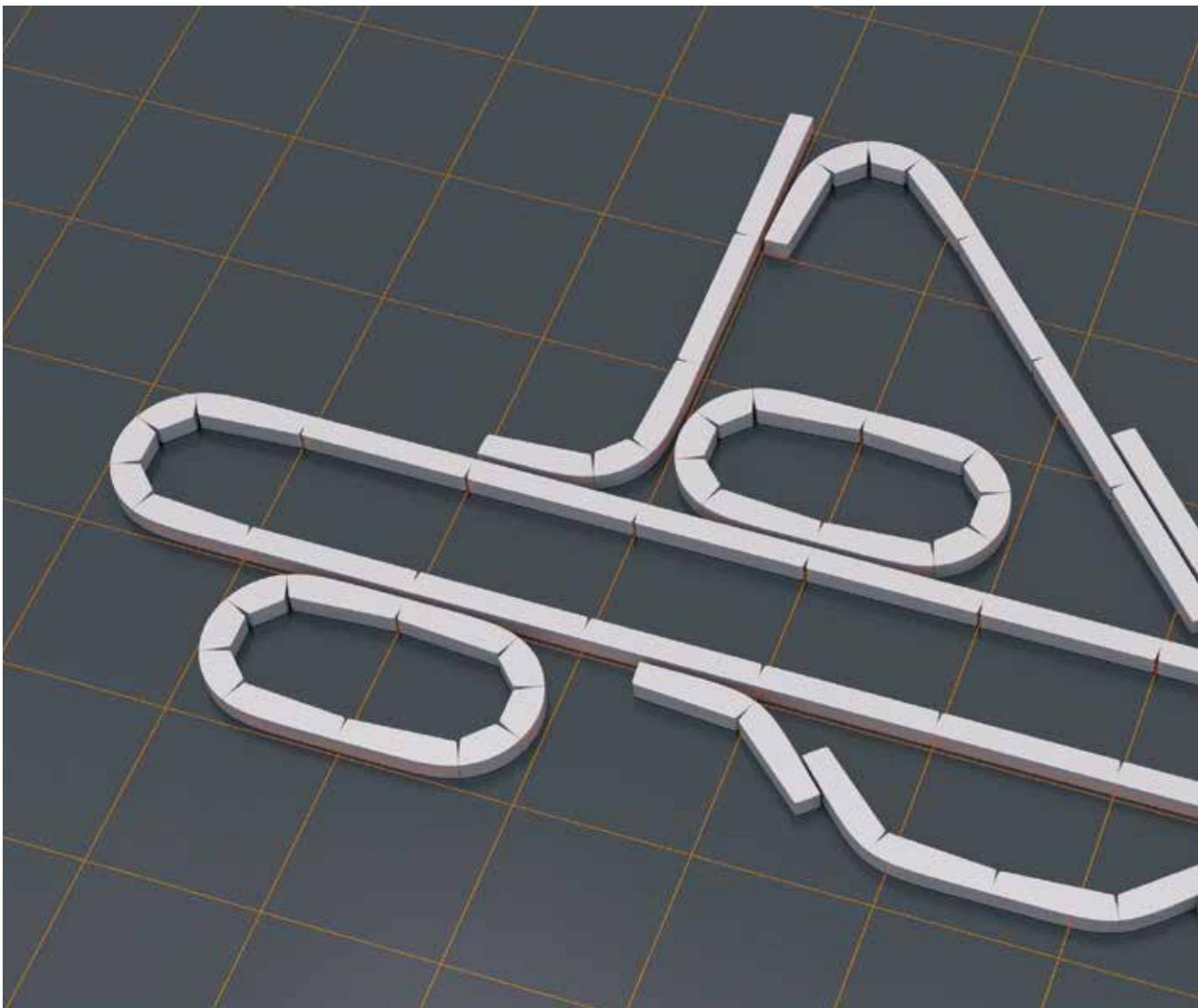
La flexibilité exemplaire de la conception ACOPOStrak permet de réaliser tous types de configurations, ouvertes ou fermées, par assemblage de segments →6. Chaque piste est constituée d'un moteur linéaire construit à partir de quatre formes de segments modulaires : un droit, un arc de cercle à 45° et deux courbés à 22,5° (un à droite, un à gauche).

L'extension du système est tout aussi simple. La plupart du temps, il est difficile de faire évoluer l'outil de production : accroître la productivité oblige à ajouter une seconde ligne ou à prolonger la ligne existante, au prix de lourds investissements et de précieux mètres carrés grignotés. La souplesse de conception ACOPOStrak y remédie. Mieux, si la ligne le permet, l'ajout ou la suppression de stations démultiplie les capacités d'adaptation de la production à la dynamique de la demande.

À vive allure et en douceur

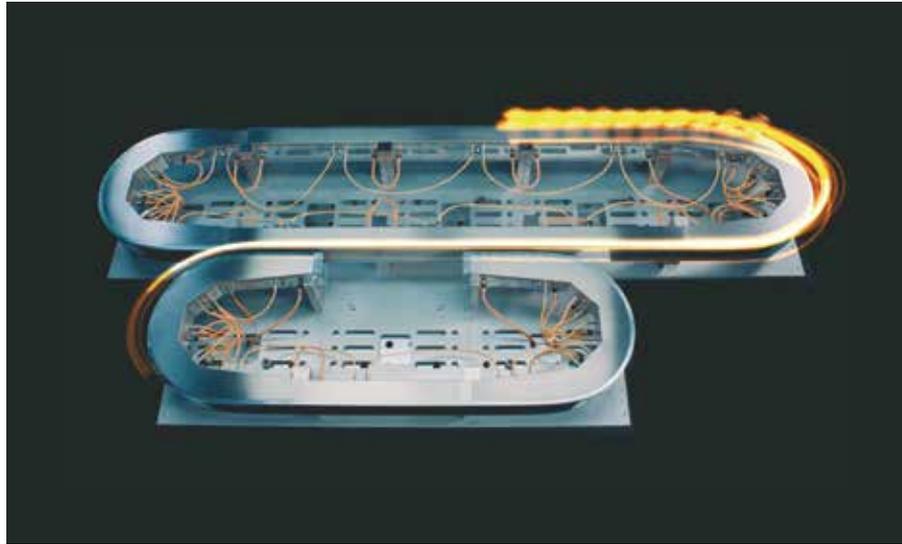
Ce convoyeur doué d'intelligence est aussi d'une vitesse sans égale : ACOPOStrak est capable de produire des accélérations de 5 g et d'atteindre une vitesse maximale de plus de 4 m/s, avec un pas minimal de seulement 50 mm →7.

—
La souplesse de conception d'ACOPOStrak règle le problème de l'évolutivité.



—
06 La flexibilité de conception ACOPOStrak autorise tous types de configurations par assemblage de segments.

—
07 ACOPOStrak produit des accélérations de 5 g, à une vitesse maximale de plus de 4 m/s.



07

Plus vite sur le marché

Pour une mise en route ultrarapide et sans effort, B&R fournit une gamme complète de fonctionnalités logicielles. Un même code applicatif peut s'exécuter sans limite, en simulation comme sur matériel réel.

—
Grâce à l'intuitivité de la programmation orientée procédé, les développeurs se contentent de définir le flux de produits sur la piste, sans avoir à programmer une multitude d'axes et de navettes séparément.

Les développeurs de l'application ont tout loisir de basculer d'un mode à l'autre. Les temps d'étude et de mise en service sont ainsi raccourcis, de même que le délai de mise sur le marché : un avantage concurrentiel décisif.

Autre atout, la programmation orientée procédé : les développeurs se contentent de décrire les règles définissant le flux de produits sur la piste, sans avoir à programmer individuellement une multitude d'axes et de navettes. Une gestion autonome de la circulation, avec évitement des collisions, soulage encore la tâche.

Ainsi flexibilisée, la production gagne en rentabilité, optimise TRS comme ROI et accélère la mise sur le marché. Avec ACOPOStrak, la voie rapide qui mène à la personnalisation de masse est toute tracée. ●



ENTRETIEN

Flexibiliser la production de masse

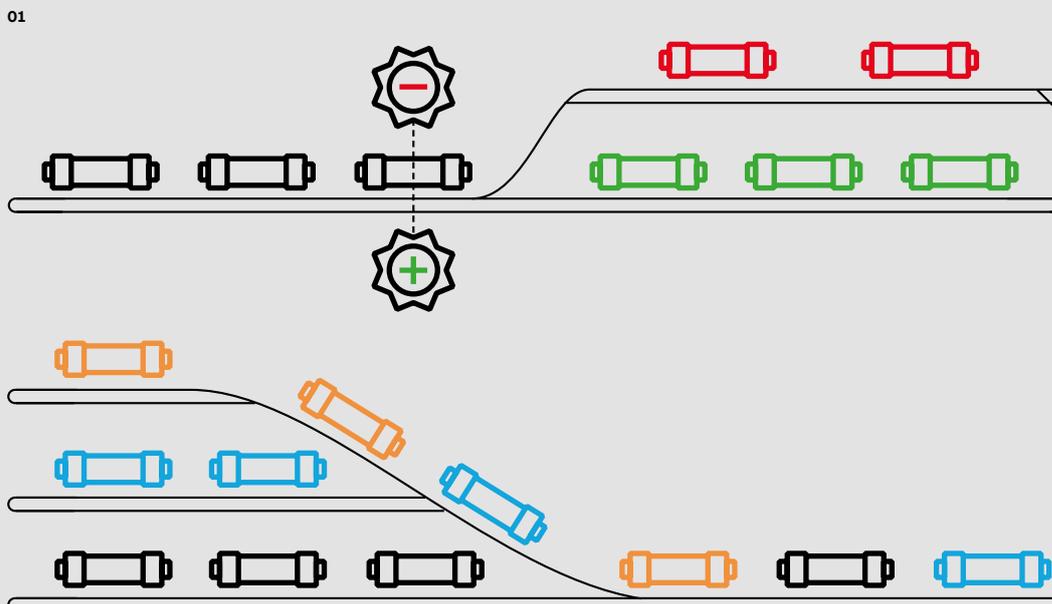


Robert Kicking

Pour en savoir plus sur les avantages du système de transport de produits ACOPOStrak, *ABB Review* a rencontré Robert Kicking, Responsable Mécatronique chez B&R Automation.

ABB Review (AR) : M. Kicking, la numérisation fait aujourd'hui beaucoup de remous dans l'industrie. Comment s'applique-t-elle à l'offre ACOPOStrak ?

Robert Kicking (RK) : Le thème phare de la transformation numérique de l'industrie est à mon avis pris dans un sens trop limité. Au-delà de ses fondements, à savoir les technologies de la communication et du génie logiciel, émerge un nouveau lot d'exigences qui conduisent à réinventer la façon dont les produits sont acheminés d'une machine et d'un système à l'autre dans l'atelier. Et c'est en cela que B&R se démarque : en révolutionnant le transfert de produits industriels, notre système de convoyage intelligent ACOPOStrak pose les briques technologiques de la fabrication adaptative.



01 Pour les industriels, satisfaire des consommateurs toujours plus avides de produits personnalisés passe par une production agile et différenciée.

AR Son aiguillage intégré semble être le point fort de la solution. Quels en sont les avantages ?

RK Ce poste ultrarapide est en effet au cœur de la flexibilité ACOPOStrak. Les navettes de transport peuvent y passer à des pas entre produits légèrement supérieurs à leur taille tout en restant parfaitement sur la piste. Il permet aussi d'extraire immédiatement du flux de production un produit défectueux, plutôt que de le laisser poursuivre sa course jusqu'en bout de ligne. Un plus indéniable pour la performance industrielle.

AR Que dire encore ?

RK Il n'y a pas que les produits qui peuvent présenter des défauts. Imaginons qu'une vanne sur une ligne d'embouteillage tombe en panne : l'automatisme doit réagir à bon escient en n'acheminant plus de bouteilles vers ce segment de ligne, sans pour autant interrompre le process. Dans pareils cas, l'alternative est simple : soit je laisse la ligne tourner, quitte à mettre au rebut tous les produits touchés par la vanne en défaut, soit je stoppe net la production. D'un point de vue économique, ni l'une ni l'autre de ces options radicales ne sont engageantes.

AR Et que se passe-t-il si vous voulez changer de navette pour transporter un autre produit ?

RK ACOPOStrak dispose pour cela d'une piste de service - un peu à l'image de la voie des stands en Formule 1 -, qui permet de retirer les navettes de la circulation pour intervenir. Inutile de ralentir la ligne de production.

AR Y a-t-il des limites à la construction de ce jeu de pistes ?

RK La seule limite tient aux quatre types de segments modulaires qui constituent le circuit : droits, en arc de cercle (45°), courbés à droite ou à gauche (22,5°). D'où un nombre infini de formes de pistes. ACOPOStrak est par ailleurs remarquablement évolutif, au point d'épouser rigoureusement l'aménagement de n'importe quel site et d'ouvrir la voie à des concepts inédits de machines →1.

AR Comment résumer en quelques mots les atouts d'ACOPOStrak ?

RK Lorsque vous combinez les indicateurs de performance aux avantages de l'aiguillage intégré et à l'extrême flexibilité de la conception, vous obtenez une solution complète, unique en son genre. Retour sur investissement (ROI), taux de rendement synthétique (TRS) et délai de mise sur le marché sont les trois principaux critères économiques qui sous-tendent toute activité industrielle. Dans ce contexte, constructeurs de machines et exploitants doivent relever le défi de la flexibilité de production. Faute de quoi, ils perdront leur avantage concurrentiel. Rappelons que la fabrication en série de produits personnalisés permet de dégager des marges supérieures à celles de la production classique. Sa réussite sur le terrain dépend néanmoins des progrès accomplis dans l'organisation de l'usine.

En conclusion, je dirais qu'ACOPOStrak promet aux industriels d'énormes gains de productivité et une forte accélération du ROI pour les produits individualisés et les lots de taille réduite.

AR M. Kickinger, merci de nous avoir consacré du temps. ●

DYNAMIQUE

Entraînements sans réducteur

Les nouveaux moteurs à aimants permanents d'ABB pour les entraînements de convoyeurs moyenne puissance sans réducteur font baisser les coûts de production et augmentent la compétitivité. Compatibles avec les exigences d'écoconception, ils offrent économies d'énergie ainsi que réduction du taux de défaillance et du budget de maintenance.



Ulf Richter
ABB Mining
Cottbus (Allemagne)

ulf.richter@de.abb.com

Les exploitants miniers et les cimentiers ont besoin de convoyeurs à bande de forte capacité dont la fiabilité, l'efficacité et la robustesse ne souffrent pas de compromis. Vu le coût horaire élevé d'un arrêt de production, la disponibilité est également primordiale. ABB fournit depuis longtemps des systèmes de convoyage répondant aux exigences strictes de nombreux secteurs →1.

Avec ou sans réducteur

Les systèmes de convoyage ABB sont classés par niveau de puissance en fonction de l'application →2 : faibles puissances pour la manutention courante, moyennes pour le transport de roches et de charbon, fortes pour l'acheminement sur de longues distances ou d'importants dénivelés de matériaux denses comme le cuivre ou le minerai de fer.

Les fortes puissances posent un problème aux entraînements classiques, surtout à cause de la présence du réducteur. Un réducteur capable de manier des puissances supérieures à 3,5 MW est non seulement difficile à fabriquer mais également lourd et coûteux à entretenir pour une durée de vie relativement courte. Sans compter, ce qui n'arrange rien, la grande variété d'exécutions possibles, de la structure mobile avec moteur logé dans l'enveloppe métallique de la station d'entraînement à l'équipement fixe avec moteur sur pied reposant sur des fondations béton.



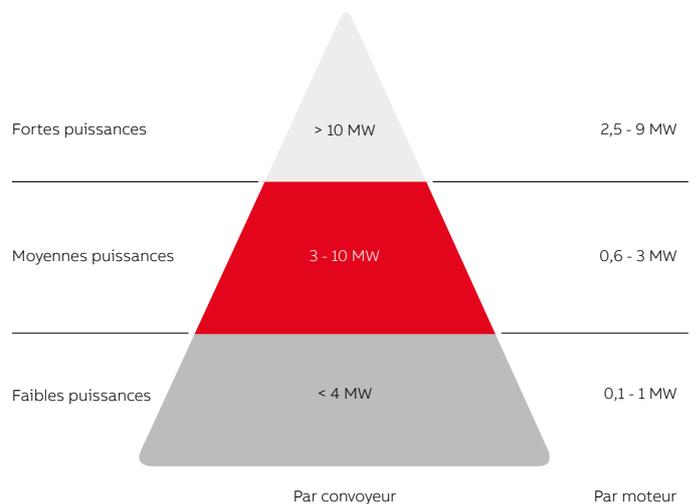


- 01 Entraînement avec réducteur
- 02 Classement des convoyeurs par niveau de puissance

Une solution : se passer du réducteur. Les entraînements de convoyeur sans réducteur (GCD) utilisent un moteur électrique synchrone basse vitesse, monté sur un arbre à poulies conçu pour en supporter le couple élevé. Commandé en vitesse variable, ce moteur fait tourner l'arbre à une vitesse comprise entre 50 et 70 tr/min. Un convoyeur peut comporter plusieurs stations d'entraînement, comprenant elles-mêmes plusieurs modules. Les entraînements actuels développent une puissance de 2,5 à 7 MW, pour un total raccordé de 5 à 20 MW.

Par sa simplicité d'exécution et son faible nombre de pièces, un entraînement de convoyeur sans réducteur allie endurance et faible maintenance.

Par sa simplicité d'exécution et son nombre relativement réduit de pièces, ce système d'entraînement allie endurance et faible maintenance. Pour preuve, les GCD qui équipent depuis 1985 le convoyeur de la mine de charbon de Prosper-Haniel, à l'ouest de l'Allemagne, sont toujours en service ! Autre avantage décisif, sa sobriété énergétique : le gain de 2 à 3 % de rendement se traduit par d'importantes économies d'électricité cumulées sur toute la durée de vie de l'installation →3.



En contrepartie, un GCD reste un investissement coûteux qui ne se justifie que pour les hautes puissances à longue durée de fonctionnement. Par ailleurs, dans le segment des moyennes puissances, ces entraînements doivent aussi perdre en masse et en taille, et améliorer leur refroidissement pour séduire le marché. Et a fortiori en basse puissance, il faut changer de stratégie si les clients veulent bénéficier des avantages de la technologie.

Fort de sa longue expertise du domaine, ABB a développé une gamme de moteurs à aimants permanents basse tension spécialement pour ses GCD.

Moteurs à aimants permanents basse ou moyenne tension

Les moteurs à aimants permanents (MAP) sont utilisés depuis des décennies pour la propulsion marine, le pompage, la ventilation, l'automobile ou l'éolien. Fort de son expertise du domaine, ABB a développé une gamme de MAP basse tension spécialement pour ses GCD.

Les nouveaux entraînements de 1 à 3 MW conviennent à un grand nombre d'installations, neuves ou modernisées, pour un coût comparable à celui des systèmes classiques à réducteur.

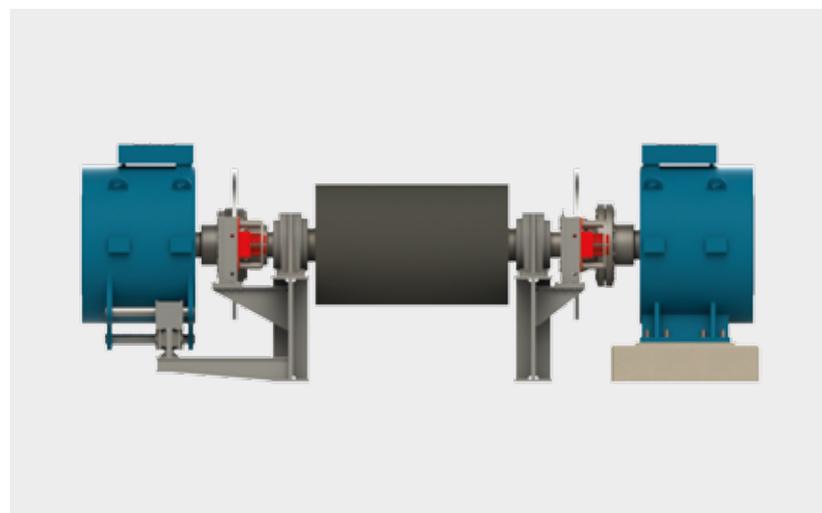
Ce GCD d'avant-garde, léger et compact, peut être refroidi par liquide ou par air, et doté d'un moteur monté sur pied ou sur arbre : cette dernière option est plus rapide à installer, plus facile à aligner et moins lourde en travaux de fondation →4. La conception est suffisamment robuste pour résister aux chocs et vibrations inévitables lorsqu'on charrie du ciment, des pierres, du charbon ou tout autre minéral. Sa protection IP66 le rend totalement étanche à l'eau et à la poussière. Cerise sur le gâteau, son fonctionnement est également moins bruyant.

La suppression du réducteur offre de nombreux avantages en exploitation :

- Réduction du nombre de composants, d'où une fiabilité accrue (taux de défaillance presque divisé par deux) et une maintenance allégée ;
- Rendement élevé avec réduction de la consommation énergétique et des nuisances sonores ;
- Hausse du taux d'utilisation ;
- Réduction des coûts d'exploitation ;
- Baisse des pertes énergétiques (plus de 30 %) ;
- Suppression de la surveillance et des essais des réducteurs ;
- Absence d'huile (risque d'incendie moindre) ;
- Longévité (durée de vie du moteur estimée à 25 ans, soit 10 de plus que le système avec réducteur).

	Avec réducteur (kW)	Sans réducteur (kW)
Pompe/Système de refroidissement	0,6	0,6
Transformateur	1,24	1,17
Convertisseur de fréquence	2,44	2,31
Moteur	5,88	4,9
Système d'excitation du moteur	0	0
Réducteur	7	0
Pertes totales	17,16	8,98
Rendement total	89,10 %	93,90 %

Appareil	Rendement
Moteur asynchrone à cage d'écurieil	96,00 %
Réducteur	95,00 %
Transformateur	99,20 %
Convertisseur	98,40 %
Moteur à aimants permanents (MAP)	96,43 % (rendement plus élevé possible ~98 %)



—
03 Comparaison entre un moteur synchrone avec réducteur et un moteur à aimants permanents sans réducteur de 200 kW à 70 % de charge (140 kW)

—
04 Montage sur pied (droite) et sur arbre à poulies (gauche) : ce dernier est plus rapide à installer ou à remplacer, mais moins facile à concevoir et à dimensionner que la version sur pied, puisque la masse du moteur pèse sur le dimensionnement de l'arbre. Le choix dépend des préférences du client.

—
05 Économies cumulées d'un GCD par rapport à un entraînement avec réducteur pour le système de convoyage d'une cimenterie (40 km de long, 22 entraînements de 1500 kW à 136 tr/min, 3 jours de stock)

—
06 GCD du projet minier de Jänschwalde (Allemagne)



06

Les entraînements sans réducteur sont tout indiqués dans les cas suivants :

- Cycle de vie attendu supérieur à 10 ans ;
- Réducteurs problématiques ;
- Production exigeant une haute disponibilité ou ne disposant d'aucune redondance ;
- Stocks tampons de composants réduits, voire inexistantes ;
- Maintenance complexe (altitude, températures extrêmes) ;
- Personnel de maintenance coûteux ou difficile à trouver ;
- Milieu hostile.

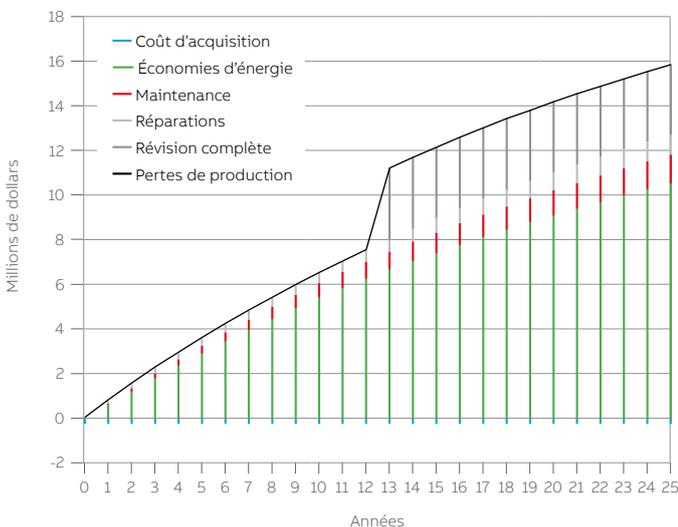
Étude de cas

Exemple à l'appui, voyons en quoi le nouvel entraînement de convoyeur sans réducteur ABB aide les exploitants miniers à réduire leurs coûts.

Caractéristiques du système de convoyage :

- Ligne de convoyage : 4 voies
- Entraînements : 12
- Puissance : 1000 kW
- Tonnage : 8800 t/h
- Prix du kWh : 0,10 \$
- Rendement du réducteur : 96 %
- Durée annuelle de fonctionnement : 6900 heures
- Stocks tampons : 3 jours

Le graphe →5 présente les économies cumulées (coût d'acquisition inclus) d'un système de convoyage équipé d'un entraînement sans réducteur par rapport à l'équivalent avec réducteur.



05



07

Les principaux postes de dépenses sont l'énergie (électricité), la maintenance, les réparations et les pertes de production (disponibilité). Additionnées, les quatre barres de couleur indiquent les économies cumulées au fil des ans. Sans surprise, c'est au niveau de l'énergie et de la disponibilité que les gains sont les plus importants. Au bout de 15 ans, l'absence de réducteur permet à la société minière d'économiser 12 millions de dollars.

Modernisation d'un entraînement de convoyeur de 200 kW

En juillet 2017, à l'issue d'un an de préparation, ABB a lancé un projet pilote pour la mine de lignite à ciel ouvert de la LEAG (Lausitz Energie Bergbau), société minière implantée à Jänschwalde, près de la ville de Cottbus en Allemagne.

Il s'agissait d'installer un GCD moyenne puissance équipé d'un MAP, parallèlement à l'entraînement avec réducteur existant, sur la bande de convoyage d'un excavateur à chaîne à godets situé à l'extrémité de la flèche d'évacuation. Cette bande de 2,5 m de large, d'une capacité horaire de 15 400 t, déplace du sable contenant de gros fragments de roches de l'ère glaciaire, qui sont autant de sources de vibrations et de chocs mécaniques. Et ce, en milieu extrême, puisque la température ambiante peut varier de -25 à +40 °C.

La fourniture ABB se compose d'un MAP, d'un convertisseur de fréquence et d'un transformateur →6-8. Les deux entraînements (avec et sans

—
La fourniture ABB se compose d'un MAP, d'un convertisseur de fréquence et d'un transformateur.

réducteur) sont couplés au même arbre à poulies, ce qui permet de les comparer dans des conditions strictement identiques. Tous deux ont été dimensionnés par le client de façon à pouvoir assurer chacun 100 % de la production. Le démontage de l'ancienne installation ainsi que le montage et la mise en service des nouveaux équipements n'ont duré que deux semaines.

—
07 Entraînement
sans réducteur

—
08 Entraînement sur banc
d'essai dédié chez ABB
avant installation sur le
site pilote

Ce pilote a démontré la faisabilité de l'installation d'un GCD sur une machine mobile d'extraction minière et de l'utilisation d'un MAP pour entraîner les convoyeurs. Jusqu'à présent, le GCD a très bien fonctionné dans des conditions pourtant difficiles.

—

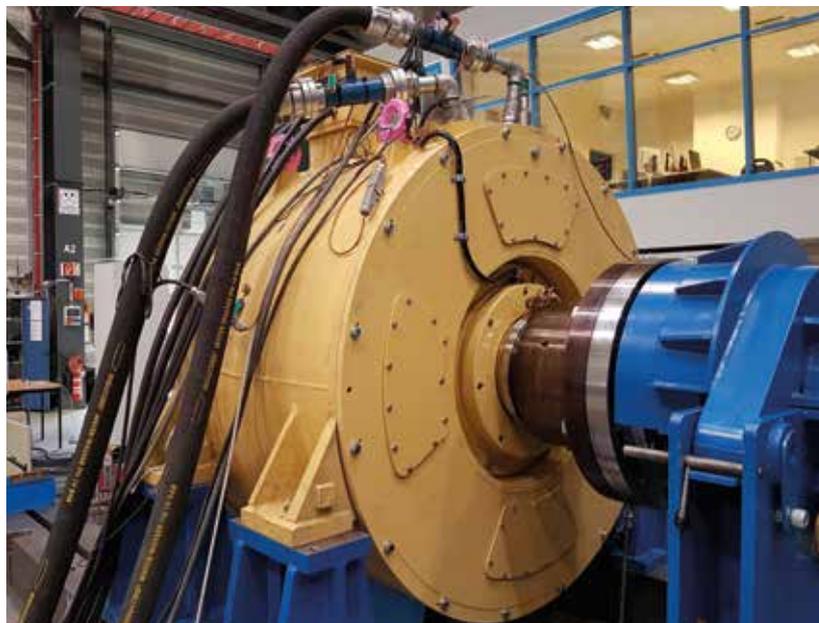
Les GCD à MAP sont une solution efficace, pérenne et fiable pour augmenter les revenus et la production, et faire baisser les coûts.

Il a également confirmé son potentiel en matière d'économies d'énergie comme de réduction du taux de défaillance et de la maintenance. Les entraînements sans réducteur s'imposent donc comme une solution viable aux entraînements classiques à réducteur, tout en satisfaisant aux exigences normatives d'écoconception et de performance énergétique ISO 50001 : les entreprises minières conservent ainsi leur certification environnementale.

Une mine de réussites

Les GCD à MAP offrent une solution efficace, pérenne et fiable aux secteurs minier et manufacturier, qui voient ainsi leurs revenus et leur production augmenter, et leurs coûts diminuer (notamment de maintenance, de réparation et de gestion des actifs). Pour un GCD de 1,5 MW, l'investissement initial est certes près de 10 à 20 % plus élevé et les coûts de matériel électrique et mécanique environ 5 % plus importants qu'avec un entraînement classique, mais les économies réalisées sur la maintenance, la facture électrique et les arrêts de production garantissent un retour sur investissement généralement inférieur à un an. Tout dysfonctionnement de convoyeur ayant un impact négatif sur la cadence des excavatrices, broyeuses et autres outils productifs, l'analyse du coût global d'un GCD doit tenir compte de l'importance cruciale du système de convoyage pour le site minier ou manufacturier.

Pouvoir bénéficier des avantages d'un entraînement sans réducteur à MAP pour les convoyeurs de moyenne puissance ouvre des perspectives intéressantes aux exploitants miniers et cimentiers. Ce nouveau concept permet d'intégrer un moteur sans réducteur à un convoyeur moyenne puissance existant ou nouveau, chose qui n'était jusqu'à présent ni facilement réalisable ni rentable avec des moteurs sans réducteur classiques. ●



Énergie





90

Le secteur énergétique est en pleine mutation : à côté des nouveaux modes de production et de distribution d'électricité, l'intelligence numérique investit chaque brique du système. En 1901, ABB construisait la première turbine à vapeur d'Europe ; aujourd'hui, cet éternel pionnier bâtit les technologies de demain.

- 84 La protection des alternateurs franchit un nouveau palier
- 90 Truone™ : le tout-en-un tout puissant



84

ÉNERGIE

La protection des alternateurs franchit un nouveau palier

Le disjoncteur d'alternateur est un composant essentiel d'une centrale électrique, dont il protège les actifs critiques et maximise la disponibilité. Le HEC 10 succède au HEC 7/8 d'ABB et en améliore les caractéristiques : meilleures performances de coupure, volume et taux de fuite de gaz hexafluorure de soufre (SF₆) réduits, durée de service prolongée et moindre encombrement.

Mirko Palazzo
Alejandro Marmolejo
Oliver Fritz
Stefan Arndt
ABB Suisse
Zurich (Suisse)

mirko.palazzo@
ch.abb.com
alejandro.marmolejo@
ch.abb.com
oliver.fritz@ch.abb.com
stefan.arndt@ch.abb.com

Comme son nom l'indique, le disjoncteur d'alternateur sert à isoler l'alternateur du transformateur dans une centrale électrique. Il protège ainsi les actifs critiques et simplifie l'exploitation, d'où une plus grande disponibilité. Le parc ABB (actuellement plus de 8000 appareils installés dans plus d'une centaine de pays) protège toutes sortes de centrales depuis 1954. Son offre de disjoncteurs d'alternateur à coupure dans le vide et dans le SF₆ est la plus fournie et la plus moderne du marché ; elle couvre des courants de court-circuit de 50 à 300 kA, pour des courants assignés de 3 à 50 kA. Le Groupe investit en permanence dans la recherche-développement pour répondre aux exigences accrues de la normalisation et de la clientèle.

—

ABB investit en permanence dans la recherche-développement pour répondre aux exigences de la normalisation et de la clientèle.

Peu avant l'an 2000, ABB lance son disjoncteur d'alternateur HEC 7/8 à haute performance, capable d'interrompre 210 kA, puis en 2012 le HEC 9, à ce jour le plus grand disjoncteur d'alternateur pour centrales produisant jusqu'à 2000 MW.

—
01 Le disjoncteur d'alternateur HEC 10 d'ABB, successeur du HEC 7/8

Aujourd'hui, la famille HEC s'enrichit d'un nouveau membre. Le HEC 10, fruit de décennies d'expérience sur le terrain, améliore les caractéristiques du HEC 7/8 : pouvoir de coupure accru, volume et taux de fuite du SF₆ réduits, durée de service allongée et moindre encombrement →1.

Conçu pour la protection des applications critiques, le HEC 10 existe en deux exécutions :

- HEC 10-170, capable d'interrompre un courant assigné de court-circuit de 170 kA sous 31,5 kV ;
- HEC 10-210, capable d'interrompre 210 kA sous 33 kV.

Chaque version est proposée soit avec un refroidissement par convection naturelle (L) pour des courants assignés maxi de 20 kA, soit avec un système innovant de refroidissement hybride (XL) qui autorise jusqu'à 29 kA.

HEC de troisième génération

Le HEC 10 reprend en la perfectionnant la technique de coupure qui a fait le succès de ses prédécesseurs : tous les disjoncteurs d'alternateur

—
La chambre de coupure du HEC 10 perfectionne le principe éprouvé d'autosoufflage de l'arc, commun à tous les produits de la famille HEC.

HEC sont « à autosoufflage », c'est-à-dire que l'arc électrique est soufflé par un gaz sous pression, au passage par zéro du courant. L'énergie nécessaire à l'extinction provient de l'arc lui-même.

01



CLASSE G1

Pour relever de la classe G1 (norme CEI/IEEE 62271-37-013), un disjoncteur d'alternateur doit être capable de couper un courant asymétrique égal à 100 % et à 74 % de son courant présumé de court-circuit, alimenté par l'alternateur (I_{scg}), avec respectivement 110 % et 130 % d'asymétrie.

CLASSE G2

Pour relever de la classe supérieure G2, un disjoncteur d'alternateur doit être capable de couper un courant asymétrique égal à 100 % de I_{scg} avec 130 % d'asymétrie.

Ces progrès se traduisent par des temps d'amorçage d'arc plus courts, indispensables à la montée en pression, et par un pouvoir de coupure renforcé - même en cas de déphasage de 180° qui rend la manœuvre particulièrement ardue - bien supérieur aux exigences minimales de la norme CEI/IEEE 62271-37-013 relative aux disjoncteurs d'alternateur. Le HEC 10 a d'ailleurs réussi tous les essais de type, preuve s'il en est de la qualité et de la robustesse de sa chambre de coupure.

Nouvelle norme

En octobre 2015, la CEI et l'IEEE se sont associés pour mettre à jour l'ancienne norme IEEE C37.013, rebaptisée CEI/IEEE 62271-37-013. Le pouvoir de coupure du HEC 10 a été vérifié par des essais de type selon cette nouvelle norme, dont il surclasse les exigences.

Conformité normative...

L'originalité de la CEI/IEEE 62271-37-013 tient principalement dans le degré d'asymétrie des courants de court-circuit côté alternateur, avec passage par zéro retardé du courant, qui passe de 110 à 130 % pour mieux refléter les conditions de fonctionnement réelles [1]. La nouvelle norme conjointe définit notamment deux classes d'exigences G1 et G2, la seconde étant la plus performante →2.

Pendant les essais de type, le HEC 10 a interrompu des courants de court-circuit côté alternateur de 160 kA présentant jusqu'à 130 % d'asymétrie. Il remplit donc les exigences de la classe G2, qui valent pour les plus gros alternateurs au monde.

Depuis plusieurs décennies, la recherche ABB s'intéresse de très près aux disjoncteurs à isolation gazeuse, et plus précisément, ces derniers temps, à la commutation thermique et diélectrique. Les chercheurs et les ingénieurs de développement ont travaillé main dans la main pour concevoir la zone d'extinction de l'arc dans le HEC 10, avec à la clé notamment une nouvelle approche du profil d'écoulement autour de la tulipe de contact. L'expérience accumulée lors du développement du HEC 9, théâtre de nombreuses expérimentations, a encore contribué à améliorer les performances en commutation diélectrique.

—
Le HEC 10 affiche des performances de coupure supérieures à celles de ses prédécesseurs.

Déphasage (°)	Courant coupé (kA)	Tension de crête (kV)	Vitesse de montée (kV/μs)	Temporisation (μs)
90	85	2,6 x U _n	5,2	1
180	159	3,2 x U _n	8,1	0,7

—
02 Classes d'exigences G1 et G2 de la CEI/IEEE 62271-37-013

—
03 Résultats des essais du HEC 10 avec déphasage de 90° et 180°

—
04 Système de refroidissement du HEC 10

...et au-delà

Le raccordement des transformateurs de tension et la synchronisation des équipements peuvent parfois entraîner une discordance de phases, imputable principalement à des erreurs de câblage lors de la mise en service ou de la maintenance. Si la CEI/IEEE 62271-37-013 ne stipule qu'un déphasage de 90°, on sait que la discordance peut atteindre 180°, imposant de fortes contraintes sur les disjoncteurs d'alternateur [1,2] qui ne sont pas forcément prises en compte par l'essai normatif à 90°.

Le HEC 10 contribue à garantir une sécurité sans faille au sein de la centrale électrique puisqu'il va au-delà des exigences de la CEI/IEEE 62271-37-013 et réussit à couper des courants en discordance de phases jusqu'à 180°. Le tableau →3 compare les résultats des essais du HEC 10 à des déphasages de 90° et 180°. La forte intensité du courant coupé

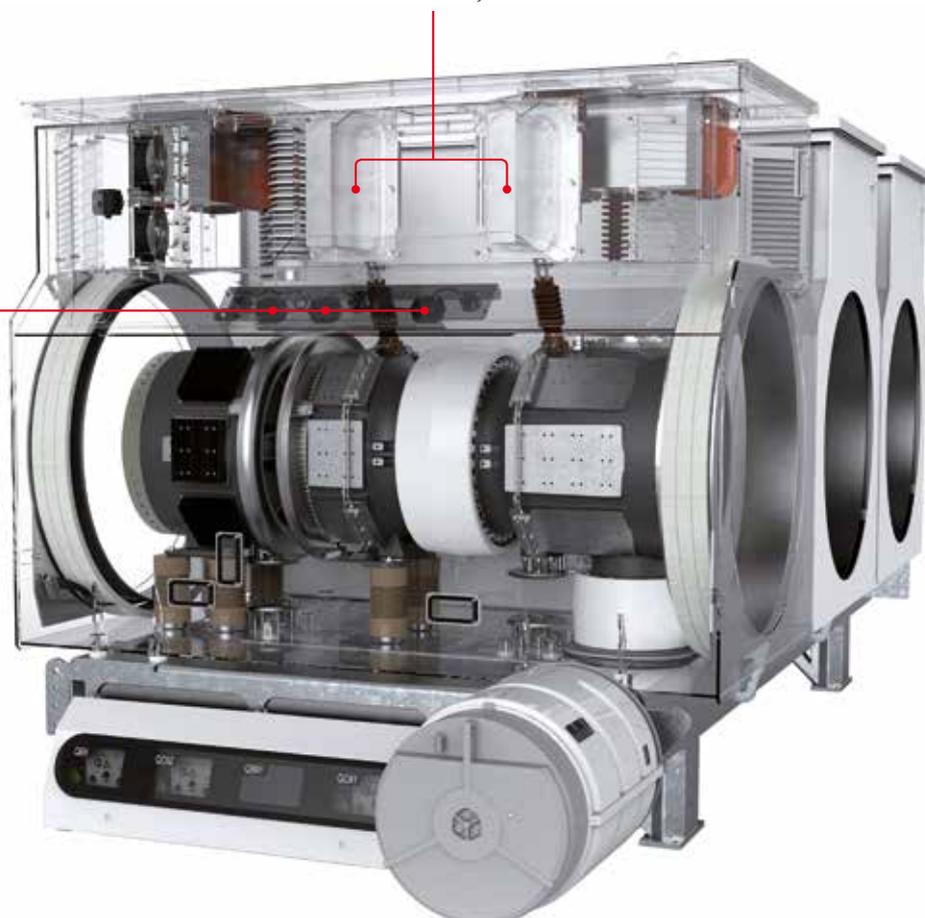
—
Le HEC 10 contribue à garantir une sécurité sans faille au sein de la centrale puisqu'il va au-delà des exigences normatives CEI/IEEE 62271-37-013.

et la raideur de la tension transitoire de rétablissement (vitesse de montée de 8,1 kV/μs) mettent en évidence les contraintes sévères de l'essai à 180°. La réussite du HEC 10 est une éclatante démonstration de la performance de sa chambre de coupure.

04

Refroidissement hybride

Surveillance de la température en ligne



Endurance mécanique

Les essais d'endurance mécanique vérifient la fiabilité d'un équipement. Selon la norme applicable, le disjoncteur d'alternateur doit pouvoir effectuer 1000 ou 3000 manœuvres de fermeture-ouverture à vide, et le sectionneur de ligne et les interrupteurs de mise à la terre (MALT) 1000, 2000, voire 10 000.

Simplification et optimisation sont les deux priorités du développement du HEC 10, avec un nombre de pièces nettement inférieur à celui du HEC 7/8.

Le HEC 10 a subi des essais de type bien plus exigeants, puisque le disjoncteur d'alternateur et le sectionneur ont effectué chacun 10 000 manœuvres, et les interrupteurs MALT 5000 : une preuve indéniable de la fiabilité et de la qualité de ce nouveau dispositif !

Chambre à part

La chambre de coupure du HEC 10 suit les règles de conception ABB : les contacts principaux et les contacts d'arc baignent dans le SF₆, et le sectionneur est raccordé en série, côté transformateur du disjoncteur. Cette architecture isole de façon sûre et visible le transformateur élévateur de l'alternateur sans compromettre la sécurité de la centrale électrique.

Compacité

Simplification et optimisation sont les deux priorités de développement du HEC 10. Par exemple, le nombre de pièces est nettement inférieur à celui du HEC 7/8, d'où un moindre encombrement.

Les contacts du sectionneur et des interrupteurs MALT reposent sur un nouveau système de palier sans étalonnage, qui augmente la tolérance aux pannes. La tige est entraînée par un arbre tournant et non un piston, gage de sécurité intrinsèque. ABB a de plus conçu un sectionneur à faible course, qui minimise l'emprise du HEC 10 sans dégrader le niveau d'isolement. Enfin, le recours à des organes de commande extérieurs, pratique courante en haute tension, réduit d'autant l'encombrement de l'installation.

05



—
05 Système de surveillance numérique GMS600 d'ABB

Bibliographie

[1] Palazzo, M., Delfanti, M., « New Requirements for the application of generator circuit breakers », *International Conference on Power Systems Transients*, Vancouver (Canada), 18-20 juillet 2013.

[2] Palazzo, M., et al., « Revision of TRV requirements for the application of generator circuit breakers », *Electric Power Systems Research*, vol. 138, p. 66-71, septembre 2016.

Refroidissement innovant

La sécurité et la fiabilité du disjoncteur d'alternateur dépendent d'un refroidissement efficace. Celui du HEC 10-XL, fruit de simulations avancées, est un système hybride →4 qui associe à des caloducs et des radiateurs des ventilateurs simples et redondants, à maintenance réduite. Cette innovation porte le courant assigné maximal à 29 kA et autorise la surveillance en ligne de la température et de la ventilation par le système GMS600 d'ABB, ouvrant la voie à la maintenance conditionnelle.

L'abandon des radiateurs au SF₆ maximise la fiabilité. Le taux de fuite du gaz étant inférieur à 0,1 % par an, le HEC 10 se situe bien en dessous du seuil normalisé. Le remplacement des ventilateurs s'effectue en fonctionnement, sans besoin d'arrêter l'alternateur, maximisant la disponibilité de la centrale.

Sécurité et fiabilité dépendent d'un refroidissement efficace.

Sécurité maximale

L'intégration de la commande principale dans les supports longitudinaux du châssis des pôles a également contribué à optimiser l'architecture du HEC 10. Cette association d'éléments structurels et de fonctions de protection aboutit à une construction robuste et simple. La conception du châssis a été particulièrement soignée pour éviter aux opérateurs et techniciens de maintenance tout contact accidentel avec les pièces en mouvement entre mécanisme de commande et organes de coupure.

Surveillance numérique GMS600

Le HEC 10 s'intègre complètement au système de surveillance de disjoncteur d'alternateur GMS600 d'ABB →5. Cet outil numérique multifonction (enregistrement au fil de l'eau des données et des perturbations, supervision de l'actionneur, surveillance de la température et de la densité de SF₆, etc.) compare en permanence la vitesse des ventilateurs à la consigne pour un fonctionnement pérenne du refroidissement hybride.

ABB propose à ses clients une téléassistance incluant des rapports réguliers sur l'état de l'équipement surveillé.

Le GMS600 enregistre et analyse en continu les principales données de refroidissement afin de fournir au client des informations supplémentaires sur le fonctionnement du disjoncteur. En option, ABB propose une téléassistance qui inclut des rapports réguliers sur l'état de l'équipement. Enfin, les données consignées par le GMS600 peuvent être transmises dans le Cloud pour alimenter les outils ABB Ability™. Cette plate-forme réunit un portefeuille de produits, services et solutions numériques (du simple composant à l'équipement en bordure de réseau, et jusqu'au Cloud) pour améliorer la connaissance du système, étoffer ses capacités et accroître les performances délivrées par tous les dispositifs interconnectés, disjoncteurs d'alternateur compris. ●

 ÉNERGIE

Le tout-en-un tout puissant

TruONE™ d'ABB est le premier inverseur de sources automatique au monde à concentrer tout le nécessaire (instrumentation, commande, commutation et dialogue opérateur) dans un seul appareil fiable, facile et ultrarapide à installer.



Riku Pelttari
ABB Oy
Vaasa (Finlande)

riku.pelttari@fi.abb.com

Lorsque survient une coupure électrique dans un site sensible (hôpital, datacenter ou central téléphonique, par exemple), un inverseur de sources automatique bascule instantanément l'alimentation sur le groupe électrogène. Hélas, l'implantation d'un tel dispositif n'est pas de tout repos tant sont nombreux ses composants électriques qu'il faut câbler un à un, puis monter dans une armoire ou un tableau.

D'ordinaire, l'installation d'un inverseur de sources n'est pas de tout repos !

Certes, l'inverseur de sources joue parfaitement son rôle en cas de coupure de courant : il démarre automatiquement le groupe de secours, y transfère la charge, puis rétrocommute sur la source principale lorsque la situation revient à la normale. Pourtant, la multiplicité des raccordements et des composants mis en œuvre ajoute à la complexité du dispositif, dégrade sa fiabilité et limite sa souplesse fonctionnelle.



—
01 Inverseur de sources
autopiloté TruONE™
d'ABB

L'inverseur de sources autopiloté TruONE d'ABB est le premier au monde à concentrer tout le nécessaire (capteurs, circuits de commande, commutateurs et interface opérateur) en un appareil intégré, extrêmement fiable, facile et ultrarapide à installer.

Ce dispositif tout en un, proposé en configuration ouverte ou fermée, abrite non seulement des pôles de raccordement source-charge parallèles et, à côté, un mécanisme de basculement des contacts de puissance internes dans la position souhaitée, mais aussi les commandes nécessaires à l'exécution de toutes les fonctions d'inversion →1. Cet ensemble compact a tout ce qu'il faut pour passer automatiquement d'une alimentation à l'autre, sans les inconvénients des solutions précédentes (profusion de câbles, électronique distribuée, transformateurs de tension, commandes externes, enveloppe).



TruONE intègre très souvent une poignée escamotable (entre le mécanisme inverseur et les pôles de puissance) pour une manœuvre sécurisée, même en charge. On y accède par une découpe dans le tableau, sans avoir à ouvrir la porte qui protège l'opérateur des arcs électriques internes.

—
TruONE™ d'ABB est le premier inverseur automatique au monde à concentrer tout le nécessaire (capteurs, commandes, contacts et IHM) dans un seul appareil facile à installer.

De même, l'appareil établit un nouveau référentiel en matière de sécurité électrique, grâce à son interface homme-machine (IHM) débrosable totalement isolée, qui évite de relier à la porte les tensions réseau dangereuses.

Des accessoires directement clipsables (transformateurs de courant, modules de communication, cache-bornes, etc.) dotent TruONE de toute la richesse fonctionnelle des inverseurs de sources haut de gamme, mais dans une unité compacte qui n'a pas besoin d'enveloppe ou de tableau pour loger ces différents composants. Toute la chaîne de valeur de la solution y gagne. L'appareil est le fruit d'une conception ingénieuse : ses fonctionnalités sont auto-alimentées par les connexions réseau (200 à 480 VCA) sans passer par un transformateur de tension externe. Cette innovation permet d'exécuter toutes les fonctions requises au moyen d'un seul appareil et d'offrir un large éventail de possibilités d'exploitation avec une seule référence produit, quel que soit le niveau de tension.



02a



02b

Installation simplifiée

TruONE se singularise par sa facilité d'installation. Son exécution ouverte fait qu'il est aussi facile de l'installer dans un coffret ou un tableau que de monter au mur le plus léger de ses concurrents sous enveloppe. Quatre vis de fixation en fond de coffret suffisent pour créer une solution complète avec capteurs, IHM, circuits électroniques, modules de communication, etc.

Reste à pratiquer une découpe en face avant pour pouvoir accéder à l'IHM sans ouvrir le coffret. Celle-ci peut également s'encastrier dans la porte →2a. C'est là encore un jeu d'enfant : percez un trou de 25 mm de diamètre, débrochez l'IHM de l'inverseur pour la monter sur la porte, serrez l'écrou de fixation (fourni) et rebranchez le câble RJ45 →2b.

Tout bien comparé, TruONE, avec son câblage auxiliaire nettement allégé, sa mise en route accélérée et son installation bien plus ergonomique, est plus simple et 80 % plus rapide à installer que les produits concurrents →3.

Cette première mondiale est appelée à révolutionner le marché des inverseurs de sources sous enveloppe, en offrant aux tableautiers et assembleurs la possibilité de créer des solutions haut de gamme fondées sur un équipement ouvert, facile à stocker, à manier et, surtout, à installer. Cette approche procure une souplesse inégalée en production et permet d'intégrer l'inverseur de sources à l'outil industriel, au cas par cas. C'est également un moyen de raccourcir les temps de commercialisation puisque la solution est standardisable sur la base de quelques références de stock ouvertes pouvant revêtir la forme voulue en fabrication.

Accessoires clipsables

Les accessoires TruONE améliorent encore la simplicité et la puissance du produit. Tous encliquetables, donc montés sans outils, ils n'augmentent pas l'encombrement de l'inverseur. Les cache-bornes aidant, il n'a jamais été aussi simple de câbler l'appareil en toute sécurité (IP2X). Il en va de même des contacts mécaniques auxiliaires qui, si nécessaire, viennent compléter les E/S logiques de base à n'importe quelle étape du projet, mais aussi des protocoles de communication (jusqu'à 7), des E/S supplémentaires ou d'une alimentation auxiliaire de 24 VCC pour l'IHM. TruONE peut ainsi

—
L'un des points forts de cet appareil compact monobloc est sa facilité d'installation.

s'enrichir ultérieurement de nouvelles fonctionnalités. Cette flexibilité évolutive simplifie l'approvisionnement et le stockage des briques constitutives de l'appareil, qui permettent de réaliser n'importe quelle configuration cliente, même la plus contraignante.

—
02 Débrocher l'IHM de l'inverseur pour la monter sur la porte, évitant ainsi d'ouvrir l'armoire pour dialoguer avec l'appareil, est un jeu d'enfant.

02a Débrochage

02b Montage en face avant (deux vis), fixation du connecteur à l'arrière (un écrou) et raccordement (câble RJ45)

—
03 IHM en façade, avec capot protégé IP54

Intuitivité

A priori, qui dit solution hautement intégrée sous-entend manque de souplesse et difficulté d'emploi ; or c'est tout le contraire avec TruONE !

L'IHM assure le pilotage local des fonctions de transfert. Pour cela, les solutions existantes comportent habituellement une unité de commande électronique distincte avec interface qui, en plus d'être encombrante, nécessite ses propres outils de montage. Cela non seulement impose de l'utiliser sur son site d'installation, mais fait également peser des contraintes sur l'installation de l'inverseur, en particulier l'aménagement de la porte d'une solution sous coffret.

Rien de tel avec l'interface intégrée à TruONE qui peut être débrochée, sans le moindre outil, et déportée jusqu'à 10 mètres par câble RJ45. Cette souplesse multiplie les possibilités d'emploi. Par exemple, l'IHM peut être déplacée sur une potence regroupant d'autres équipements de contrôle-commande nécessaires à l'installation, ou encore être temporairement débrochée de l'inverseur en phase de mise en service pour une plus grande commodité d'accès, puis remise en place au démarrage du système. De plus, toutes les fonctions de transfert de sources étant embarquées dans l'appareil, TruONE peut être piloté avec l'IHM débrochée.

Fiabilité

Un inverseur de sources automatique est un maillon essentiel de la chaîne d'alimentation des applications critiques. D'où l'impératif de fiabilité. À cet égard, le tout-en-un renforce les normes industrielles en réduisant considérablement le nombre de raccordements dans l'inverseur. Fini l'écheveau de câbles de commande et auxiliaires autour de l'armoire ; place à un seul appareil ouvert, dépendant des seules connexions de puissance. Idem pour la solution finale sous coffret. Autant dire que l'on élimine ainsi des dizaines de points de défaillance potentielle et autant de contrôles de serrage des connexions, qui donnent souvent du fil à retordre à la mise en service.

—
Cet inverseur tout-en-un renforce les normes de fiabilité industrielles en réduisant considérablement le nombre de raccordements.

Continuité de service

Prêt à l'emploi, donc vite opérationnel, TruONE est tout désigné pour moderniser les anciennes installations. Compact et monobloc, même en configuration ouverte, cette toute nouvelle gamme d'inverseurs de sources peut se substituer en un tournemain à quasiment toutes les installations existantes. TruONE s'insère tout simplement à la place de l'ancien appareil ; seule l'alimentation est à recâbler. On peut en même temps décâbler totalement l'ancienne solution puisque le nouvel occupant de l'armoire se contente d'une seule connexion de contrôle-commande, à savoir le câble Ethernet de liaison avec l'IHM montée sur porte. Quand on compare les difficultés et risques associés à la modernisation d'une solution classique d'inversion de sources à la simplicité de l'opération avec TruONE, le choix est vite fait ! ●



LE MOT DU MOMENT

Jumeau numérique : la réalité dédoublée

Pour son quatrième « mot du moment », *ABB Review* dévoile les multiples facettes du jumeau numérique.



Christopher Ganz
Group Service R&D Manager
Zurich (Suisse)

christopher.ganz@
ch.abb.com

Tout actif industriel moderne s'accompagne aujourd'hui d'une montagne de données numériques collectées à chaque échelon du cycle de vie du produit : dessins CAO et simulations en conception, informations sur l'emplacement du dispositif, équipements connectés et configuration en phase d'intégration, sans oublier les données d'exploitation, de diagnostic et de maintenance. À ces ressources tangibles, observables et mesurables, s'ajoutent les résultats des algorithmes de calcul, de simulation et de prédiction de paramètres non observables, actuels et futurs.

Cette mine d'informations est d'ores et déjà engrangée sous plusieurs formats et dans plusieurs lieux. Et si l'on pouvait y accéder à partir d'une seule manne virtuelle, ou « jumeau numérique », réplique fidèle et exhaustive de la réalité du terrain ? Une information qui, au-delà de la simple description statique d'un objet réel, servirait aussi à en simuler le comportement, à grand renfort d'outils de visualisation 3D capables d'observer et d'inspecter l'équipement dans un environnement virtuel pour mieux en explorer et comprendre le fonctionnement.

Ces technologies trouvent aujourd'hui leurs applications à différents maillons de la chaîne :

Conception : la simulation (mécanique, thermique, électrique ou multiphysique) et la visualisation permettent de vérifier et valider la conception 3D de l'objet, en s'assurant que tout s'assemble bien.

Intégration : les visualisations 3D au niveau système vérifient les contraintes comme l'encombrement et les raccordements physiques. En connectant le jumeau virtuel à celui d'autres composants, il est possible de simuler et d'anticiper les interactions (transferts de données, fonctions de contrôle-commande, comportement mécanique et électrique, scénarios d'usage, etc.). L'effort d'intégration sur site et les temps d'immobilisation des moyens de production s'en trouvent réduits.

Diagnostic : l'observation du jumeau numérique, sur écran 3D par exemple, facilite la recherche de pannes. Les lunettes de réalité virtuelle permettent de superposer au monde réel les paramètres de l'objet physique. Des simulations peuvent ajouter des données contextuelles non observables comme la température de pièces inaccessibles ou les sollicitations des matériaux : le technicien gagne en efficacité.

Prédiction : les données historiques ou temps réel de l'exploitation et de l'instrumentation, couplées à des algorithmes prédictifs, permettent d'en savoir plus sur l'état fonctionnel de l'équipement et d'identifier en amont un risque de défaillance. De quoi mieux planifier les interventions de maintenance et réduire les arrêts intempestifs.

Services avancés (connectivité des machines et des objets, algorithmes analytiques, etc.) : pré-configurés dans le jumeau numérique et souscrits par le client, ces services peuvent être activés dès l'installation de l'équipement et, dans l'idéal, sans aucun développement supplémentaire.





Ces multiples visages du jumeau numérique ont en commun la capacité de rassembler en un seul référentiel toutes les métadonnées stockées en divers lieux. À tout moment du cycle de vie produit, ce double est en mesure de fournir les informations nécessaires aux différents cas d'usage.

En somme, il s'agit d'une reproduction virtuelle complète et opérationnelle d'un dispositif, sous-ensemble ou système, qui combine les aspects numériques de la construction (gestion

du cycle de vie, modèles de conception, données de fabrication) et la dynamique temps réel du fonctionnement et de la maintenance.

Cet *alter ego* numérique centralise et diffuse l'ensemble des informations collectées sur l'actif, tout au long de sa durée de vie. Des traitements poussés (simulation, analytique avancée, etc.) permettent d'optimiser les opérations, d'améliorer le procédé et de maximiser l'investissement, au bénéfice du client et d'ABB.

Publication ABB

Rédaction

Bazmi Husain
Chief Technology Officer
Group R&D and Technology

Adrienne Williams
Senior Sustainability
Advisor

Christoph Sieder
Head of Corporate
Communications

Reiner Schoenrock
Technology and Innovation
Communications

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

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

Édition

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

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

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

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

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

Édition et droits d'auteur
©2018
ABB Switzerland Ltd.
Baden (Suisse)

Impression

Vorarlberger
Verlagsanstalt GmbH
AT-6850 Dornbirn
(Autriche)

Maquette
DAVILLA AG
Zurich (Suisse)

PAO

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

Traduction française

Cléa Blanchard
clea.blanchard@
gmail.com

Avertissement

Les avis exprimés dans la
présente publication n'en-
gagent que leurs auteurs
et sont donnés unique-
ment pour information. Le
lecteur ne devra en aucun
cas agir sur la base de
ces écrits sans consulter
un professionnel. Il est
entendu que les auteurs
ne fournissent aucun
conseil ou point de vue
technique ou profession-
nel sur aucun fait ni sujet
spécifique, et déclinent
toute responsabilité sur
leur utilisation.

Les entreprises du Groupe
ABB n'apportent aucune
caution ou garantie, ni ne
prennent aucun engage-
ment, formel ou implicite,
concernant le contenu ou
l'exactitude des opinions
exprimées dans la
présente publication.

ISSN : 1013-3119

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



À vos tablettes

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

Gardez le contact

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

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



—
Dans le numéro 03/2018

Matière à innover

Les matériaux connaissent une profonde mutation, tant au sein de leurs applications traditionnelles que dans les nouveaux territoires qu'ils défrichent. Cette (r)évolution s'appuie sur l'intelligence des procédés et des algorithmes, qui fait de la connaissance le pilier de la technologie. Notre prochain numéro explorera ce gisement d'innovations, dont les exemples de produits et partenariats ABB avec ses clients sont autant de pépites.