review

03|2021 fr

Numérique et connectivité

46

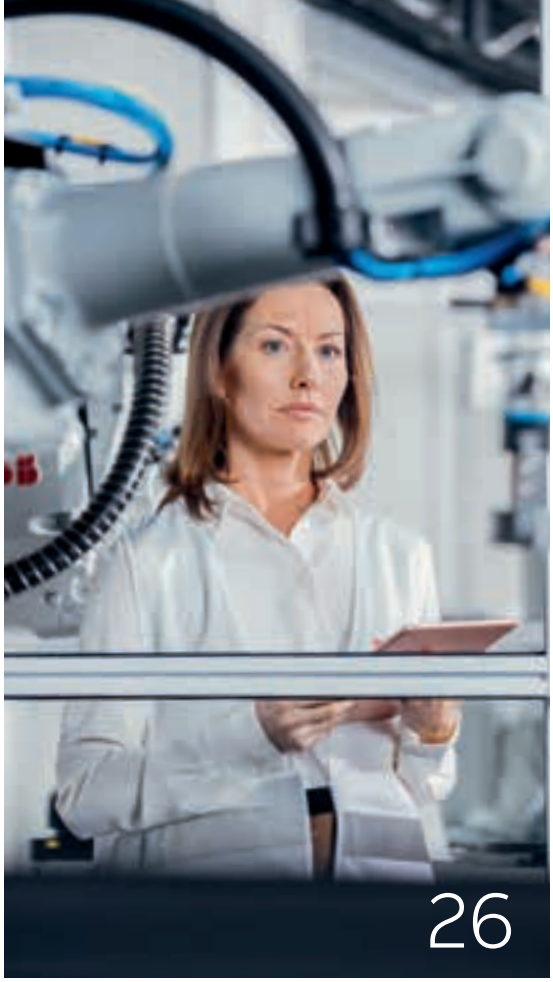
52

06 – 39 **Actifs numériques**
40 – 65 **Productivité**
66 – 77 **Connectivité**

ABB Ability™ Genix

Navires et ports écologiques

Mue numérique en métallurgie



Un jumeau numérique orienté produit

05 Éditorial

Actifs numériques

08 ABB Ability™ Genix
14 Partenaires en réalité augmentée
20 Le jumeau numérique
26 Un jumeau numérique orienté produit
32 Maintenance prédictive hybride

Productivité

42 Moteurs synchrones à réluctance IE5
46 Nouveaux cobots ABB
52 Mue numérique en métallurgie

Connectivité

60 Ethernet-APL et OPC UA
68 Nouveau disjoncteur ABB
74 Navires et ports écologiques

Le mot du moment

78 Simulation multicorps

79 Recevoir ABB Review
79 Publication ABB

Dans l'industrie, le numérique donne naissance à un nouvel écosystème propice au développement des actifs et des procédés. Un terreau fertile pour faire émerger des produits et services innovants, dont les gains de productivité et de rentabilité sont déjà bien réels. Découvrez dans ce numéro quelques exemples de réalisations ABB qui jettent des ponts entre les mondes numérique et physique.

ÉDITORIAL

Numérique et connectivité

Chers lecteurs,

Nous vivons à une époque où nous avons accès à plus d'informations et de données que jamais. Une manne qui restera toutefois sans valeur faute de connaissances permettant d'en tirer la substantifique moelle. Pour cela, l'humain comme la machine ont besoin d'intelligence. Les données générées en masse par les capteurs d'une usine ne peuvent contribuer à l'optimisation des processus, à la résolution des problèmes et à la prise de décisions qu'à condition d'être interprétées et contextualisées.

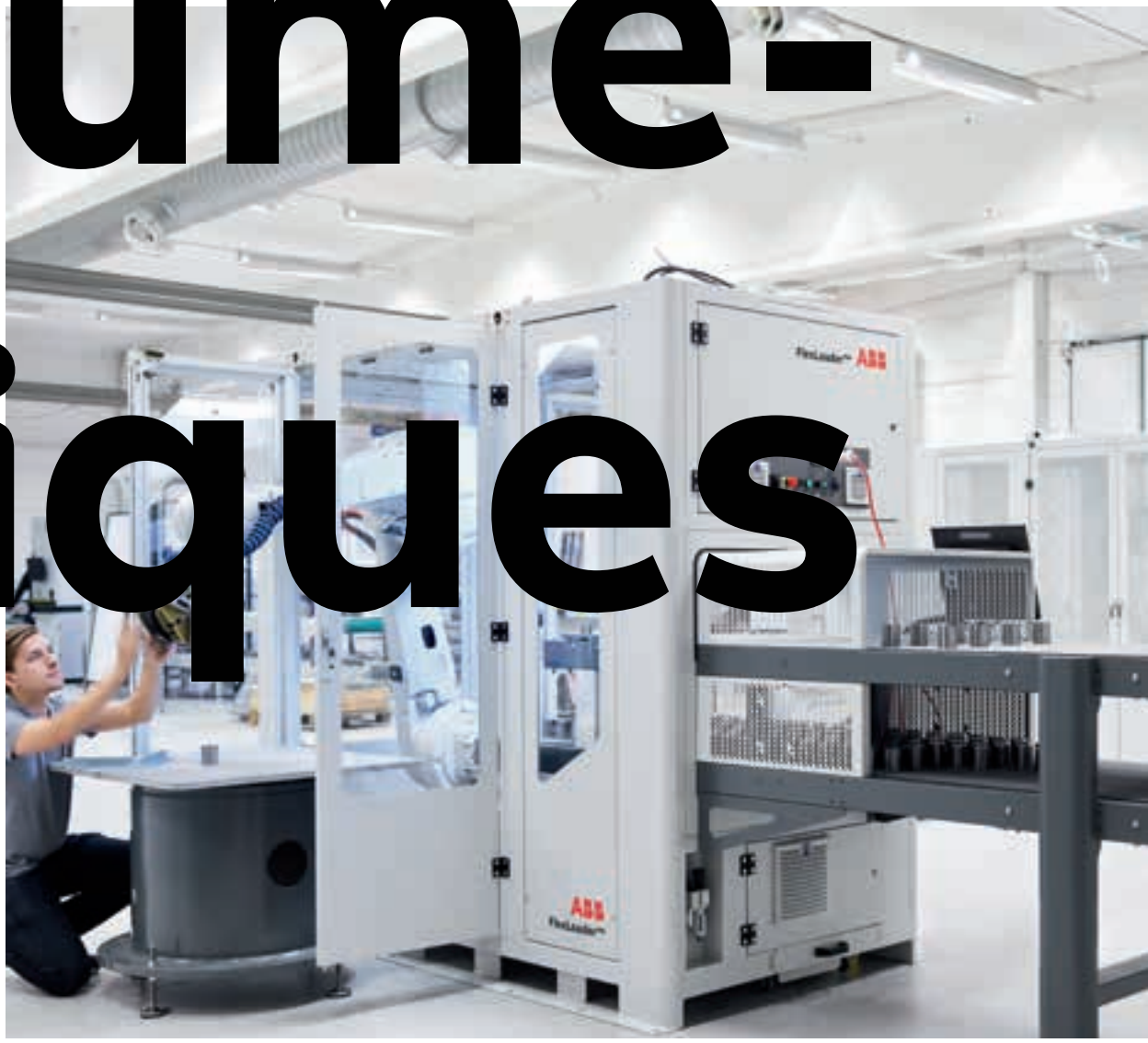
Un jumeau numérique est un double virtuel d'un équipement ou d'un processus qui éclaire et permet de prédire son fonctionnement dans un contexte donné. Il joue un rôle à chaque étape du cycle de vie, de la conception à la configuration en passant par l'exploitation, le diagnostic et la maintenance.

Dans ce numéro, nous vous présentons des exemples de jumeaux numériques qui, grâce au gisement de valeur que constituent les données, lèvent les obstacles à la numérisation et libèrent le potentiel de l'usine en matière de personnalisation, de flexibilité, de productivité et de développement durable.

Bonne lecture,

Björn Rosengren
Directeur général du Groupe ABB

Actifs numé-riques



La quasi-totalité de nos pensées et actions peut être exprimée et étudiée sous forme numérique. Ces données sont autant de précieuses ressources – ou « actifs » – pour améliorer la cadence, la fiabilité et la qualité de la production : une plus-value pérenne ! Avec le jumeau numérique ou la maintenance prédictive, la technologie a l'intelligence infuse.

08 ABB Ability™ Genix optimise procédés et actifs industriels

14 Collaborer pour accélérer la mise sur le marché

20 Jumeau numérique : de l'univers médiatique à la réalité industrielle

26 Le jumeau numérique pour un accès immédiat à vos données produit

32 L'alliance des données du terrain et de l'apprentissage automatique à l'appui de la maintenance prédictive

ACTIFS NUMÉRIQUES

ABB Ability™ Genix optimise procédés et actifs industriels

Cette solution complète et intégrée d'ABB permet aux clients de gagner en productivité, en performance opérationnelle, en qualité produit, en efficience et en sécurité. De quoi se projeter plus facilement dans l'usine 4.0.

Rajesh Ramachandran
Process Automation and ABB Ability
Bangalore (Inde)

rajesh.ramachandran@in.abb.com

Sohrab Bhot
Process Automation Digital
Mumbai (Inde)

sohrab.bhot@in.abb.com

Le monde est-il vraiment prêt pour la révolution numérique ? Une chose est sûre : c'est un impératif pour l'industrie. Que son terrain d'action soit le process, l'énergie ou le secteur hybride, l'entreprise industrielle cumule une multitude d'équipements très complexes, de points d'entrée et de processus rapides, fortement imbriqués.

Dans un contexte économique ultraconcurrentiel, les industriels cherchent par tous les moyens à atteindre l'excellence opérationnelle →01 de façon à fabriquer les meilleurs produits aux plus hautes cadences, avec des équipements performants, fiables et peu coûteux. En poussant les outils productifs au maximum de leurs capacités, les automatismes industriels de dernière génération promettent des gains d'efficacité. Mais cela ne suffit pas. S'ils veulent améliorer la productivité et les processus décisionnels, les industriels doivent puiser dans la profusion de données générées et stockées par les systèmes opérationnels (OT), techniques (ET) et informatiques (IT). De nos jours, tous les acteurs de l'usine, du management aux équipes opérationnelles, reconnaissent le potentiel des ressources numériques et analytiques pour les aider à porter ces ambitions dans un environnement technique et économique compliqué. Encore faut-il savoir par où commencer [1].

Dans un contexte économique concurrentiel, les industriels visent tous l'excellence.

À la pointe de l'innovation, ABB conjugue son immense expérience de l'industrie et de l'automatisation à ses capacités à développer et exploiter le nec plus ultra des technologies numériques pour accompagner les entreprises dans cette transition. C'est dans cette optique que le Groupe a lancé en juillet 2020 la suite ABB Ability™ Genix Analytics and AI : cette palette complète et intégrée de logiciels, d'applications et de services numériques offre des gains de productivité jusqu'à 40 % tout en améliorant la

qualité du produit, la performance et la sécurité. Un sésame pour entrer de plain-pied dans la nouvelle ère industrielle.

Changer la donne

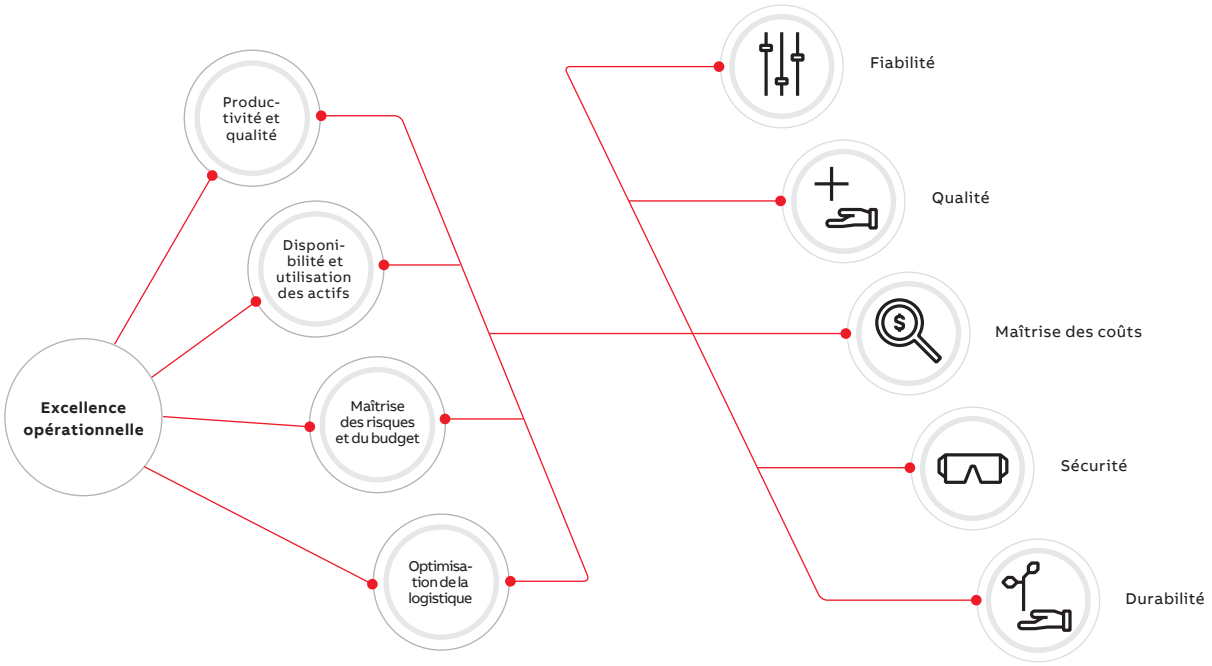
Malgré ces promesses, les entreprises hésitent à franchir le pas. Encore aujourd'hui, elles n'exploitent que 30 % des données produites, ce qui limite leur capacité à mettre efficacement en œuvre une démarche d'analyse avancée et à dégager une plus-value de cette manne informationnelle [2-3]. À l'évidence, reconnaître l'efficacité des technologies numériques est une chose, pouvoir ou vouloir tirer profit de l'incomparable valeur des données associées en est une autre [4]. Pour ABB, ce qui explique la frilosité des industriels n'est pas tant l'absence d'intention que la peur des premiers pas. Une hésitation que conforte la rareté des solutions disponibles qui soient à la fois faciles à mettre en œuvre (gestion minimale des changements, résultats immédiats, etc.) et adaptables aux besoins et préférences de chaque cas d'usage, pertinentes et ciblées.

Or, comme dans tout voyage en terre inconnue, il faut être bien guidé pour savoir où l'on va ! En clair, le monde industriel a besoin d'une solution rapide, configurable, impactante et conforme à la ligne stratégique de l'entreprise. La démarche ABB s'inscrit résolument dans cette volonté d'accompagnement et de soutien du client sur la voie d'une usine numérique plus productive. La stratégie du Groupe s'appuie sur cinq leviers :

—

L'expérience et l'innovation ABB en matière d'automatismes et de technologies numériques favorisent la mue de l'industrie.

- La rapidité de déploiement, pour créer de la valeur ajoutée dans les plus brefs délais ;
- L'intelligence, portée par des fonctions prédéfinies reposant sur une connaissance pointue des filières industrielles ;



01

- La sécurité, garantie par une cybersécurité optimale protégeant les clients des risques de cyberattaque et d'atteinte à la confidentialité des données ;
- La montée en échelle (capacité à diffuser le numérique dans tout le périmètre de l'entreprise) et la souplesse de configuration selon le contexte, les besoins ou préférences ;
- La simplicité, avec une intégration complète et ouverte des données, un haut niveau d'interopérabilité, des affichages et applicatifs intelligibles.

De l'idée à l'action

ABB Ability™ Genix est une plate-forme ouverte, flexible et modulaire, à l'échelle de l'entreprise, qui tire profit de la puissance de l'analytique et de l'intelligence artificielle appliquées à l'industrie pour convertir des données multidimensionnelles en informations exploitables. Elle recueille, compile et contextualise les données issues d'une multitude de sources opérationnelles temps réel (OT), fonctionnelles (IT) et technologiques (ET).

Prenons l'exemple d'un actif critique comme une turbine : les données OT renseignent sur ses performances ; les données ET informent sur son bon ou mauvais fonctionnement au regard des spécifications de conformité en matière d'intégrité et de sécurité d'emploi ; les données IT indiquent comment la maintenir en état avec une stratégie de maintenance et une gestion des pièces détachées adéquates, un plan de prévision des risques et des investissements, etc.

ABB Ability™ Genix est aujourd'hui une puissante plate-forme de collecte et de compilation des données produites en masse par tout l'écosystème industriel, de l'actif - unité élémentaire - à l'entreprise globale et ses acteurs, en passant par l'ensemble de l'appareil productif.

ABB a une solution pour chaque étape du passage au numérique.

Quand les clients ont déjà recours à des actifs de conception et fourniture ABB (analyseurs, instruments, entraînements, moteurs, génératrices, appareillages, groupes propulsifs, turbocompresseurs, etc.), le Groupe est tout désigné pour savoir comment extraire, corréler, mettre en contexte et exploiter au mieux ces données en vue de prédire, d'ouvrir des pistes d'amélioration et de favoriser les débouchés commerciaux.

Or il faut pour cela un nouveau modèle d'analyse unifié, fondé sur l'expertise métier et l'intelligence artificielle (IA). Jusqu'à présent, les équipementiers fournissaient des modèles bâtis sur les équations de la physique et les premiers principes, ce que l'on appelle des « jumeaux numériques ». Les procédés industriels actuels reposent sur le travail à l'unisson de tout un parc d'équipements pour dérouler un procédé. Construire un modèle reflétant une telle com-

—
01 La plus-value tirée de l'exploitation des données est gage d'excellence opérationnelle, de fiabilité, de maîtrise des coûts, de sécurité, de qualité produit et de durabilité.

—
02 Une approche globale intégrant IA et expertise métier optimise les opérations et actifs industriels.

plexité demanderait bien trop d'efforts →02. Certes prometteurs, les modèles d'apprentissage automatique (ML), axés uniquement sur les données, n'en ont pas moins des inconvénients pour l'industrie : ils n'éclairent en effet que sur les conditions et anomalies pour lesquelles le jeu de données a été entraîné. Leur portée est donc limitée dans un contexte industriel où ces situations ne se sont pas encore produites. Pour optimiser les algorithmes, il importe de compléter les modèles IA/ML d'une vaste expertise métier ; c'est l'approche retenue par ABB.

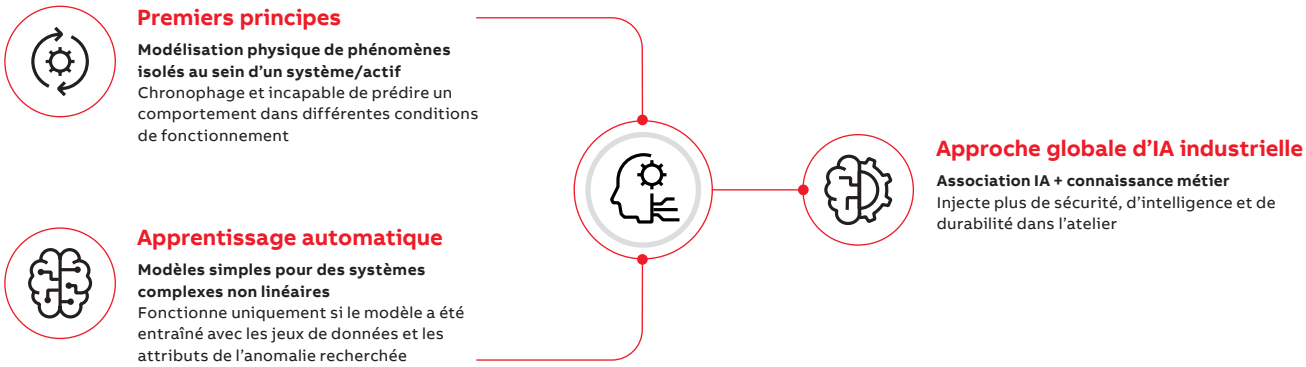
ABB Ability™ Genix est une solution numérique complète et intégrée pour toute l'entreprise.

Libérer le potentiel des données
Depuis trois décennies, nombreux sont ceux à rêver de l'usine autonome. Et si ce vœu devenait réalité ? L'émergence d'équipements capables de fonctionner et de rendre compte automatiquement de leurs performances, estampillés « industrie du futur » a de nouveau enflammé les esprits.

À première vue, l'usine « intelligente » est entièrement pilotée par des automatismes. Cette vision n'est pas complètement fausse. L'explosion des objets/capteurs connectés est l'un des signes tangibles de cette évolution. L'automatisation (avec ABB aux avant-postes) est depuis longtemps reconnue pour apporter qualité, exactitude et précision aux procédés industriels. Pour autant, ce n'est pas l'automatisation en elle-même qui favorise le passage au numérique, mais son poids et son universalisme. Le rôle central revient ici aux données IT/OT/ET, géospatiales et autres, qu'il est impératif de collecter, d'intégrer, de contextualiser, de stocker et d'analyser pour en tirer de précieuses informations sur les fonctions et systèmes de l'entreprise →03.

Chacun des cinq leviers décrits plus haut (vitesse, intelligence, sécurité, etc.) étant tributaire d'une collecte et d'un traitement efficaces des données, bien gérer toute cette chaîne de valeur est indispensable à l'avènement de l'usine numérique. L'intérêt de la démarche est évident : les fournisseurs de solutions consacrent habituellement plus de 80 % de leurs efforts de mise en œuvre à comprendre les process et les sources de données, ainsi qu'à concevoir des méthodes pour capter ces données. Pour autant, cela implique une conduite délicate du changement et un allongement du délai de retour sur investissement, qui poussent invariablement les industriels à déployer la solution sur un nombre limité de points : une approche a minima, sans commune mesure avec la transformation globale de l'entreprise.

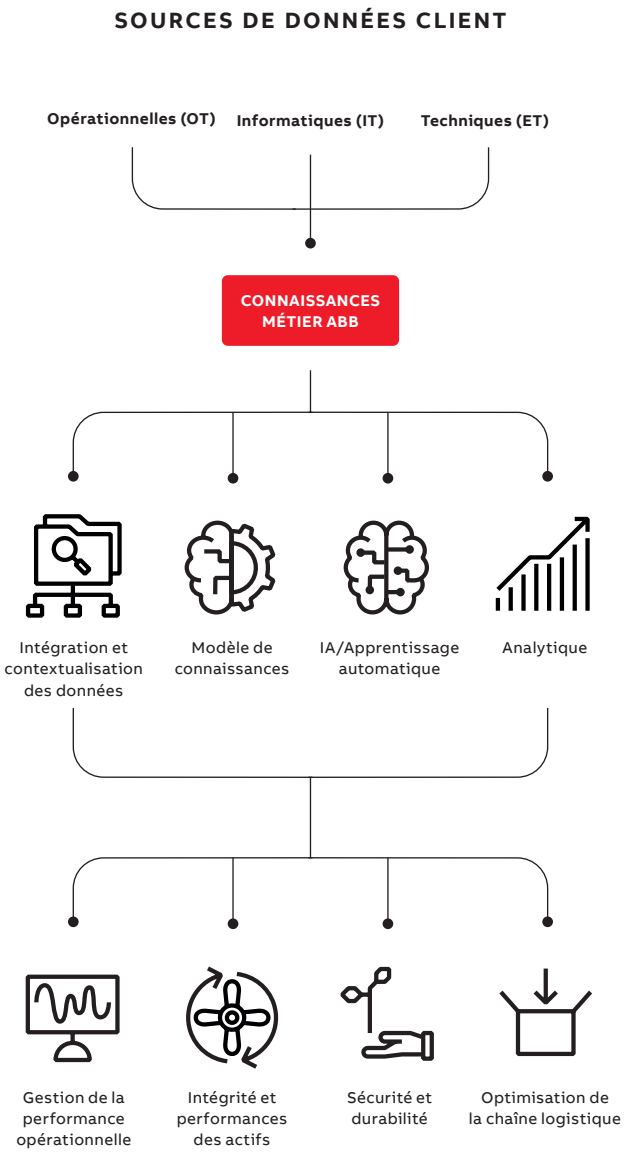
Une intégration transparente et sûre de l'informatique de périphérie constitue un des atouts pour y parvenir. ABB a donc connecté deux puissants outils de son offre numérique Ability : la plate-forme Genix et le logiciel de gestion des données opérationnelles Edgenius. Cette solution globale donne aux industriels un argument de poids pour étendre leur transformation numérique à toute la chaîne de valeur avec, à la clé, des résultats probants : excellence opérationnelle, intégrité et performance des actifs, sécurité, optimisation de la chaîne logistique, efficacité énergétique, durabilité, entre autres.



02

Les données étant le point de départ de chaque maillon de la chaîne, ABB Ability™ Genix et ABB Ability™ Edgenius marient à la perfection les grandes forces du Groupe que sont l'expertise métier et technologique, ainsi que des offres numériques au service de tous ses clients. Car ce qui singularise pour ABB l'analytique industrielle et l'Internet industriel des objets, c'est bien le qualificatif d'« industriel ».

Sauf à intégrer la technologie numérique au cœur du process, l'adoption de l'usine 4.0 prendra du temps et les gains seront limités. ABB rassemble toutes ses compétences et connaissances pratiques de l'industrie pour justifier et concrétiser le passage au numérique.



03

Viser l'exception

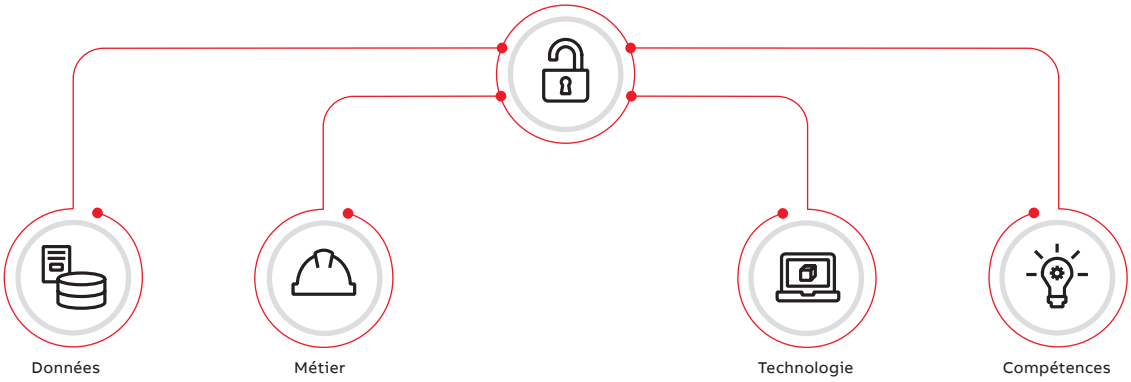
Au terme de cette bascule, les clients bénéficient d'une offre complète, extensible de la périphérie au reste de l'entreprise et facile à déployer dans le cloud, sur site ou dans un modèle hybride. ABB accompagne ses clients avec une solution adaptée à chaque jalon de la transition numérique.

La première étape consiste à introduire des équipements intelligents qui créent une empreinte et des points de données numériques permettant de suivre à la trace, en temps réel ou quasi réel, la santé et la performance des actifs, le procédé et la sécurité. Ce n'est qu'ensuite que l'on peut envisager de mettre en œuvre des solutions créatrices de valeur.

Même si les bénéfices de cette transition sont compris, le doute subsiste parmi les industriels : les programmes s'étendent souvent sur des années et l'ampleur de la tâche peut être dissuasive. Pour lever ces appréhensions, ABB a créé une bibliothèque prédéfinie d'applications analytiques ciblées (détection d'anomalies système, gestion des pertes d'opportunité, encrassement des échangeurs de chaleur, etc.) qui facilitent et accélèrent la création de valeur pour en tirer rapidement des avantages différenciateurs. Son offre numérique combine l'expertise des usages métiers et la connaissance approfondie des données pour faire jouer cinq leviers : la gestion de la performance opérationnelle, la gestion de l'intégrité et des performances des actifs, la sécurité, la durabilité et l'optimisation logistique →04. Néanmoins, pour des bénéfices durables, ces applications doivent s'édifier sur des plates-formes robustes, modulaires et évolutives comme ABB Ability™ Genix, dont la puissance peut être mise à profit pour développer rapidement une analytique ciblée.

> L'essentiel est de collecter, d'intégrer, de contextualiser, de stocker, d'analyser les données… et d'en tirer des enseignements.

La solution de maintenance prédictive pour la propulsion électrique azimutale ABB Azipod®, par exemple, identifie les anomalies potentielles du système et alerte très tôt les équipes d'intervention ; conjointement, les modèles d'IA/ML



OT + IT + ET + convergence spatiale
Élimination des silos au profit d'un lac de données et d'options utilisateur modulaires

Modules analytiques prédéfinis + expertise métier
Très visibles, faciles à comprendre et à exploiter

Plate-forme + services + applications
IA industrielle à chaque étape du processus pour fournir des données exploitables et accompagner la mise en œuvre

04

—
03 ABB Ability™ Genix et ABB Ability™ Edgenius combinent les sources client aux processus d'intégration et de contextualisation des données, aux modèles de connaissances et d'IA/ML, à l'analyse avancée et à l'exceptionnelle expertise métier du Groupe pour générer de la valeur dans toute l'entreprise.

—
04 Modulaire, la solution Genix offre une multitude de choix à l'utilisateur. Ses applications d'analyse prédéfinies fournissent des informations détaillées et facilement assimilables.

anticipent la défaillance. Le moteur de détection d'anomalie et de pré-alarme s'appuie sur l'intégration des données temps réel du groupe propulsif (température des bobinages, vitesse, couple, puissance et température du circuit de refroidissement d'air), pour lesquelles ABB a pu s'appuyer sur sa propre expertise. Selon des études menées sur un démonstrateur, le délai d'anticipation a augmenté de plus d'une heure, permettant de résoudre les éventuels problèmes avant qu'ils ne dégénèrent.

—
ABB préfigure l'essor du numérique, des objets connectés, de l'analyse avancée et de l'IA dans l'usine du futur.

Grâce à leur offre groupée d'applications métiers, ABB Ability™ Genix et ABB Ability™ Edgenius permettent aux industriels de s'approprier sans peine les technologies numériques, les principes 4.0, ainsi que les outils analytiques et IA qui façonnent pas à pas l'usine du XXIe siècle. •

—
Bibliographie

[1] McKinsey, « Unlocking success in digital transformations », disponible sur : https://www.mckinsey.com/business-functions/organization/our-insights/unlocking-success-in-digital-transformations, 29 octobre 2018 (consulté le 7 juin 2021).

[2] Accenture, « Artificial Intelligence », disponible sur : https://www.accenture.com/in-en/insight-artificial-intelligence-future-growth

[3] Gualtieri, M., « Hadoop is Data's Darling for a Reason », Forrester, disponible sur : https://go.forrester.com/blogs/hadoop-is-datas-darling-for-a-reason/, 21 janvier 2016 (consulté le 7 juin 2021).

[4] Charalambous, E., *et al.*, « AI in production: A game changer for manufacturers with heavy assets », McKinsey, disponible sur : https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-analytics/our-insights/ai-in-production-a-game-changer-for-manufacturers-with-heavy-assets, 7 mars 2019 (consulté le 7 juin 2021).

ACTIFS NUMÉRIQUES

Collaborer pour accélérer la mise sur le marché

Pour ABB, s'associer à d'autres chefs de file technologiques est un moyen d'accélérer le développement de solutions. Le partenariat noué avec RE'FLEKT, une jeune pousse allemande spécialisée dans la réalité augmentée, permet aux experts du Groupe d'enrichir les écrans opérateur de masses de données passées au crible de l'analytique.

01

Kim Fenrich
ABB Industrial Automation
Zurich (Suisse)

kim.fenrich@us.abb.com

Dirk Schart
RE'FLEKT
Munich (Allemagne)

ABB est convaincu que l'avenir de l'innovation passe par une démarche ouverte aux apports externes d'universités, d'instituts de recherche, de start-up, etc. C'est pourquoi le Groupe a mis en place divers canaux de collaboration tels qu'ABB Technology Ventures (ATV) et SynerLeap. Ce dernier fournit une expertise et des moyens technologiques destinés à stimuler l'innovation et la croissance dans divers secteurs, là où ATV offre une assise financière et un conseil en modèle économique. Deux approches tout à fait complémentaires puisque ATV a déjà investi dans des entreprises incubées par SynerLeap. Le duo SynerLeap/ATV a renforcé le prestige d'ABB auprès des start-up du monde entier.

Les partenariats technologiques sont pour ABB un moyen d'explorer de nouvelles pistes de progrès.

Pour ABB, ces partenariats sont autant d'occasions de se familiariser avec des technologies émergentes et de découvrir les cas d'usage où elles peuvent apporter une plus-value et contribuer à résoudre les problématiques clients →01.

La jeune pousse RE'FLEKT, qui possède des bureaux à Munich et à San Francisco, illustre à merveille l'intégration d'innovations issues des rangs de SynerLeap dans les produits et solutions ABB. Grâce à la technologie développée par cette pépite de la réalité augmentée (RA), chaque entreprise peut créer ses propres applications de réalité augmentée ou mixte. La collaboration entre ABB et RE'FLEKT vise à introduire la RA dans un large éventail d'applications, au premier rang desquelles la maintenance, la formation et le service.

—
01 Les collaborations externes, comme ici avec la start-up RE'FLEKT, sont un moyen pour ABB d'accéder à une expertise tierce et d'accélérer la mise sur le marché.

Données unifiées
L'automatisation industrielle d'hier passait par de multiples systèmes et réseaux indépendants : autant d'interfaces opérateur avec lesquelles il fallait jongler pour connaître l'état d'un équipement ou d'un procédé donné. La numérisation est allée de pair avec une interconnexion de ces systèmes cloisonnés afin d'agréger et de centraliser les données de production. Restait ensuite à contextualiser ces informations pour leur donner du sens et de la pertinence. C'est là qu'entre en jeu la RA : il suffit à l'opérateur de visualiser un dispositif à travers l'application dédiée pour que celle-ci identifie précisément ce dernier, fournisse toutes les données associées, effectue des analyses poussées, combinées aux données des objets connectés (IoT), voire les enrichisse de d'informations issues de l'intelligence artificielle. La RA a donc sa place à chaque étape du cycle de vie d'un équipement ou d'un site.

—
La réalité augmentée crée déjà de la valeur ajoutée dans la maintenance, la formation et le service.

Vue d'ensemble
La RA est déjà à l'œuvre dans la maintenance, la formation et le service, via notamment les centres ABB Ability™ Collaborative Operations →02. Prochaine étape : la faire pénétrer dans les domaines où elle peut apporter une forte plus-value, comme la conception, le montage ou l'exploitation.

En effet, plus les données agrégées sont nombreuses, plus elles ont du sens et plus les décisions prises sont éclairées. Lier les données de conception et de production, par exemple,

CENTRES ABB ABILITY™ COLLABORATIVE OPERATIONS

À l'ère du numérique, fournisseurs et fabricants doivent collaborer étroitement pour bénéficier de tous les avantages qu'offrent les données massives, l'analytique et la visualisation. ABB a pour cela mis sur pied des structures de téléconduite et télémaintenance qui aident les industriels à récolter les fruits de la numérisation.

Les spécialistes des centres ABB Ability™ Collaborative Operations passent à la moulinette de l'analytique les données d'exploitation pour fournir aux clients des informations propres à éclairer la prise de décision et à optimiser la performance de leur entreprise. Un accès 24 h/24, 7 j/7 à l'expertise et à la technologie ABB : dans le monde entier, ces centres sont équipés d'applications de pointe qui permettent aux équipes ABB de collaborer à distance avec les clients et de s'adapter aux fluctuations rapides de la demande.

Le client peut s'appuyer sur l'infrastructure de cloud ABB Ability™ pour intégrer et agréger ses données, leur appliquer des analyses prédictives et obtenir ainsi une visibilité sur son activité et en améliorer la rentabilité.

Comment cela fonctionne-t-il ? ABB conçoit, à la demande d'un client, un centre de télésurveillance et l'intègre à son centre d'opérations collaboratif. Les données remontées des appareils de terrain sont analysées en vue de rapidement identifier, classer et hiérarchiser les problèmes.

Les échanges entre le site du client, son siège (aux fins d'analyse financière et décisionnelle) et le centre ABB empruntent des protocoles de communication courants.

L'assistance rapide fournie par les solutions de réalité augmentée ABB/RE'FLEKT abaissera nettement les coûts de maintenance, de déploiement et de formation au niveau des centres d'opérations. Les procédures de maintenance détaillées, affichées en temps réel dans l'environnement RA, réduiront les délais de réparation et donc les temps improductifs.

Des ambitions que synthétise Kim Fenrich, responsable produits ABB Simulation : « Les technologies de rupture, comme la réalité augmentée, nous servent à bâtir de nouveaux modèles économiques qui améliorent la performance opérationnelle. En accélérant l'accès à l'expertise, elles bouleversent nos modes de travail avec les clients ». •

Grâce à la plate-forme et à l'infrastructure de cloud ABB Ability™, les clients disposent de fonctions sécurisées d'intégration et d'agrégation des données ainsi que d'analyse prédictive qui leur fournissent de précieuses informations sur leur activité.

02

03

—
03 La solution de RA mise au point par RE'FLEKT réduit les coûts de maintenance, de déploiement et de formation aux débitmètres ABB en guidant pas à pas l'opérateur dans l'environnement d'exploitation réel.

permet de confronter les conditions d'exploitation en cours à la performance attendue. Les opérations se déroulent peut-être comme initialement prévu mais les données conceptuelles

—
La technologie RE'FLEKT permet au jumeau numérique d'exprimer son plein potentiel.

s'avèrent erronées. Le cas échéant, les données opérationnelles peuvent être réinjectées dans les plans d'origine en vue de revoir la conception et garantir que les itérations futures s'appuieront sur des données correctes, conformes à la réalité.

Disposer d'une unique source de données précises, tout au long du cycle de vie, éventuellement étayée d'informations 3D ou de données dynamiques grâce à la RA, rend la formation et le support technique plus accessibles et plus réactifs. La téléassistance s'en trouve simplifiée et l'envoi d'un technicien sur site n'est plus systématique.

Jumeau numérique
Un jumeau numérique est une représentation virtuelle d'un objet ou système, et de son fonctionnement. Parmi les multiples jumeaux interconnectés que compte l'usine, l'opérateur n'a qu'à zoomer sur l'équipement de son choix pour accéder au jumeau correspondant et en tirer des informations détaillées en temps réel →03 qui permettront d'accélérer la résolution des problèmes.

Plus le jumeau numérique dispose de données historiques remontant jusqu'à la phase de conception, plus les gains en matière de performance, de durée de vie, de gestion du changement et de réduction des temps improductifs sont marqués. Imaginons qu'un moteur tombe en panne et que le constructeur, obsolescence oblige, ne dispose plus d'équivalent : le jumeau numérique, assisté de la RA et d'un logiciel de simulation, peut prédire l'impact d'un remplacement par un moteur aux caractéristiques différentes.

La technologie RA mise au point par RE'FLEKT élargit considérablement les potentialités du jumeau numérique.

Premières réalisations
Une nouvelle application pour iPad condense le meilleur du savoir-faire ABB et RE'FLEKT à destination des débitmètres. Baptisée ABB Ability™ Guided Support for measurement devices, elle constitue l'exemple parfait d'une collaboration fructueuse, au bénéfice direct des clients.

04a

04b

04c

Les centaines de milliers de débitmètres ABB en service, tous secteurs confondus, ont des origines très disparates : si certains proviennent directement d'ABB, d'autres ont été installés par des intégrateurs, voire des revendeurs. Difficile dans ces conditions d'avoir une vue d'ensemble du parc ou d'en contrôler la qualité. En cas de défaillance de l'appareil, son utilisateur ne sait pas toujours vers qui se tourner !

ABB possède l'expertise et les contenus 3D pour établir des guides de maintenance dédiés à ces appareils, tandis que RE'FLEKT dispose des compétences en RA pour leur conférer une utilité et une simplicité sans égales. La plus-value de la start-up va bien au-delà de l'agrégation et de la fourniture des données, puisque ses nombreux brevets couvrent tout l'environnement de la RA.

Les débitmètres offraient un excellent cas d'usage pour renforcer la collaboration ABB/RE'FLEKT et confirmer les hypothèses d'ABB sur de petits dispositifs relativement simples, qui ont beaucoup à gagner de la RA. À l'inverse, se lancer dans un projet aussi lourd et complexe qu'un entraînement sans réducteur ou une machine à papier aurait représenté un risque – temporel et financier – considérable.

Les développeurs ayant clairement défini les livrables, fait tourner un démonstrateur et parachevé les phases de mise au point et d'essai, une première application contenant un petit nombre de procédures guidées →04–05 a été proposée aux clients et partenaires commerciaux du Groupe pour obtenir des retours d'expérience. ABB s'est également appuyé sur la plate-forme RA de RE'FLEKT pour concevoir un nouvel outil de téléassistance visuelle et de résolution des

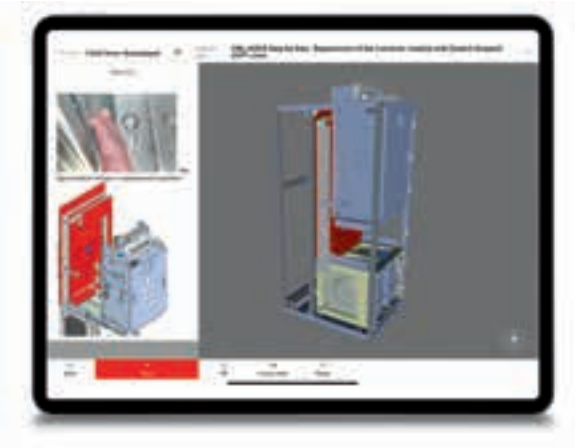
Les débitmètres représentaient un excellent choix pour renforcer la collaboration ABB/RE'FLEKT.

05a

05b

05c

05d



06

07

—
04 Application ABB Ability™ AR Guided Support for measurement devices

04a Écran d'accueil

04b Menu

04c Sélection de l'appareil

—
05 Exemple d'affichage de débitmètre

05a Consignes de sécurité

05b Instructions de démontage

05c Procédure détaillée

05d Vue de l'appareil dans l'environnement réel pour faciliter l'orientation

—
06 Possibilité d'ajout de photos

—
07 Des consignes détaillées sécurisent le maniement de l'appareil.

problèmes, ABB Ability™ Remote Insights for service. Grâce à cette application, les experts de l'assistance ABB voient la même chose que le client sur site.

Commercialisation
En dotant les opérateurs d'outils innovants qui leur permettent d'assurer eux-mêmes la maintenance, de montrer l'intérêt de ces procédures et d'augmenter les performances, ABB renforce la confiance et la fidélisation de ses clients.

L'introduction progressive, en commençant par un démonstrateur, vise à convaincre le marché de la valeur ajoutée des procédures guidées pour la résolution de problèmes concrets. Une condition nécessaire pour emporter l'adhésion de clients et dirigeants potentiels, ce qui à son tour stimulera la création de procédures d'assistance supplémentaires. Plus la gamme des procédures disponibles sera vaste, plus celles-ci deviendront rapidement indissociables de nombreux livrables →06–07.

L'écosystème RA de RE'FLEKT simplifiera grandement le développement, l'introduction et l'utilisation de ces nouvelles fonctionnalités.

Accélérateur de développement
Les centres ABB Ability™ Collaborative Operations et l'écosystème RA de RE'FLEKT associent surveillance en continu et analyse des données à l'affichage temps réel et l'accès immédiat aux informations pertinentes. Les résultats d'analyse et les données de terrain, envoyés au technicien ABB, lui permettent d'assurer la maintenance à distance et de résoudre les problèmes avec efficacité grâce à des procédures détaillées et simples à suivre.

—
La réalité augmentée devrait progressivement gagner et valoriser de plus en plus de produits et services ABB.

La RA selon RE'FLEKT ne se limite pas au support client mais accompagne aussi la création de manuels et de téléservices ABB qui intégreront la RA dès leur conception, tout comme des procédures de remplacement de pièces, directement déployables sur site. ABB y gagne sur trois plans : déroulement des tâches, compétences des techniciens et satisfaction client.

La réalité augmentée devrait progressivement gagner et valoriser de plus en plus de produits et services ABB. Le plein potentiel sera atteint une fois que les données de l'équipement et celles du client seront totalement intégrées ; ce qui n'est pas encore pour demain.

Les plates-formes innovantes de RE'FLEKT placent l'humain au cœur de la techno et mettent la réalité augmentée et mixte à la portée des entreprises. Une opportunité dont a su se saisir ABB pour instiller son expertise industrielle dans des solutions taillées sur mesure pour ses clients. •

Crédit photo : Gorodenkoff/stock.adobe.com

ACTIFS NUMÉRIQUES

Jumeau numérique : de l'univers médiatique à la réalité industrielle

La numérisation croissante de l'industrie et l'essor des objets connectés font du jumeau numérique un élément central de l'usine du futur. Comment ces doubles virtuels pourront-ils améliorer les technologies numériques, doper le développement et la normalisation des architectures, et créer de nouveaux cas d'usage et modèles économiques ?

—
01 Véritables moteurs de l'usine 4.0, les jumeaux numériques sont souvent définis en fonction de leur environnement d'exploitation.

Somayeh Malakuti
ABB Corporate Research Center
Ladenbourg (Allemagne)

somayeh.malakuti@de.abb.com

Si les industriels utilisent depuis belle lurette des maquettes numériques pour modéliser les informations portant sur la totalité du cycle de vie de leurs actifs, c'est en 2003 que le terme de « jumeau numérique » apparaît dans la bouche d'un conférencier universitaire. Les définitions se sont depuis multipliées, chacune mettant l'accent sur un usage spécifique →01. Ces derniers temps, plusieurs organismes, dont l'IIC (Industrial Internet Consortium) auquel contribue ABB, ont tenté d'étendre la définition du jumeau numérique au-delà du périmètre de ces applications. Pour l'IIC, par exemple, le jumeau numérique est la représentation d'une entité (équipement, atelier de production, usine) répondant aux exigences d'un ensemble donné de cas d'usage [1,2]. Cette définition a deux implications :

- Si beaucoup apparentent le jumeau numérique à l'Internet industriel des objets (IIoT), la définition ne mentionne pas cet aspect puisque la notion même de jumeau (et non le terme) est antérieure à l'ère de l'usine connectée ;
- Les jumeaux numériques devraient être abordés sous l'angle des cas d'usage, lesquels déterminent les données, modèles, calculs et offres de services correspondantes.

Le jumeau numérique dans l'industrie

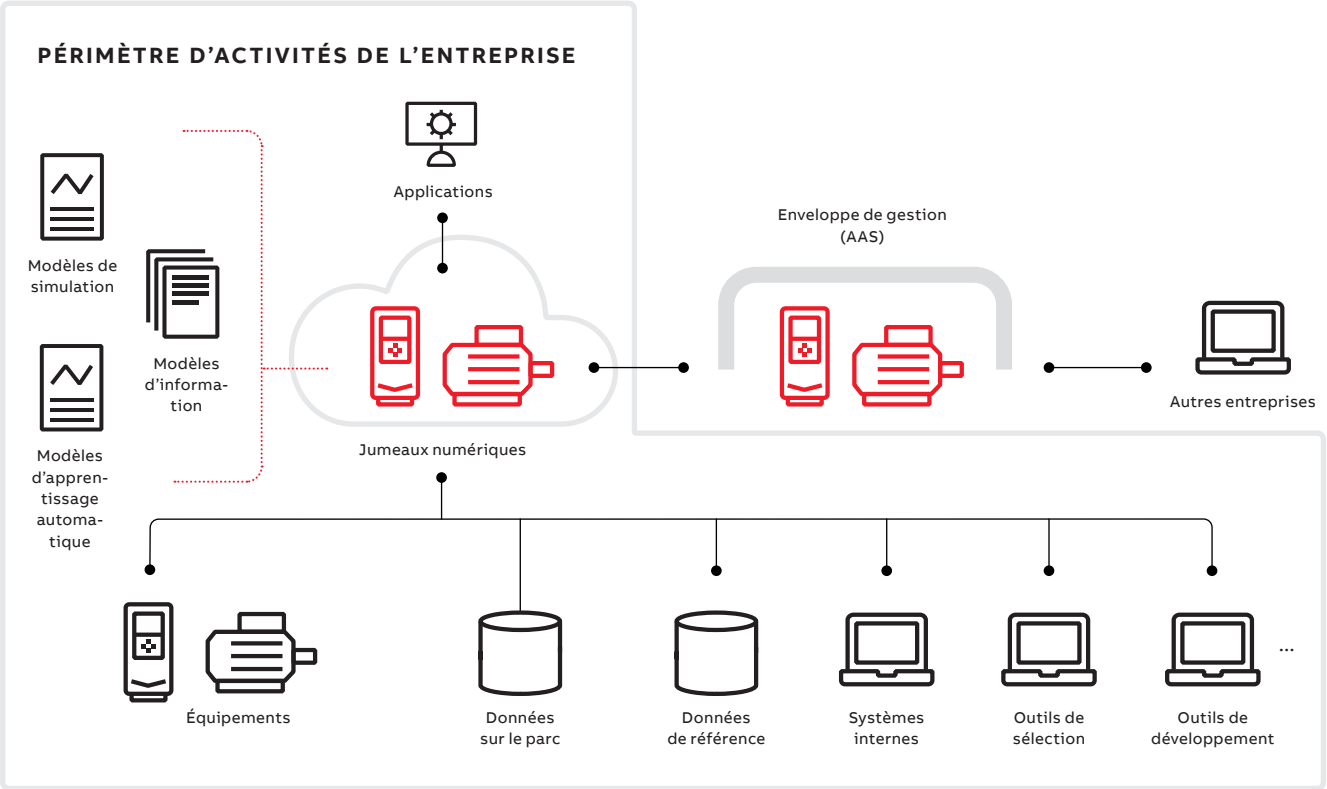
Les données sur le cycle de vie des équipements industriels peuvent être classées en données techniques (ET), informatiques (IT) et opérationnelles (OT). Elles sont souvent stockées en différents endroits et formats du fait des exigences fonctionnelles du produit, des besoins de l'utilisateur, des fusions d'entreprises, etc. →02.

—

Le jumeau numérique offre un modèle commun d'information permettant de définir des données ET, IT et OT sinon incompatibles.

Il en résulte des « silos » obligeant à multiplier les niveaux d'accès - ce qui est contraire à l'interopérabilité - mais aussi les échanges manuels, toujours fastidieux, et les erreurs qui en découlent. Devoir consolider ces données en vue de traitements analytiques complique l'affaire.

Qu'il soit déployé en local ou dans le cloud, le jumeau numérique est à même de faire sauter ces verrous en offrant un modèle commun d'information pour définir des données ET/IT/OT sinon incompatibles. Ce modèle sert de base aux interfaces de programmation (API) qui permettent d'accéder à ces informations et de définir des



02

corrélations sémantiques entre jeux de données habituellement épars. Le jumeau numérique peut ainsi offrir des API unifiées pour interroger plusieurs types de données de cycle de vie, indépendamment de leur lieu de stockage (cloud ou sources externes) [4].

Il est également possible de renforcer le niveau de maturité du jumeau en mettant en relation différents modèles imbriqués dans le jumeau et en approfondissant le raisonnement déduit de cette information →03. Mieux encore, le contenu du jumeau numérique peut s'enrichir de modèles de simulation et d'apprentissage automatique, qui ont pour effet d'accroître son « intelligence » et d'améliorer son raisonnement sur l'état du double physique, mais aussi d'étayer la simulation temps réel. On peut affiner les cas d'usage en combinant une multitude de modèles qui déboucheront, par exemple, sur des simulations aptes à prédire l'état d'un actif.

À l'ère des objets connectés, des technologies comme le cloud, l'informatique de périphérie, la 5G et la réalité augmentée font franchir un nouveau cap au jumeau numérique en lui ouvrant les portes du développement d'architectures normalisées, de la création d'interactions homme-machine innovantes et de la construction de nouveaux modèles économiques →04.

Ces progrès sont le terreau de nouvelles applications : gestion intégrée de l'information sur toute la chaîne de valeur de l'entreprise, développement intégré dans le cloud, configuration automatique d'équipements de terrain en « prêt-à-produire », assistance sur site virtuelle, etc. Intégrer les jumeaux numériques au cœur des automatismes promet d'alléger et d'écourter la mise en service mais aussi les délais de mise en production. Voyons deux exemples concrets pour illustrer ces bénéfices.

Développement intégré dans le cloud

Plutôt que de couvrir tout le périmètre d'activités de l'entreprise →02, concentrons-nous sur l'utilisation du jumeau numérique pour échanger des données entre outils. On peut par exemple stocker

—

Le jumeau numérique promet d'alléger la mise en service et d'écourter les délais de mise en production.

les paramètres d'équipements utilisés en amont sous forme de modèle dédié, au sein du jumeau dans le cloud ; l'outil de développement ira ensuite puiser dedans pour initialiser correctement

—
02 Le jumelage numérique met fin aux données en silos.

—
03 Niveaux de maturité du jumeau numérique

ses paramètres. Le jumeau numérique autorise également la sauvegarde de ces données dans le nuage et leur restitution.

Le « prêt-à-produire » sur le terrain
Configurer ou remplacer des équipements de production sont souvent des tâches laborieuses qui obligent à compiler des informations multisources, en différents formats et potentiellement non standardisées. En revanche, le jumeau numérique permet de bâtir des appareils de terrain prêts à produire, plus vite mis en service. La détection automatique de l'appareil et l'informatique dans le cloud, associées à des formats d'échange normalisés, tels que AutomationML et OPC UA, peuvent servir à reconnaître les participants au réseau, à mettre en correspondance paramètres de développement et d'exploitation, ainsi qu'à charger les bons paramètres du cloud dans les appareils. Si le remplacement d'un actif physique requiert encore un personnel qualifié, le jumeau numérique permet une reconfiguration immédiate, sans expertise du matériel ou du procédé.

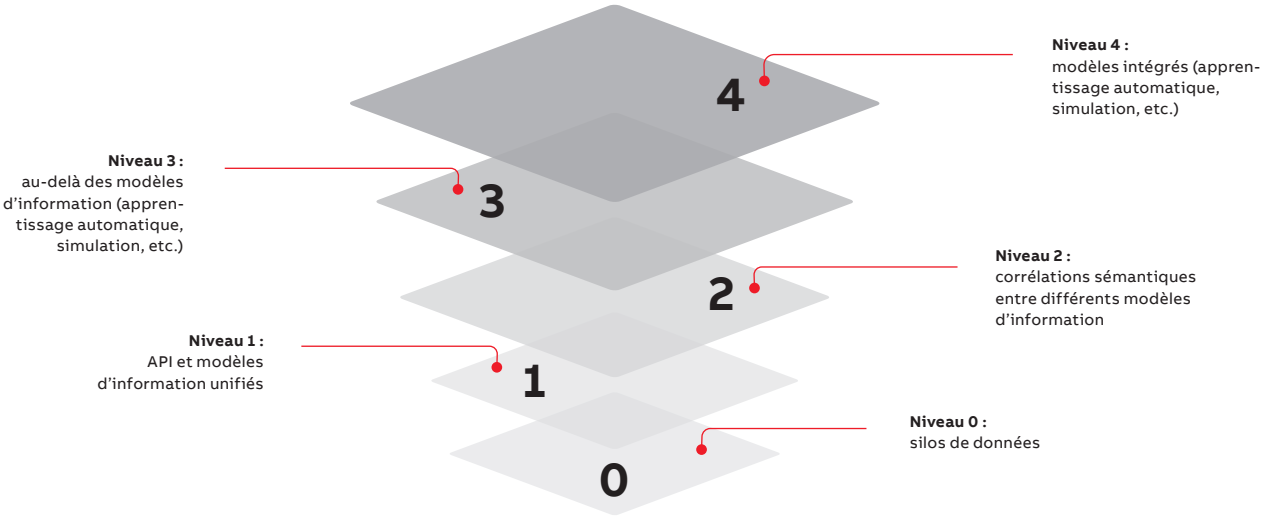
Normalisation et initiatives de progrès
Le jumeau numérique fait aujourd'hui l'objet de plusieurs travaux de normalisation. La technologie des « aspects » d'objet, par exemple, normalisée CEI 81346, spécifie les principes et règles de structuration des informations portant sur diverses vues (produit, fonction, emplacement, etc.) d'un système industriel. La CEI 62832 définit un « cadre de l'usine numérique » avec, en son centre, la représentation des actifs de production, même si cette représentation n'est pas à proprement parler un jumeau numérique.

L'enveloppe de gestion AAS est gage d'interopérabilité.

D'autres initiatives ont vu le jour ces derniers temps : le standard IEEE P2806 entend définir l'architecture système des représentations numériques d'objets physiques dans l'environnement de production, en mettant l'accent sur les exigences de connectivité et les attributs de données de l'intelligence artificielle dans l'industrie. Idem pour la norme ISO/AWI 23247 et son architecture de référence, qui plaident pour le développement du jumeau numérique dans l'industrie.

Si les entreprises proposent souvent des solutions isolées, bon nombre de cas d'usage pourraient bénéficier des échanges d'informations entre jumeaux de différents constructeurs. Dans cette optique, la plate-forme allemande Industrie 4.0 a défini une « enveloppe de gestion de l'objet physique », ou AAS (Asset Administration Shell), pour promouvoir l'interopérabilité sur toute la chaîne de valeur industrielle [3].

Vont également dans ce sens les travaux d'une pléiade d'organismes : l'IIC ; l'association d'utilisateurs IDTA (Industrial Digital Twin Association), orientée open source ; le Digital Twin Consortium [5],



03

autorité référente du jumeau numérique dans le monde, qui prône un vocabulaire, une architecture, une sécurité et une interopérabilité cohérents et uniformes ; l'OMP (Open Manufacturing Platform) [6], partisan de solutions indépendantes de la plate-forme du constructeur ; enfin, le projet franco-allemand GAIA-X [7], qui place l'interopérabilité au niveau des modèles d'information ainsi que les jumeaux numériques au centre de son objectif de construction d'infrastructure de données fiable et sécurisée pour l'Europe.

Nouveaux modèles économiques
Le jumeau numérique pose les fondations de nouveaux services et plates-formes collaboratives, plus accessibles et plus performants. De nombreuses erreurs de fabrication étant dues à des données incorrectes ou caduques, disposer d'un moyen consensuel d'obtenir et d'échanger des informations sur l'équipement facilite le travail collaboratif tout au long de la vie du produit [8] →05.

Un moyen d'accès aux données et d'échange universel facilite l'ingénierie collaborative.

Comparé à l'actif physique, le jumeau numérique et tous ses aspects sont rendus largement accessibles, moyennant les mesures adéquates de cybersécurité, sous forme d'applications de service XaaS (X-as-a-service) dans le cloud. De plus, l'accès intégré aux données ET/IT/OT via les API du jumeau permet de définir à ce niveau les accès et règles d'usage. Ce mode de gestion évite d'avoir à fixer des règles pour chaque source et facilite l'élaboration de politiques d'utilisation des données du jumeau à l'intention des consommateurs externes.

Toutes ces avancées confortent le rôle capital du jumeau numérique dans la transition vers l'industrie du futur. Au travers de moult projets, partenariats et participations à des consortiums et plates-formes comme ICC et Industrie 4.0, ABB entend figurer au premier rang des contributeurs à la définition et à la normalisation des jumeaux numériques.•

—
04 Panorama des technologies, caractéristiques et applications du jumeau numérique

—
05 Le jumeau numérique peut élargir l'accès aux données sur le parc d'équipements et aider à supprimer les données incorrectes ou datées, sources d'erreurs de fabrication.

05

—
Bibliographie

[1] Industrial Internet Consortium, « Digital Twins for Industrial Applications », livre blanc disponible sur : https://www.iiconsortium.org/pdf/IIC_Digital_Twins_Industrial_Apps_White_Paper_2020-02-18.pdf (consulté le 10 février 2021).

[2] Industrial Internet Consortium et Plattform Industrie 4.0, « Digital Twin and Asset Administration Shell Concepts and Application in the Industrial Internet and Industrie 4.0 », livre blanc disponible sur : https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/Digital-Twin-and-Asset-Administration-Shell-Concepts.pdf (consulté le 10 février 2021).

[3] Plattform Industrie 4.0, « Details of the Asset Administration Shell – Part 1: The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0 », disponible sur : https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Details_of_the_Asset_Administration_Shell_Part1_V3.html (consulté le 10 février 2021).

[4] Malakuti, S., *et al.*, « Software Architecture: A Four-Layer Architecture Pattern for Constructing and Managing Digital Twins », Springer International Publishing, p. 231–246, 2019.

[5] Digital Twin Consortium, https://www.digitaltwinconsortium.org/

[6] Open Manufacturing Platform, https://open-manufacturing.org/

[7] « GAIA-X: A Federated Data Infrastructure for Europe », disponible sur : https://www.data-infrastructure.eu/GAIAX/Navigation/EN/Home/home.html

[8] Malakuti, S., *et al.*, « Digital Twin: An Enabler for New Business Models », *Automation 2019*, juillet 2019.

01

ACTIFS NUMÉRIQUES

Le jumeau numérique pour un accès immédiat à vos données produit

Les sites de production peuvent abriter des milliers de dispositifs, qui engendrent autant de manuels, fiches techniques, schémas, notes et certificats, etc. Un démonstrateur ABB s'appuie sur les technologies 4.0 pour faire de cette montagne de données une documentation complète, à jour et accessible tout au long du cycle de vie du produit.

—
01 L'usine du futur sera dotée d'outils facilitant la gestion documentaire des milliers d'actifs que compte le parc industriel.

—
02 Exemple d'AutoID apposé sur une sonde de température : le QR Code contient le lien URL permettant d'accéder à la page web du fournisseur.

L'information accompagne le produit à toutes les étapes de sa vie, de sa conception à son retrait de service et recyclage en passant par son installation, son exploitation et sa maintenance. Ces données étant créées, classées et actualisées à la main, localiser la documentation pertinente est souvent un casse-tête ! D'autant qu'une usine, même de taille moyenne, peut accumuler plusieurs milliers de documents épars →01. Automatiser l'administration de ces flots documentaires soulève bien des questions : comment identifier chaque équipement sans équivoque, fournir des documents directement lisibles, clarifier l'information, standardiser les métadonnées et mécanismes de mise à jour, etc. ?

—
Le jumeau numérique facilite l'échange d'informations entre les outils du client, les bases de données ABB et les autres systèmes.

Heureusement, les progrès accomplis dans la spécification 4.0 des jumeaux numériques industriels promettent de lever ces barrières. Le jumeau offre une solution interopérable pour gérer les informations produit dématérialisées d'un bout à l'autre de la chaîne industrielle, depuis la conception et la certification de l'équipement jusqu'à son exploitation et sa maintenance sur le site client, en passant par la production, la logistique, le transport et la distribution.

Dans cet article, nous verrons comme ces doubles virtuels peuvent aider à résoudre les problématiques d'échange d'informations entre les outils du client, les bases de données ABB et d'autres systèmes.

Une plaque signalétique électronique
En 2018, ABB fut invité à soutenir une initiative européenne visant à créer un système d'identification « intelligent » pour tous les équipements du process, des capteurs aux grosses machines sur mesure. Une identification robuste et sûre est en effet primordiale pour fournir des informations sur le parc industriel.

02 https://id.abb/9AAC129110?SN=3K650000554982

ABB a travaillé avec plus de 50 partenaires, fournisseurs et clients pour formaliser ce système d'identification automatique, ou « AutoID », qui devait déboucher sur la spécification allemande DIN SPEC 91406, puis être retranscrit dans une norme internationale CEI 61406.

Le principe est aussi simple qu'efficace puisqu'un identifiant de produit unique au monde, lisible par machine, suffit pour :
- distinguer et référencer n'importe quel appareil portant ce marquage ;
- créer, traiter, stocker tout type d'information se rapportant à l'objet physique en question.

Pour éviter d'avoir à vérifier l'unicité du code auprès d'une autorité centralisatrice, le code est en deux parties : la première désigne le fournisseur et la seconde, attribuée par ce dernier, est spécifique à son domaine. Le recours aux adresses web (URL) a permis de relever ce défi.

L'AutoID se matérialise par un code 2D (QR Code ou Datamatrix) que l'on peut scanner avec un lecteur optique ou flasher avec un smartphone. Il fonctionne aussi avec des puces RFID (radiofréquence) ou sans contact NFC (communication en champ proche) lorsque la détection optique est impossible.

L'URL contenue dans le QR code de l'AutoID →02 envoie directement l'utilisateur vers la page web

—
Sten Grüner
Marie Platenius-Mohr
ABB Corporate Research Center
Ladenbourg (Allemagne)

sten.gruener@de.abb.com
marie.platenius-mohr@de.abb.com

Tilo Merlin
ABB Process Automation Measurement & Analytics
Francfort (Allemagne)

tilo.merlin@de.abb.com

Kai Garrels
ABB Electrificiation
Heidelberg (Allemagne)

kai.garrels@de.abb.com

Michael Klipphahn
ABB Motion Service, Smart Solutions
Global R&D
Ladenbourg (Allemagne)

michael.klipphahn@de.abb.com

03

du fournisseur renfermant toutes les informations pertinentes sur le produit.

Des systèmes d'information multisources

Le vaste portefeuille de systèmes et solutions ABB s'accompagne d'informations spécifiques, classées par type de produit, que l'on peut retrouver dans plusieurs sources exploitables par une machine :

- La bibliothèque en ligne ABB Library héberge des brochures commerciales et techniques, des logiciels, des vidéos et d'autres documents relatifs aux produits et services du Groupe ;
- Le système de gestion d'informations produit PIM est un entrepôt de données de référence multilingues, destiné à renseigner les clients sur les offres, produits et pièces ABB ;
- L'application du même nom fournit des services web et permet d'exporter des données produit en XML et des arbres de classification vers des applications aval ;
- L'application PIS (Product Information Services) assure une navigation, une recherche, une sélection et une présentation uniformisées des offres ABB. Elle alimente également de multiples applications internes et externes en aval.

Toutes ces sources sont exploitées par le démonstrateur d'échange d'informations produit ABB, décrit dans la suite de cet article.

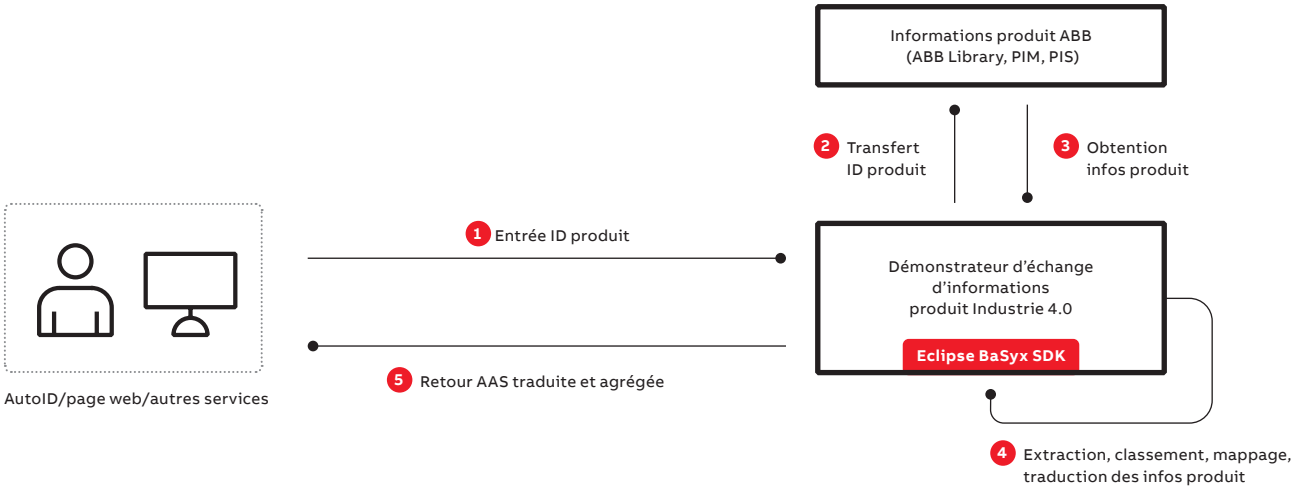
Des formats aux normes

Disposer d'informations certes numériques mais hétérogènes ne saurait suffire à la libre circulation des données et à la fluidité des échanges d'un bout à l'autre de l'entreprise.

Il faut pour cela que les caractéristiques techniques des équipements fournis au client soient univoques. La normalisation y veille avec des dictionnaires sémantiques prédéfinis, comme le standard pour la classification et la description explicite des produits et services ECLASS [1] ou le dictionnaire de données communes (CDD) de la CEI [2]. Ces référentiels classent les équipements par type (sonde de température, par exemple) avec leurs propriétés (masse, hauteur) et valeurs →03. La définition, elle-même normalisée CEI 61360, contient une description directement lisible par l'humain, un format de données et un identifiant « sémantique » unique.

Les caractéristiques techniques d'un équipement fournies au client doivent être sans équivoque.

En matière de documentation, la norme allemande VDI 2770 définit un modèle d'information



04

—
03 Exemple de définition ECLASS d'un indice de protection IP avec les valeurs admissibles correspondantes (source de la capture d'écran : [1])

—
04 Déroulement des échanges d'informations produit dans le démonstrateur ABB

—
05 Les jumeaux numériques facilitent grandement l'échange d'informations produit entre les outils du client .

pour grouper les documents électroniques et les enrichir de métadonnées. L'objectif n'est pas seulement de structurer une documentation multilingue mais de fournir un outil de recherche, de classement et de révision efficace de cette information.

Place au jumeau numérique industriel
La plate-forme Industrie 4.0 repose sur trois grands principes directeurs : l'interopérabilité, l'indépendance vis-à-vis du fournisseur et l'ouverture des échanges d'informations sur tout le cycle de vie produit et dans toutes les sphères de l'entreprise.

Cette vision de déploiement interopérable du jumeau numérique dans l'industrie prend techniquement forme avec le concept d'« enveloppe de gestion de l'objet physique », ou « AAS » (Asset Administration Shell). Une démarche orchestrée par le consortium allemand Plattform Industrie 4.0, regroupant des industriels et entreprises informatiques, des associations professionnelles, des universités et instituts politiques, ainsi que l'IDTA (Industrial Digital Twin Association). Leurs travaux portent actuellement sur la normalisation de sous-modèles dédiés à la réutilisation et à la cybersécurité pour assurer la gestion d'accès. De même, un comité technique de la CEI (TC65 WG24) œuvre efficacement à la normalisation internationale de l'AAS applicable à l'industrie.

Dans l'usine 4.0, on entend par « actif » toute entité physique ou virtuelle ayant une valeur pour l'entreprise. Dans le cadre de notre article, ce terme désigne les équipements industriels et leur typologie. Le jumeau numérique est toujours lié à un actif, auquel il ajoute une représentation virtuelle des informations correspondantes, pour des cas d'usage bien précis, comme par exemple l'échange d'informations produit. Les informations collectées pour un usage spécifique de l'actif associé constituent un « sous-modèle ».

Le jumeau numérique industriel se compose d'un modèle d'information indépendant de la technologie et de projections (« mappages ») sur des implémentations techniques adaptées à la phase du cycle de vie en question. Au stade de la spécification d'une application, par exemple, le jumeau peut prendre la forme d'un ensemble de fichiers ; ces mêmes informations, aux étapes ultérieures du cycle de vie (suivi de production et maintenance, etc.), s'échangeront via une interface web.

—
Les travaux en cours portent sur la normalisation et la réutilisation des sous-modèles.

Recherche jumeau numérique
Les constructeurs seront amenés à gérer les enveloppes AAS de leurs produits. Des registres, semblables à un annuaire téléphonique, permettent de trouver et d'identifier une AAS à partir de l'identifiant d'un actif. À défaut, il est possible de rechercher ou d'interroger le contenu d'une AAS en spécifiant certaines de ses propriétés.

05

Démonstration à l'appui
Le démonstrateur d'échange d'informations produit d'ABB met en œuvre tous les outils décrits dans les paragraphes précédents.

Pour commencer, il utilise en entrée l'identifiant produit contenu dans l'AutoID pour interroger les sources ABB Library, PIM et PIS (infos produit, documentation, images) →04. Les données extraites sont ensuite allouées à différents sous-modèles de jumeau numérique et, au besoin, mises au format interne de ce dernier. Les identifiants sémantiques de type ECLASS sont également pris en compte. Enfin, le jumeau est traduit et enveloppé dans une AAS, puis restitué à l'utilisateur sous forme de fichier →05.

—

Le démonstrateur ABB prouve que les outils d'Industrie 4.0 fonctionnent en synergie pour lever les obstacles rencontrés jusqu'ici.

L'éditeur et afficheur d'enveloppes de gestion AASX Package Explorer →06, bâti sur les spécifications Industrie 4.0, permet de visualiser le contenu d'un fichier AAS avec, à gauche, la photo du produit, au centre, l'arborescence des sous-modèles et de leur contenu, et à droite, les détails de l'élément sélectionné (ici, les manuels et guides constituant le sous-modèle Documentation).

Le démonstrateur ABB prouve que les outils Industrie 4.0 fonctionnent en synergie et sont à même de lever les obstacles évoqués en début d'article :

- Le type de produit d'un équipement est identifié par un AutoID unique ;
- L'information produit est accessible au format numérique, lisible par la machine, à partir des systèmes d'information ABB ;
- L'information est convertie aux formats standard ECLASS, CDD de la CEI ou VDI 2770 ;
- L'information est agrégée dans un jumeau numérique industriel et mise en œuvre par une AAS ;
- Le jumeau peut être identifié, et son contenu téléchargé à l'aide de l'AutoID.

Le rôle moteur d'ABB
ABB a beaucoup contribué à l'évolution du concept de jumeau numérique, comme en témoignent ses premières communications sur les systèmes cyber-physiques et l'enveloppe de gestion AAS [4-5]. Depuis 2017, ABB pilote le groupe de travail « Architecture de référence et normalisation » d'Industrie 4.0, lequel a finalisé les premières spécifications AAS en 2019.

Dès 2016, le Groupe participait aux projets de recherche BaSys 4.0 et 4.2 [6] pour définir et mettre en pratique les premières enveloppes de gestion AAS au sein d'un consortium de chercheurs et d'industriels.

À la Foire de Hanovre 2019, ABB a présenté le premier démonstrateur capable de fournir toutes les informations concernant un groupe motopropulseur (ensemble moteur-variateur), à partir des données issues des fiches techniques du produit, des outils de développement, de

06

—
06 Vue du jumeau numérique du produit avec son identifiant, ses données et sa documentation technique
—
07 L'émergence de systèmes de production hybrides pose un nouveau défi à l'échange d'informations entre outils du client, bases de données ABB et autres systèmes. L'ambition est d'intégrer la totalité des sources et flux de données.

07

—
ABB travaille en permanence à la normalisation et à la mise en œuvre du jumeau numérique dans l'industrie.

configuration et de surveillance en ligne, le tout agrégé dans une AAS stockée dans le cloud. Lors du salon SPS IPC Drives 2019, rendez-vous des fabricants d'automatismes et systèmes d'entraînement, le Groupe a présenté une plaque signalétique numérique interopérable dans un consortium fédérant un grand nombre d'industriels et d'organismes de recherche.

ABB travaille en permanence à la normalisation et à la mise en œuvre du jumeau numérique dans l'industrie. Aujourd'hui, ses efforts portent notamment sur l'application pratique des concepts Industrie 4.0 au service de l'automatisation des procédés et de la production modulaire, par exemple en définissant un sous-modèle destiné à l'interface de module de procédé « MTP » (Module Type Package) [7]. Ambition ultime ? Faire émerger des systèmes de production hybrides mutualisant équipements, procédés et normes du manufacturier et du process →07. •

—
Bibliographie

[1] https://www.eclasscontent.com/

[2] http://cdd.iec.ch/

[3] https://github.com/admin-shell-io/aasx-package-explorer

[4] Wagner, C., *et al.*, « The role of the Industry 4.0 asset administration shell and the digital twin during the life cycle of a plant », *22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) 2017*, disponible sur : https://doi.org/10.1109/ETFA.2017.8247583 (consulté le 2 février 2021).

[5] Industrial Internet Consortium et Plattform Industrie 4.0, « Digital Twin and Asset Administration Shell Concepts and Application in the Industrial Internet and Industrie 4.0 », livre blanc disponible sur : https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/Digital-Twin-and-Asset-Administration-Shell-Concepts (consulté le 2 février 2021).

[6] http://www.basys40.de

[7] Stark, K., *et al.*, « Automatisation modulaire des procédés - 1re partie : concept et développement », *ABB Review*, 2/2019, p. 72-77.

ACTIFS NUMÉRIQUES

L'alliance des données du terrain et de l'apprentissage automatique à l'appui de la maintenance prédictive

Comment l'intelligence artificielle peut-elle renforcer la maintenance prédictive des actifs industriels critiques ? C'est justement l'objet de la démarche ABB : originale sans perdre le lien avec le concret, elle associe connaissances du domaine et algorithmes d'apprentissage automatique.

Jinendra Gugaliya
Ancien collaborateur ABB

Will Leonard
ABB Energy Industries
Cambridge
(Royaume-Uni)

will.leonard@
gb.abb.com

Peter Damer
ABB Energy Industries
St Neots (Royaume-Uni)

peter.damer@
gb.abb.com

Maurizio Barabino
ABB Energy Industries
Gênes (Italie)

maurizio.barabino@
it.abb.com

Les industriels du procédé (raffineurs, cimentiers, énergéticiens, etc.) s'appuient sur de nombreux équipements critiques : moteurs, pompes, ventilateurs, compresseurs, turbines, entre autres, doivent fonctionner 24 heures sur 24 pour assurer la continuité de la production. D'où l'importance de garder ces machines au meilleur de leur forme et d'éviter toute défaillance malgré l'inévitable usure. La maintenance de l'outil productif peut alors être planifiée, en vue de remplacer certains composants et lubrifier des pièces mobiles à date fixe, ou bien réactive, pour remédier après coup à une défaillance constatée sur la machine. Ce dernier mode est évidemment très coûteux pour les entreprises : une récente étude du cabinet de conseil ARC [2] évalue entre 3 et 5 % de la production la perte causée par les arrêts non planifiés. Alors qu'il suffirait d'une hausse de 1 % du taux d'utilisation des équipements pour faire gagner aux industriels plusieurs millions de dollars ! Sans compter que les entreprises du secteur de l'énergie consacrent quelque 40 % de leurs dépenses d'exploitation à la maintenance planifiée et non planifiée de seulement 20 % de leurs actifs… Prévoir les interventions de maintenance présente de sérieux avantages car les pannes et défaillances risquent non seulement d'interrompre la production, mais aussi de mettre en danger le personnel, les autres machines ou l'environnement [3–4].

La maintenance prend elle aussi le virage du numérique et ABB est à l'avant-garde de ce changement de paradigme.

Avec l'avènement de l'usine du futur, le développement du numérique et de l'apprentissage automatique ainsi que l'informatique dans le cloud et en périphérie de réseau, la maintenance évolue : ABB est à l'avant-garde de ce changement de paradigme. Les actifs industriels étant aujourd'hui fortement numérisés, les capteurs

Les méthodes par apprentissage automatique génèrent souvent plusieurs types de faux positifs ou des faux négatifs.

qui équipent les plus critiques d'entre eux génèrent d'impressionnants flux de données. L'analytique moderne permet d'identifier avec précision quand intervenir sur chaque actif [1]. En disposant de cette masse de données en temps réel, l'industriel peut connaître précisément l'état de santé du parc d'équipements et bâtir une véritable stratégie de maintenance prédictive, source d'économies. Plus besoin d'arbitrer entre remplacer systématiquement des pièces en parfait état ou pousser les machines jusqu'à la panne : les interventions de maintenance sont planifiées et optimisées.

Tenants et aboutissants de la maintenance prédictive

La maintenance prédictive enrichit les procédés de fabrication et en diminue les coûts, grâce à une efficacité accrue et de moindres besoins en maintenance non planifiée et de redondance matérielle. Dans les usines de transformation, elle réduit les temps improductifs de 30 à 50 % et prolonge la durée de vie des équipements de 20 à 40 % [1].

DÉFAUTS	Température de l'enveloppe	Pression ambiante	Répartition de la coulée	Vibration turbine dans l'enveloppe
Déséquilibre rotor	5	7	5	3
Encrassement compresseur BP	5	7	5	3
Échauffement et dégradation turbine HP	5	7	5	3
Surchauffe	5	7	5	3
Absence de tension de sortie	5	7	5	3
Déséquilibre rotor	5	7	5	3
Risque	5	7	5	3

01

Une stratégie de maintenance réussie repose impérativement sur une détection précoce et une identification des anomalies de fonctionnement, autrement dit sur des inspections et des pré-alarmes qui permettent de rechercher très tôt les causes des défauts potentiels.

Une véritable planification efficace de la maintenance est loin d'être évidente : il faut pouvoir prédire la manière dont une situation anormale est susceptible de se développer à l'avenir. Ce n'est qu'à cette condition que l'industriel peut en tirer des conclusions précieuses quant aux éventuelles conséquences sur ses actifs. Une maintenance prédictive réussie doit s'appuyer sur trois piliers :

- Le suivi d'état pour la détection précoce des défauts ;
- L'identification du ou des mode(s) de défaillance lié(s) à la détection du défaut ;
- La quantification de l'ampleur du défaut afin d'accompagner la planification de la maintenance.

Il ne manque pas de méthodes d'apprentissage automatique consacrées au développement de modèles d'état : analyse en composantes principales (ACP), K plus proches voisins (KNN), « Local Outlier Factor » (LOF), machines à vecteurs de support à une classe (OCSVM), etc. [5]. Pour autant, les algorithmes d'apprentissage automatique restent des boîtes noires qui dépendent complètement des données d'actifs ; ils ne font aucune hypothèse sur l'actif ou ses modes de défaillance. En pratique, ces méthodes ne sont pas toujours concluantes et débouchent souvent sur divers types de faux positifs, voire plusieurs occurrences du même type, ainsi que des faux négatifs. Or déclencher une alarme alors que l'actif est en parfait état de marche, ou l'inverse, augmente les coûts de maintenance non planifiée et de redondance, réduisant la viabilité de l'outil industriel [6].

Pour y remédier, ABB a imaginé une solution robuste « hybride » qui combine les modèles d'apprentissage automatique et l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) afin de fournir des informations précises sur la de santé de chaque actif.

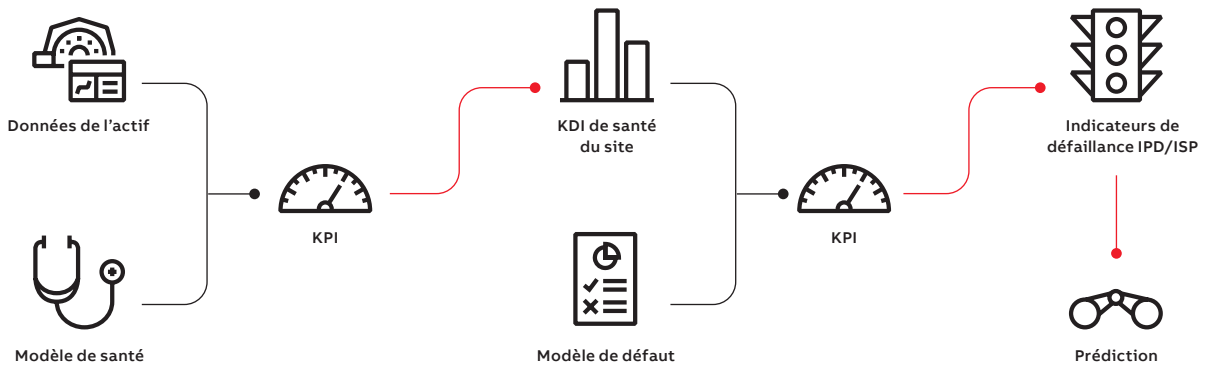
Innovation ABB

L'approche hybride s'appuie sur les données historiques et sur les modèles de développement d'un actif pour mettre en place une stratégie de maintenance prédictive. Le suivi d'état en ligne, appuyé par l'analyse des données, recherche les deux cas suivants :

- Une mesure en ligne s'écartant du comportement normal attendu, signe d'anomalie ;
- Une mesure en ligne correspondant à une « signature de défaut », caractéristique d'une défaillance connue.

L'approche hybride proposée par ABB pour évaluer l'état de santé d'un actif combine apprentissage automatique et AMDE.

Ces deux techniques font appel à un modèle de données qui, dans le premier cas, formalise l'état « en bonne santé » et, dans le second, l'état « en défaut ». Ces méthodes étant fondamentalement complémentaires, il semblerait naturel de conclure qu'elles sont d'égale utilité. Mais en pratique, les seules données historiques toujours disponibles en quantité suffisante sont celles correspondant à un fonctionnement normal, ce qui donne l'avantage à la première méthode et permet donc d'entraîner le modèle à reconnaître l'état « en bonne santé ». À l'inverse, l'absence ou le manque de données décrivant la totalité des défaillances possibles rendent souvent impossible l'entraînement du modèle de défaut. Sans compter que ce dernier s'appuie sur les caractéristiques de l'équipement, déduites de données qui elles-mêmes dépendent de l'installation et des conditions d'exploitation. C'est pourquoi les données d'une seule machine ne suffisent pas à entraîner un modèle de défaut précis.



02

—
01 La première étape de la configuration du bilan de santé passe par l'attribution d'une pondération au défaut mesuré, chaque valeur représentant une proportion du total.

—
02 Le modèle hybride proposé par ABB s'appuie sur les modèles d'analyse de défaut et les données pour établir les indicateurs de maintenance prédictive.

—
03 Tableaux des indicateurs clés de diagnostic KDI (à gauche) et des défauts (à droite) ; le tableau de gauche présente les informations associées aux trois plus mauvais KDI d'un actif.

L'approche hybride retenue par ABB fait appel à un modèle de développement qui quantifie l'écart entre les mesures en ligne et le modèle d'état, moyennant une analyse AMDE. Cette technique, qui est au centre des programmes de maintenance basée sur la fiabilité, a l'avantage de proposer un catalogue de modèles pour les systèmes et équipements courants. Grâce à l'observation, l'AMDE est en mesure de définir la détection potentielle et l'identification d'un défaut. Quand ce sont les mesures en ligne qui permettent cette détection, il est également possible de prédire la défaillance.

Hybridation

La méthode ABB se déroule en trois étapes :

1) Définition du modèle de développement en décrivant les modes de défaillance et les mesures associées ;
2) Entraînement du modèle à partir des données historiques ;
3) Déploiement du modèle.

À l'étape 1, le modèle enregistre les associations entre valeurs mesurées et modes de défaillance sous forme de pondération. Une valeur supérieure à zéro signifie que le défaut est observable (anomalie de mesure) ; plus la pondération est élevée, plus l'observation est importante par rapport aux autres mesures →01.

L'entraînement du modèle, à l'étape 2, s'effectue sur la base des données historiques qui reflètent le bon état de l'équipement, dans tous les régimes de fonctionnement. Diverses techniques statistiques et d'apprentissage automatique sont utilisées pour en déduire un modèle compressé, adapté au calcul temps réel.

Ces modèles entraînés sont ensuite déployés à l'étape 3. Ils traitent les données remontées de l'actif à intervalles réguliers (toutes les minutes par exemple) pour en déduire l'état fonctionnel :

—
Définition, entraînement et déploiement du modèle sont les trois étapes de la méthode ABB.

entre autres, quelle est la probabilité que cet état débouche sur une défaillance ?

Fonctionnement

Le modèle hybride s'appuie à la fois sur les données et les modèles d'analyse de défaillance pour produire des indicateurs de maintenance prédictive, à savoir l'indicateur clé de diagnostic

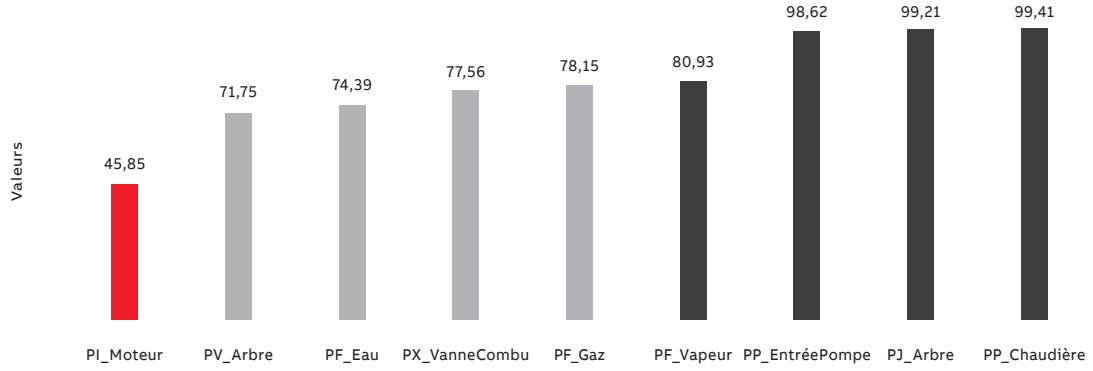
PRINCIPAUX INDICATEURS DE SANTÉ

Propriété	Graphique	KDI	Variable procédé	Consigne	Temps avant défaillance critique
PI_Moteur		45,85 %	52,48 A	50,46	--
PV_Arbre		71,75 %	162,94 tr/min	157,42	--
PF_Eau		74,39 %	45,91 t/hr	47,01	--

PRINCIPAUX DÉFAUTS

Défaut	Gravité	Probabilité	Temps avant défaillance critique
Défaut pompe	39,11 %	98,82 %	--
Dysfonctionnement vanne gaz	22,15 %	95,61 %	--
Perte vapeur chaudière	22,1 %	95,43 %	--

03



	PI_Moteur	PV_Arbre	PF_Eau	PX_VanneCombu	PF_Gaz	PF_Vapeur	PP_EntréePompe	PJ_Arbre	PP_Chaudière
Valeur haute	45,85	71,75	74,39	77,56	78,15	80,93	98,62	99,21	99,41
Variable procédé	52,48	162,94	45,91	32,73	11,59	46,06	0,5	2129,22	32
Consigne	50,46	157,42	47,01	44,13	11,85	47,05	0,5	2128,52	32
Écart-type	0,66	2,75	0,59	6,62	0,16	0,64	0	6,5	0,03

04

Défaut moteur

Propriété	KDI	Variable procédé	Consigne	Écart-type
PI_Moteur	46 %	52,48 A	50,46	0,66
PV_Arbre	72 %	162,94 tr/min	157,42	2,75
PJ_Arbre	99 %	2129,22 Nm	2128,52	6,5

05

(KDI) et des indicateurs de défaut →02. Le modèle commence par calculer un KDI pour chaque mesure en comparant l'écart entre la valeur mesurée et la valeur de consigne « attendue ». Celle-ci provient de la base de données historiques, où est sélectionnée la valeur la plus proche des conditions actuelles. Un algorithme de type KNN sert ensuite à calculer rapidement le plus proche voisin.

Tous les KDI sont exprimés en pourcentage, ce qui permet à l'utilisateur d'interpréter facilement la valeur, quels que soient le modèle utilisé, la grandeur ou la plage de mesure. Même si le KDI est une valeur unique, son calcul repose sur une technique multivariée de sorte que le résultat le plus proche tient compte de toutes les mesures définies pour le modèle.

Ensuite, pour chaque défaut sont calculés un indicateur de probabilité (IPD) ainsi qu'un indicateur de gravité (ISD) →03. Ce calcul, qui agrège les écarts de toutes les mesures pondérées, fait une distinction entre gravité et probabilité du défaut en se basant sur la distribution relative des écarts au sein des différentes mesures.

Tous les KDI sont exprimés en pourcentages, facilement interprétables.

L'utilisateur peut consulter, en plus de la synthèse des KDI et des défauts, la totalité des indicateurs classés par note →04 et des KDI relatifs à un défaut donné →05. Un algorithme KNN appliqué aux valeurs extraites du modèle de données permet de calculer l'écart-type, qui sert à son tour à obtenir la note de KDI. De quoi fournir à l'utilisateur expérimenté un précieux éclairage sur le calcul effectué.

—
04 Histogramme des indicateurs de santé avec tableau des valeurs de consigne correspondantes. La notation des paramètres est conforme à la norme ISA 5.1.

—
05 Exemple de défaut moteur et KDI associés. La notation des paramètres est conforme à la norme ISA 5.1.

—
06 L'utilisateur a besoin de connaître l'état actuel de ses actifs, mais aussi d'anticiper leur comportement et leurs défaillances futures. La solution hybride d'ABB ouvre justement la voie à une telle maintenance prédictive.

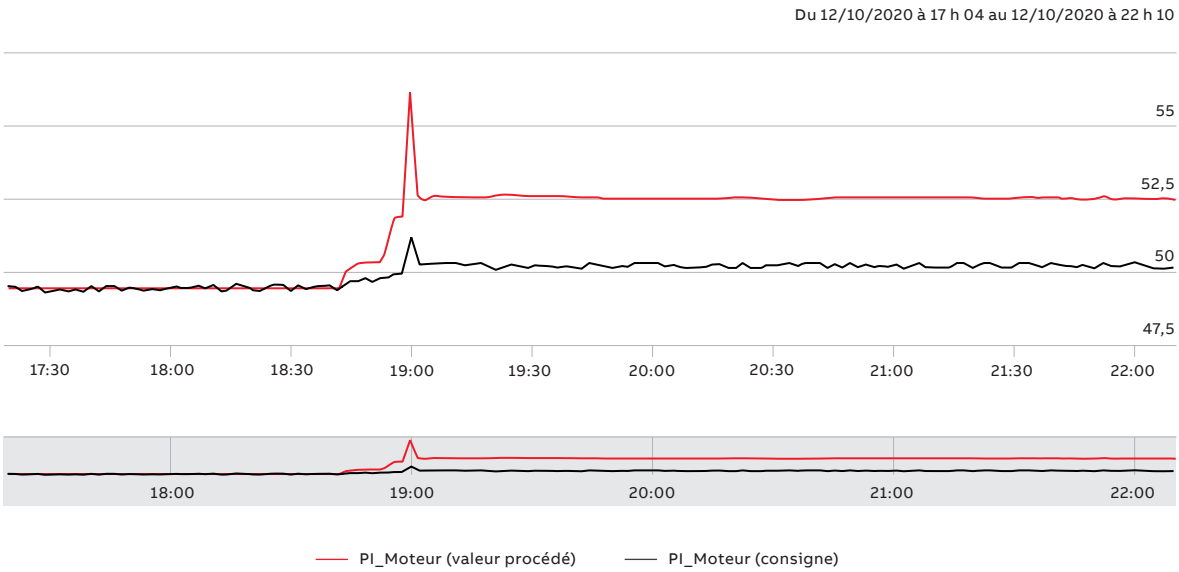
Ces indicateurs décrivent l'état de l'équipement au moment de la mesure mais ne renseignent pas sur sa condition future, élément indispensable à toute maintenance prédictive →06. Pour cela, l'utilisateur commence par lancer une analyse manuelle à partir des tendances historiques obtenues pour chacun des indicateurs clés →07.

Ensuite, un modèle statistique appelé « moyenne mobile autorégressive intégrée », ou « ARIMA », permet de calculer et de visualiser les données d'une série temporelle à partir des valeurs historiques et donc de prédire le profil évolutif des indicateurs.

Le modèle de défaut fournit des informations supplémentaires sur l'analyse des causes et les mesures correctives, dans un format tabulaire très lisible →08. Un système de gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO) intègre les valeurs des indicateurs de défaut ainsi que les informations de défaut au sein d'un flux complètement automatisé. Il est ainsi possible de planifier les interventions en fonction de leur priorité et de la disponibilité des ressources.

—
Le modèle s'appuie sur les données et les modèles d'analyse de défaillance pour produire KDI et indicateurs de défaut.

06



07

Défaut	% de gravité	% de probabilité	Temps avant défaillance critique	Description	Recommandations
Défaut pompe	39,11	98,82	--	Défaut pompe	Vérifier ailette, volute et instrumentation
Dysfonctionnement vanne gaz	22,15	95,61	--	La vanne ne s'ouvre pas comme prévu	--
Perte vapeur chaudière	22,1	95,43	--	Perte de vapeur	Vérifier le tambour
Défaut moteur	10,66	83,97	--	Baisse de rendement	Vérifier pertes cuivre, fer et mécaniques

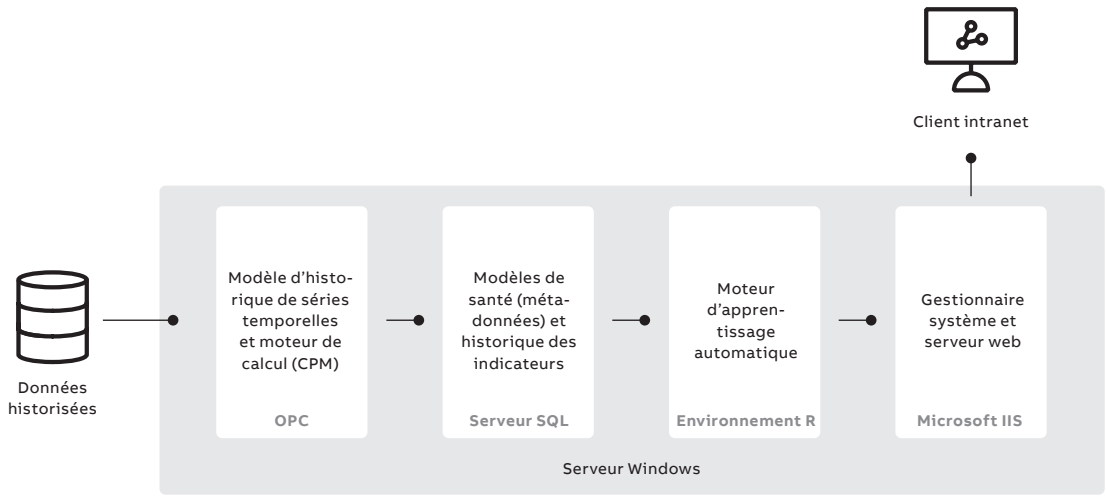
08

Architecture
Dans l'architecture proposée par ABB →09, les données historisées de l'actif servent à entraîner le modèle. Cet historique ainsi que le moteur de calcul utilisés par l'application reposent sur la plate-forme de gestion collaborative de la production (CPM) développée par ABB. Les données applicatives sont stockées dans une base Microsoft SQL tandis que l'entraînement et le développement des modèles se déroulent dans R, un environnement logiciel open source. Un serveur web présente les résultats, qui sont accessibles et consultables via un client intranet.

Projet pilote
Le logiciel né des travaux des ingénieurs ABB a été déployé avec succès dans 33 centrales hydroélectriques d'Enel Green, où il assure le suivi d'état en temps réel de divers actifs tels que turbines hydrauliques, pompes, moteurs ou alternateurs. Le pilote, entamé mi-2020, doit se poursuivre jusqu'en 2022. Les résultats, présentés sous forme synthétique et hiérarchisée, sont facilement accessibles à l'utilisateur, ce qui est un atout non négligeable. Les actifs sont d'abord regroupés par zone de la centrale, puis combinés de manière logique pour représenter

—

Le pilote ABB, déployé avec succès depuis mi-2020, est très facile à prendre en main.



09

—
07 Exemple de prédiction de tendances pour deux indicateurs de santé

—
08 Probabilité d'occurrence de différents défauts

—
09 Architecture de la méthode hybride ABB

le site dans sa totalité. Un système de feux tricolores permet de visualiser le nombre d'actifs en bonne, moyenne ou mauvaise santé. L'utilisateur peut ensuite zoomer au niveau de son choix pour accéder à l'information concernant une zone de la centrale ou même un actif spécifique.

Le succès du pilote aidant, ABB prévoit d'étendre cette méthode de maintenance prédictive à d'autres filières industrielles verticalisées (centrales électriques conventionnelles, raffineries, cimenteries, installations pétro-gazières, etc.). En effet, à la différence de la modélisation à l'aide des premiers principes, qui exige une connaissance pointue des procédés et des équipements du secteur, la modélisation assistée par AMDE et l'apprentissage automatique sont des techniques adaptatives, complètement génériques et non spécifiques à un domaine donné.

—

Le pilote assurera le suivi d'état temps réel de divers actifs jusqu'en 2022.

ABB, à l'écoute des industriels et de leurs besoins, développe des outils qui leur permettent d'exploiter la masse de données générées par les actifs du procédé, ainsi que des fonctions d'analytique avancées qui font de la maintenance prédictive une réalité concrète. Pour les clients du Groupe, le gain est double : ils améliorent la production et maximisent la rentabilité de leurs équipements. •

—
Bibliographie

1] Dilda, V., *et al.*, « Manufacturing: Analytics unleashes productivity and profitability », McKinsey & Company, disponible sur : https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/manufacturing-analytics-unleashes-productivity-and-profitability, 14 août 2017 (consulté le 7 juin 2021).

[2] ARC Advisory Group, « Asset Performance Management Defined », disponible sur : https://www.arcweb.com/technologies/asset-performance-management (consulté le 7 juin 2021).

[3] Petrovic, Z., « Catastrophes caused by corrosion », *Military Technical Courier*, vol. 64, n° 4, p. 1048-1068, disponible sur : https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0042-8469/2016/0042-8469160404 8p.pdf, 2016.

[4] Accruent, « 5 Consequences of Reactive Maintenance Strategies », disponible sur : https://www.accruent.com/resources/blog-posts/5-consequences-reactive-maintenance-strategies, mars 2019.

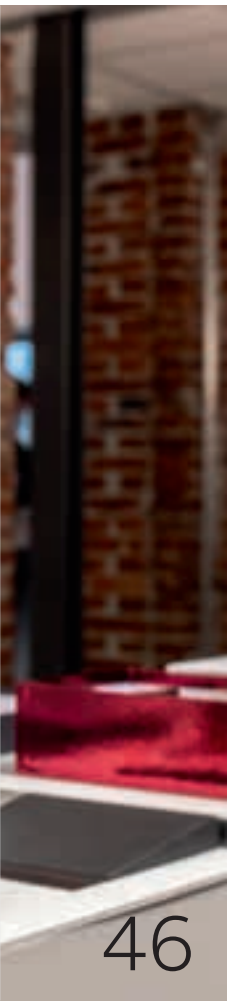
[5] Munir, M., *et al.*, « DeepAnT: A Deep Learning Approach for Unsupervised Anomaly Detection in Time Series », *IEEE Access*, p. 1991-2004, janvier 2019.

[6] Ringberg, H., *et al.*, « Sensitivity of PCA for Traffic Anomaly Detection », *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, vol. 35, n° 1, p. 109-120, 2007.

Produc-tivité

La productivité désigne le rapport entre la quantité produite et les moyens engagés à cette fin. Toute tentative d'augmentation de ce ratio se heurte souvent à des contraintes de coût, de temps ou simplement de physique. ABB développe des technologies numériques qui aident ses clients à lever bon nombre de ces obstacles.

42 Moteurs synchrones à réluctance IE5
46 Deux nouveaux compagnons de labeur
52 Mue numérique en métallurgie



PRODUCTIVITÉ

Moteurs synchrones à réluctance IE5

01

Tero Helpio
ABB IEC LV Motors Division, Motion Business Area
Helsinki (Finlande)

tero.helpio@fi.abb.com

Jouni Ikäheimo
ABB IEC LV Motors Division, Motion Business Area
Helsinki (Finlande)

jouni.ikaheimo@fi.abb.com

Avec leur rendement « ultra-premium », niveau le plus élevé de la normalisation internationale CEI, les moteurs synchrones à réluctance d'ABB sont la solution privilégiée pour juguler le gaspillage énergétique dans l'industrie et répondre à la demande croissante d'écoperformance.

Les moteurs électriques absorbent à eux seuls un tiers du courant consommé dans le monde. Sachant que le parc est appelé à doubler d'ici à 2040, il faudrait lui ajouter l'équivalent de la production électrique chinoise pour assouvir pareille soif énergétique. Cet enjeu majeur est le principal moteur de la course à l'efficacité énergétique des systèmes d'entraînement.

Grand classique de l'industrie, le moteur asynchrone (MAS) n'en a pas moins des défauts intrinsèques (pertes rotoriques dues à l'échauffement des enroulements, par exemple), qui pénalisent la performance et la longévité des organes et roulements. Des lacunes aujourd'hui comblées par les nouveaux moteurs synchrones à réluctance (SynRM) de classe IE5 d'ABB, qui affichent les rendements « ultra-premium » normalisés CEI. Le SynRM se caractérise donc par une très haute efficacité énergétique mais aussi une grande fiabilité et une maintenance réduite →01–02.

Simple comme SynRM

Le moteur synchrone à réluctance fonctionne sur un principe connu de longue date mais qui n'a pu donner son plein potentiel qu'avec l'essor de la variation électronique de vitesse (VEV) :

—
01 Le nouveau moteur synchrone à réluctance SynRM IE5 d'ABB est idéal pour nombre d'applications de puissance, comme le pompage d'eau.

—
02 Le SynRM IE5 rend les moteurs électriques plus durables grâce à des gains en matière de rendement, de fiabilité et de densité de puissance.

—
03 Le SynRM IE5 dope les performances des installations agroalimentaires (ici, un silo).

son rotor est conçu pour produire la plus faible résistance magnétique, ou « réluctance », possible dans un sens, et la plus forte dans le sens perpendiculaire. Le variateur pilote le champ statorique de façon à le faire « tourner » autour du moteur. Ces propriétés de réluctance magnétique du rotor entraînent sa rotation à la même fréquence que le champ alimenté par le variateur.

—
Sans aimants ni enroulements, le rotor s'affranchit de la plupart des pertes électriques.

02

Aux performances du moteur à aimants permanents et à la simplicité constructive du MAS, le SynRM ajoute une grande facilité d'entretien puisqu'il est dépourvu des terres rares qui composent habituellement les aimants. Résultat : sans aimants ni enroulements, le rotor n'accuse pratiquement pas de pertes électriques. Mieux, en l'absence de forces magnétiques dans le rotor, le SynRM est aussi simple d'entretien qu'un MAS.

Le SynRM d'ABB à rendement élevé IE4, lancé en 2011 pour les applications de pompage/ventilation, se prête aujourd'hui à tous les usages. L'offre ABB, qui s'est enrichie en 2019 du SynRM ultra-premium, se décline en deux gammes de rendement, puissance et hauteur d'axe normalisée CEI :

- SynRM à haut rendement, 1,1 à 350 kW, 90 à 315 mm ;
- SynRM à ultra-haut rendement IE5, 5,5 à 315 kW, 132 à 315 mm.

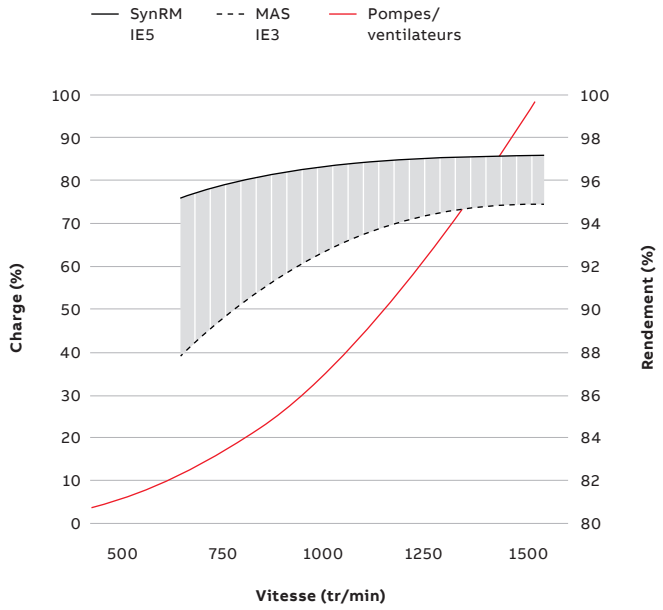
Côté VEV, l'augmentation constante du nombre d'applications dope la commercialisation des SynRM.

Ces moteurs ABB classés IE5 font chuter les pertes énergétiques de 50 % par rapport aux moteurs IE2, mais aussi la consommation et les émissions de CO_2, surclassant les asynchrones IE2 d'usage courant →03.

03

Faibles températures et compatibilité mécanique
La technologie SynRM permet d'abaisser de 30 °C la température des bobinages, et de 15 °C celle des roulements. Il en résulte un moindre échauffement du moteur, ce qui améliore la durée de vie des isolants et des roulements avec des intervalles de lubrification nettement plus longs. Une avancée radicale quand on sait que ce type de défaillances est à l'origine de près de 70 % des pannes intempestives.

Le SynRM IE5 occupe le même encombrement qu'un MAS de classe IE2, ce qui évite les modifications mécaniques en cas d'évolution et facilite le remplacement des MAS classiques. Cette compatibilité simplifie également l'approvisionnement en pièces détachées et la maintenance.



04

Évolution normative
La CEI 60034-30-1:2014, qui définit les classes de rendement IE1, IE2, IE3, est aujourd'hui remplacée par la CEI 60034-30-2:2016 applicable aux moteurs à courant alternatif commandés en vitesse variable et, pour la première fois, aux moteurs synchrones à réluctance IE5 d'ABB. C'est de cette norme qu'est né le niveau de rendement ultra-premium dont bénéficie désormais l'offre ABB.

Ce nouveau référentiel permet aussi de comparer directement en IE5 les MAS traditionnels pilotés par variateur et les moteurs de dernière génération conçus uniquement pour la VEV, comme les SynRM. Que ces moteurs soient à entraînement direct (CEI 60034-30-1) ou couplés à un variateur (CEI TS 60034-30-2), la notation IE caractérise toujours l'écoperformance des deux solutions en vitesse variable. En d'autres termes, qui dit même marquage IE dit même rendement énergétique.

Les pertes d'un moteur IE5 sont 20 % inférieures à celles d'un IE4, toutes technologies ou normes CEI confondues.

Pour que la comparaison soit valable, il convient d'abaisser les valeurs de seuil des classes IE stipulées par la CEI 60034-30-2 en ajoutant au moteur alimenté par le réseau les pertes harmoniques supplémentaires occasionnées par le variateur, et ce à hauteur de 15 % jusqu'à 90 kW de puissance, 25 % au-delà. Exemple : un IE3 de 15 kW couplé au réseau affichant un rendement nominal de 92,1 % avec un variateur fournit en réalité un rendement minoré de 15 %, soit 91 %. C'est cette valeur qu'il faut comparer aux 94,8 % d'un SynRM équivalent. Ces seuils doivent être atteints à 90 % de la vitesse et à 100 % du couple. Pour faciliter la comparaison, le catalogue SynRM IE5 d'ABB inclut le précalcul du rendement type d'un moteur IE3 associé à un variateur.

Dans la pratique, les pertes d'un moteur IE5 sont de 20 % inférieures à celles d'un IE4, quelle que soit la technologie ou la norme CEI applicable.

Rendement à charge partielle
Le règlement européen UE 2019/1781, qui fixe de nouvelles exigences d'écoconception pour les moteurs électriques et les variateurs, oblige les constructeurs à spécifier les pertes dans des conditions de charge bien précises. Ces données sont garantes de la comparaison entre moteurs fonctionnant à charge partielle avec un variateur. La comparaison a longtemps été impossible en raison du manque d'informations sur les MAS utilisés en vitesse variable. Une seule certitude : les SynRM IE5 fonctionnent très bien à charge partielle.

Comparatif SynRM IE5/MAS IE3 en vitesse variable
Mesures à l'appui, les laboratoires ABB ont démontré les avantages des SynRM IE5 sur les moteurs IE3, y compris à charge partielle, où les bénéfices sont encore plus notables qu'en régime nominal. En témoigne la courbe de rendement énergétique type d'un SynRM IE5 par rapport à celle d'un MAS IE3 pour une application de pompage/ventilation →04.

Sobriété énergétique et réduction du coût global
Réduire la consommation d'énergie avec la technologie SynRM et les solutions moteurs-variateurs se traduit immanquablement par une baisse du coût de fonctionnement du procédé et du coût global de possession. Et même si des industriels peuvent rechigner à changer de moteurs ou à leur ajouter des variateurs, qui grèvent l'investissement initial, le coût d'un moteur ne représente qu'une fraction de la facture énergétique sur toute sa durée d'exploitation.

Rentabilité énergétique
Pour un moteur de 110 kW fonctionnant à 1500 tr/min, la différence de prix d'achat entre un SynRM IE5 et un MAS IE3 est négligeable par rapport aux économies d'énergie réalisées à l'année. La solution IE5 surclassera l'IE3 dès la mise en route et son surcoût sera amorti en à peu près

—
04 Comparaison en laboratoire du rendement d'un moteur SynRM IE5 et MAS IE3 à différents niveaux de charge d'une application de pompage/ventilation

—
05 Avec 100 % de couple à vitesse nulle et un excellent rendement à charge partielle, le SynRM IE5 a des atouts de poids pour amarrer les navires.

13 mois. Autre qualité appréciée : cette source d'économies perdurera tout au long des 10 à 15 années de service du moteur. En à peine 10 ans, les économies induites par la baisse de consommation auront compensé l'investissement.

En route pour le futur

La moindre consommation électrique du SynRM IE5 se répercute d'autant sur les émissions de CO_2. Son couple quadratique constant est synonyme de régulation rapide et précise : le moteur fournit 100 % de couple à vitesse nulle et un excellent rendement à charge partielle →05. Il assure également une régulation de vitesse très fine, du fait de sa nature synchrone, et des performances quasi identiques à celles d'un servomoteur, en raison de la faible inertie du rotor. Très silencieux, c'est le moteur parfait pour la commande de pompes, ventilateurs, compresseurs, etc., quelle que soit l'application industrielle. Nombreux sont les clients à recourir aux SynRM IE5 d'ABB pour gagner en coût et en productivité, à l'image de cette entreprise agroalimentaire qui a presque divisé par deux la consommation électrique d'une installation de ventilation.

—

Le couple quadratique constant du SynRM IE5 garantit une régulation rapide et précise.

Dans le domaine des moteurs, ABB se félicite de répondre aux besoins multimétiers d'un marché toujours en quête de puissance, de rendement, de compacité et d'allongement des intervalles de maintenance. La technologie SynRM IE5, qui dépasse les valeurs minimales de rendement normalisées (MEPS) en vigueur dans tous les grands pays industriels, trace durablement la voie des moteurs basse tension à très haute efficacité énergétique.

L'enjeu est de taille pour les constructeurs de moteurs et entraînements électriques : en Europe, aux États-Unis et en Asie, la tendance est au renforcement de la réglementation applicable aux moteurs mais aussi au système motorisé tout entier. Avec le SynRM IE5, la technologie ABB a déjà une belle longueur d'avance. •

05

PRODUCTIVITÉ

Deux nouveaux compagnons de labeur

La collaboration entre humains et robots sur le lieu de travail va croissant. Plus compacts, plus rapides et faciles à programmer, ces assistants à un ou deux bras ne cessent de gagner en vitesse, en polyvalence et surtout en sécurité pour donner naissance à une nouvelle catégorie de coéquipiers : les « cobots ».

L'univers robotique est en pleine évolution. Longtemps confinés dans des cages, les robots se font désormais une place dans des espaces de production plus petits et décloisonnés →01–02 pour assister les opérateurs dans la manutention, le service de machines et l'assemblage de composants : un soutien bienvenu dans les laboratoires →03, les plates-formes logistiques, les entrepôts et les ateliers.

Conçus pour travailler aux côtés de l'humain, sans barrière ni protection, ces cobots sont une aide précieuse pour les entreprises peinant à recruter et à retenir le personnel affecté à des tâches fastidieuses, sales, dangereuses ou pénibles. Selon un rapport McKinsey de 2020 sur l'avenir du travail [1], l'Europe vieillissante pourrait connaître une pénurie de main-d'œuvre au lendemain de la crise sanitaire. La popula-

Marc Mustard
Content & Robotics
Manchester
(Royaume-Uni)

marc.mustard@
gb.abb.com

01

—
01 Les robots de dernière génération interagissent en toute sécurité avec leurs collègues humains.

—
02 Grâce à la programmation assistée, l'opérateur crée des déplacements sur mesure en modifiant la position du bras robotique.

tion active du continent devrait diminuer de 13,5 millions (-4 %) d'ici à 2030.

Homme-robot, une cohabitation réussie
Robotiser les procédés sans avoir à dresser de protections physiques permet de réduire le coût global d'une installation mais aussi de gagner de la place dans un environnement de travail plus ouvert. Le personnel dispose ainsi d'une plus grande liberté de manœuvre, ce qui réduit d'autant les arrêts et redémarrages de la production pour accéder au robot.

La robotisation a bien d'autres avantages : réduction des coûts d'exploitation, qualité, souplesse et homogénéité de la fabrication, rendement en hausse, usage optimisé des installations. Utile pour pallier la pénurie de main-d'œuvre, elle améliore aussi la sécurité et la santé au travail en libérant le personnel du port de charges lourdes ou des tâches répétitives.

Il est également prouvé que l'automatisation d'un procédé ou d'une ligne de production améliore la satisfaction au travail : elle permet aux opérateurs de monter en compétence et de se recentrer sur des activités plus gratifiantes, mieux valorisées. Conscient de ces tendances, ABB vient de lancer GoFa™ et SWIFTI™, deux nouveaux venus dans sa gamme de robots collaboratifs, en complément du plébiscité YuMi® et de sa déclinaison monobras.

GoFa™, le cobot passe-partout
D'une charge utile maximale de 5 kg, beaucoup plus véloce (2,2 m/s) et agile que ses concurrents, GoFa →04 excelle dans l'assemblage de composants, la prise/dépose de pièces et l'emballage, qui sont autant de tâches nécessitant un transfert rapide et précis d'un poste à l'autre. Sa répétabilité de positionnement micromé-

—
Vieillissante, l'Europe devrait voir sa population en âge de travailler diminuer de 13,5 millions (-4 %) d'ici à 2030.

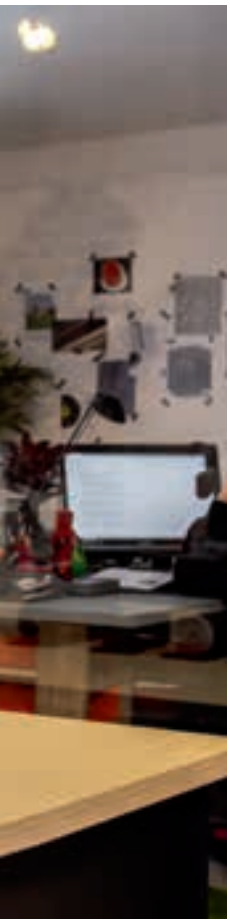
trique lui permet de saisir, déplacer et déposer inlassablement des objets avec une précision d'orfèvre.

Sa portée de 950 mm dépasse d'environ 12 % celle des autres cobots de charge utile équivalente, et de 70 % celle du YuMi monobras. De quoi limiter le nombre de cobots à déployer dans un même espace.

Grâce à son système de sécurité passive intégré, plus besoin de barrières pour protéger ses collègues humains. Chacune de ses six articulations étant dotée de capteurs de couple et de positionnement, GoFa s'arrête en quelques millisecondes en cas de contact.

GoFa va partout où il peut se rendre utile. Léger (27 kg) et peu encombrant (165 mm² au sol), il peut être monté dans toutes les directions. Comme YuMi à un ou deux bras, il se plie à toutes les situations, qu'il s'agisse de faciliter des corrections de process en temps réel ou de prêter main forte à des lignes en sous-effectif. Autant d'atouts pour une adaptation rapide aux aléas de la production et aux demandes changeantes des clients.

GoFa est conçu pour travailler avec les commandes robotiques OmniCore d'ABB. D'un encombrement moitié moindre que ses aînés, OmniCore offre une souplesse,



02

UN COBOT AU LABO

Le laboratoire de l'hôpital universitaire Karolinska, en Suède, compte désormais un robot collaboratif ABB. Bilan : des laborantins déchargés de tâches manuelles et fastidieuses, plus efficaces et plus épanouis dans leur travail [1].

La robotique n'est pas une nouveauté dans le milieu médical. Face à l'accroissement notable de la charge de travail (tests, prise en charge des patients, développement de vaccins), les robots constituent une piste intéressante pour renforcer les équipes et les capacités de production.

Doté de son propre centre d'innovation, cet hôpital a cherché, avec plusieurs partenaires dont ABB, comment mettre l'automatisation et la robotique au service de la performance dans des domaines aussi variés que la chirurgie, la pédiatrie mais aussi le transport d'instruments, de linge et de repas.

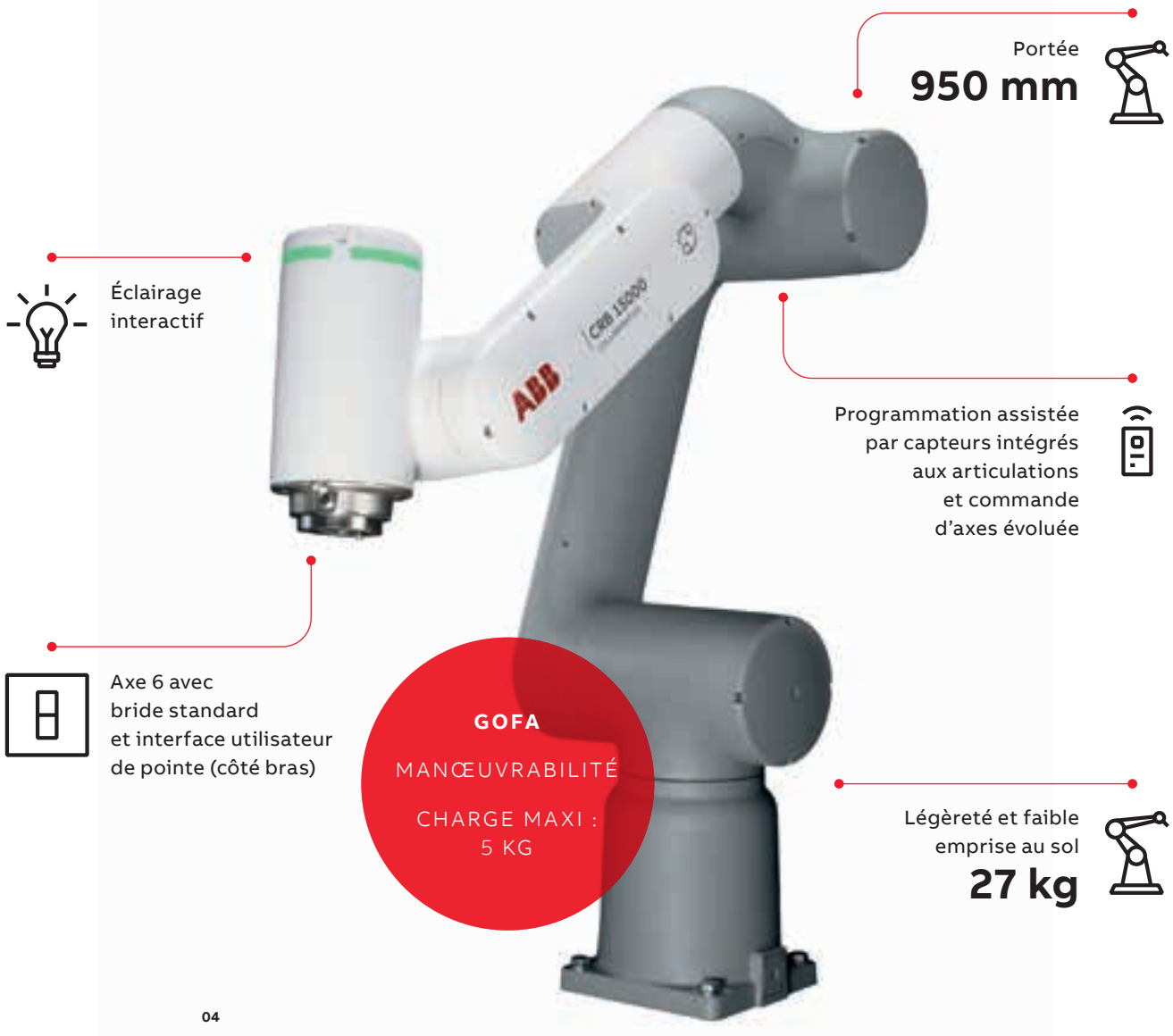
Son laboratoire fait partie des gagnants de cette collaboration. Si le tri automatisé contribuait déjà au traitement de millions d'échantillons médicaux chaque année, l'assistance robotique présentait un intérêt indéniable pour effectuer d'autres opérations manuelles répétitives, comme scanner les tubes à essai ou ouvrir les étuis de transport. C'est aujourd'hui un cobot ABB qui se charge de ces tâches fastidieuses, source notamment de douleurs au poignet, pour en réduire la pénibilité. Autres avantages : des processus optimisés et une efficacité accrue. •

Pour soulager et renforcer le personnel, les robots ABB scannent les tubes à essai et ouvrent les tubes de transport.

Dans les laboratoires hospitaliers, les robots peuvent prendre le relais de nombreuses tâches manuelles et répétitives.

Bibliographie

[1] ABB, ABB's collaborative robot at Karolinska University Laboratory, disponible sur : https://new.abb.com/news/detail/24879/abb-azipodr-electric-propulsion-can-save-17-million-in-fuel-costs-annually-study-shows (consulté le 19 mai 2021).



04

—
03 ABB explore les usages potentiels de la robotique en milieu hospitalier.

—
04 Avec ses 27 kg seulement, GoFa va partout où il peut se rendre utile.

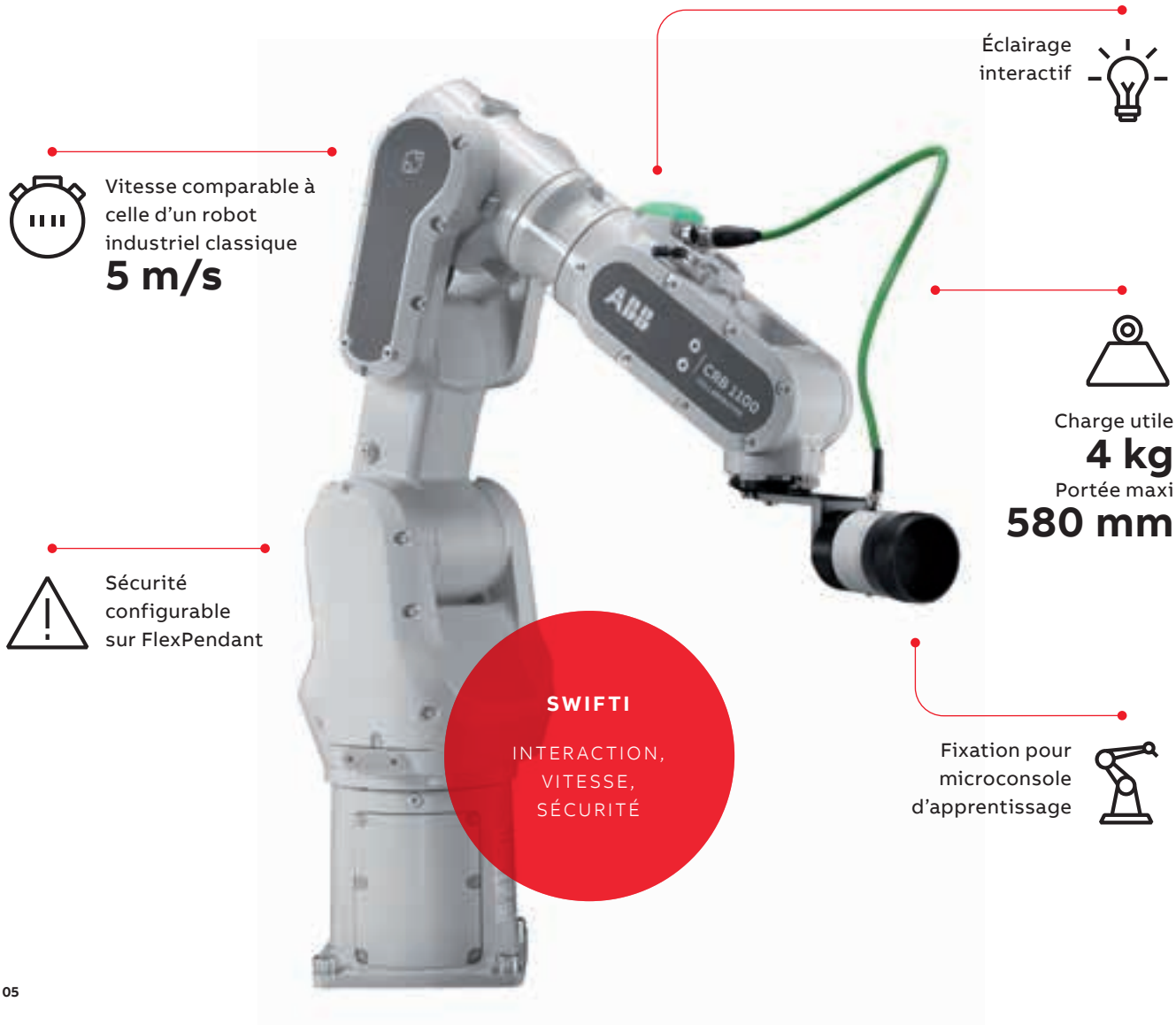
Le cobot SWIFTI peut se déplacer à 5 m/s, soit cinq fois plus vite que ses concurrents.

une connectivité et des performances exceptionnelles, ainsi qu'une régulation de mouvement à la précision inégalée. OmniCore s'intègre aisément aux dernières innovations de l'usine numérique (bus de terrain, systèmes de vision évolués, commande d'effort et détection de force, etc.).

SWIFTI, ultrarapide et polyvalent
Bien plus rapide que GoFa, SWIFTI →05 est un cobot industriel destiné à des applications telles que l'assemblage ou le polissage. Capable de manipuler une charge de 4 kg à une vitesse de pointe de 5 m/s (cinq fois plus que ses concurrents), c'est le spécialiste du travail intermittent avec l'homme.

SWIFTI embarque un système de sécurité active basé sur un scanner laser. S'il détecte qu'un humain s'approche pour charger, décharger ou repositionner des pièces, le cobot ralentit et s'arrête, puis redémarre automatiquement dès que la personne sort du périmètre de sécurité, relançant au plus vite la production.

Conçu spécifiquement pour combler le fossé entre cobots et robots industriels, il lève les obstacles qui empêchaient jusqu'ici une adoption massive de ces automatismes. En associant les atouts d'un robot collaboratif (sécurité, simplicité d'installation et d'usage) à ceux du robot industriel IRB 1100 d'ABB (vitesse, précision, performance,



05

faible encombrement), SWIFTI offre le meilleur des deux mondes. Il favorise la coopération homme-robot dans de nombreuses applications sans sacrifier sécurité, rapidité ni précision, avec à la clé de nets gains de productivité.

SWIFTI est aussi sûr, rapide et précis qu'un robot industriel.

Autre source d'économies : SWIFTI accepte l'outillage d'un IRB 1100 traditionnel. Il intègre par exemple quatre entrées d'air qui peuvent être exploitées par l'alimentation d'un préhenseur pneumatique à ventouses pour saisir plusieurs pièces en même temps. Destiné habituellement aux IRB 1100, l'outil peut équiper SWIFTI sans aucune modification.

Partageant la même plate-forme que l'IRB 1100, SWIFTI trouve toute sa place à proximité des humains pour des opérations de chargement, déchargement, assemblage, mais aussi de mise en kit, manutention et parachèvement (vissage, insertion, polissage).

Simplicité de programmation

Bien que perfectionnés, GoFa et SWIFTI n'exigent pas la maîtrise d'un langage de programmation complexe. Pour créer une application personnalisée, il suffit de mettre le bras du cobot dans différentes positions et de se laisser guider par l'assistant logiciel d'ABB. Très simple, cette programmation par apprentissage se

—
05 SWIFTI comble le fossé entre robots collaboratifs et robots industriels.

—
06 La programmation se résume à quelques cliquer-déposer de blocs graphiques sur l'écran FlexPendant d'ABB.

résume à quelques glisser-déposer de blocs graphiques sur l'écran FlexPendant →06 d'ABB ; l'opérateur visualise immédiatement les résultats et procède à des ajustements si nécessaire. L'assemblage de ces blocs

—
Des blocs de programmation personnalisés peuvent commander des préhenseurs ou répondre à des besoins spécifiques.

permet de créer des programmes complets couvrant une large palette applicative.

Pour des besoins plus spécifiques, ABB propose le logiciel Skill Creator, qui transforme des routines de programmation RAPID standard en blocs directement exploitables dans l'assistant par des non-programmeurs. Ces blocs « métiers » servent par exemple à commander des préhenseurs ou à répondre à des applications spécifiques comme l'automatisation de laboratoire.

Autre outil appréciable : le logiciel de simulation et programmation hors ligne RobotStudio® d'ABB. Installée sur PC, cette solution de pointe autorise la programmation, la configuration et la mise en service virtuelle du robot avant installation. Enfin, l'application SafeMove Visualizer intègre des configurations de sécurité directement dans FlexPendant pour permettre aux opérateurs de définir des zones de travail sûres avant la mise en service de SWIFTI. •

06

—
Bibliographie

[1] McKinsey, *The Future of Work in Europe*, 2020, p. iv, disponible sur : https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Featured Insights/Future of Organizations/The future of work in Europe/MGI-The-future-of-work-in-Europe-discussion-paper.pdf (consulté le 19 mai 2021).

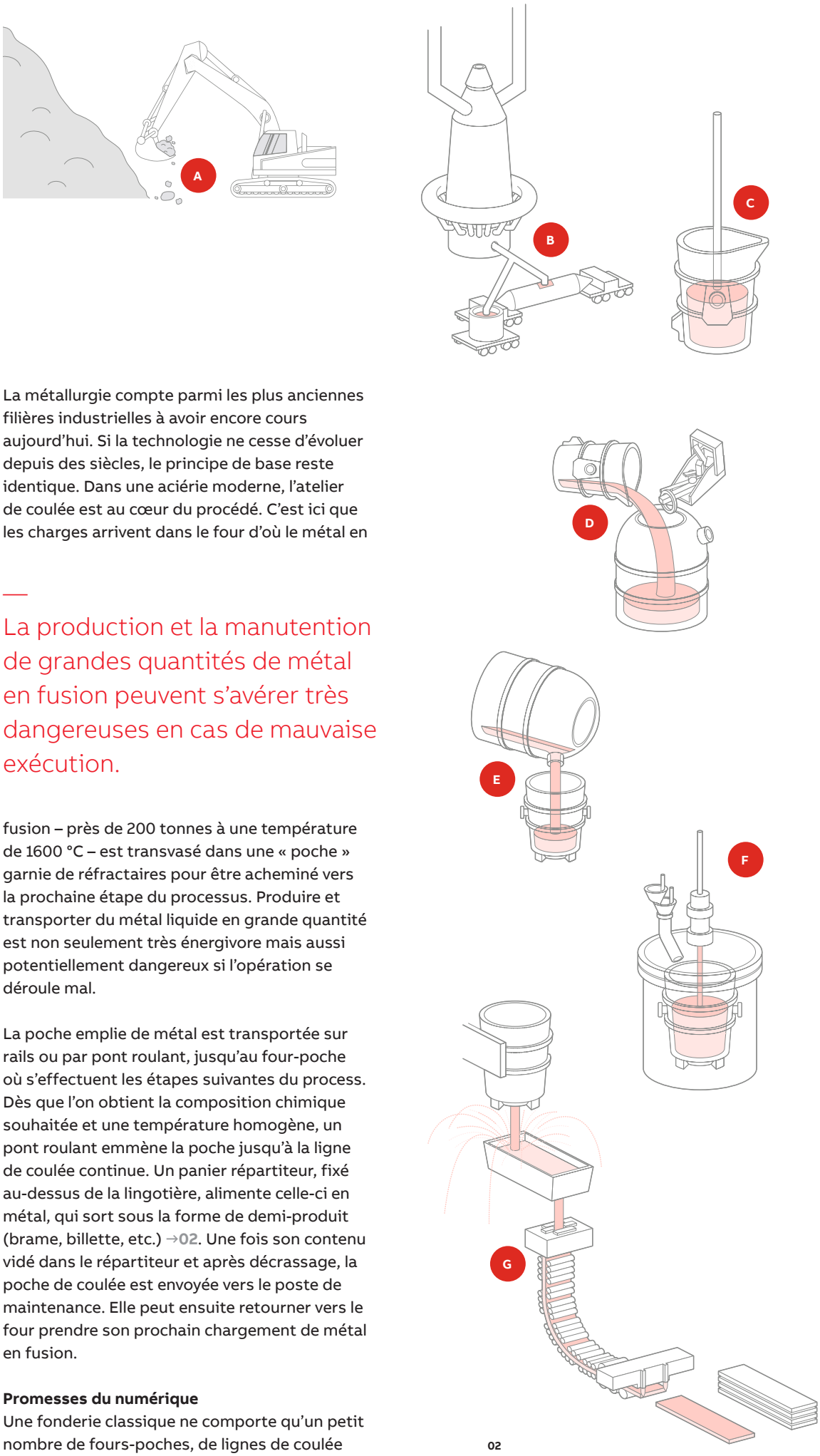
01

PRODUCTIVITÉ

Mue numérique en métallurgie

Peu de sites industriels comportent autant d'aspects critiques qu'une fonderie, où tout doit être parfait : le moindre écart dans l'utilisation des équipements, la planification, la sécurité ou la consommation énergétique peut être lourd de conséquences. La nouvelle solution ABB Ability™ Smart Melt Shop aide les aciéristes à relever ce défi.

Crédit photo : fanjianhua/stock.adobe.com



—
01 La solution numérique ABB Ability™ Smart Melt Shop améliore la productivité et l'efficacité énergétique des fonderies.

—
02 Opérations et équipements métallurgiques
A Extraction des matières premières
B Haut-fourneau
C Transport par poche de coulée
D Convertisseur à oxygène
E Transport par poche de coulée
F Four-poche
G Coulée continue

La métallurgie compte parmi les plus anciennes filières industrielles à avoir encore cours aujourd'hui. Si la technologie ne cesse d'évoluer depuis des siècles, le principe de base reste identique. Dans une aciérie moderne, l'atelier de coulée est au cœur du procédé. C'est ici que les charges arrivent dans le four d'où le métal en fusion – près de 200 tonnes à une température de 1600 °C – est transvasé dans une « poche » garnie de réfractaires pour être acheminé vers la prochaine étape du processus. Produire et transporter du métal liquide en grande quantité est non seulement très énergivore mais aussi potentiellement dangereux si l'opération se déroule mal.

—
La production et la manutention de grandes quantités de métal en fusion peuvent s'avérer très dangereuses en cas de mauvaise exécution.

La poche emplie de métal est transportée sur rails ou par pont roulant, jusqu'au four-poche où s'effectuent les étapes suivantes du process. Dès que l'on obtient la composition chimique souhaitée et une température homogène, un pont roulant emmène la poche jusqu'à la ligne de coulée continue. Un panier répartiteur, fixé au-dessus de la lingotière, alimente celle-ci en métal, qui sort sous la forme de demi-produit (brame, billette, etc.) →02. Une fois son contenu vidé dans le répartiteur et après décrassage, la poche de coulée est envoyée vers le poste de maintenance. Elle peut ensuite retourner vers le four prendre son prochain chargement de métal en fusion.

Promesses du numérique
Une fonderie classique ne comporte qu'un petit nombre de fours-poches, de lignes de coulée

—
Anurag Nandwana
Gautham Madenoor Ramapriya
Ulaganathan Nallasivam
ABB Corporate Research
Bangalore (Inde)

anurag.n@in.abb.com
gautham.madenoor-ramapriya@in.abb.com
ulaganathan.nallasivam@in.abb.com

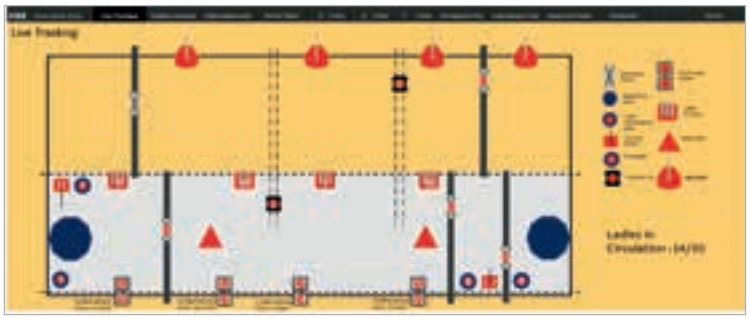
Tarun Mathur
ABB Metals
Mannheim (Allemagne)

tarun.mathur@in.abb.com

Thota Phanindra
Suraj Kotian
Praveen KC
Amitkumar Chakraborty
ABB Metals
Bangalore (Inde)

venkata.phanindra@in.abb.com
suraj.s.kotian@in.abb.com
praveen.kc@in.abb.com
amitkumar.chakraborty@in.abb.com

02



03

04

05

continue, d'engins de transport et, parfois, d'unités de dégazage pour améliorer la pureté et la qualité du métal. Il est donc d'autant plus important de rationaliser leur utilisation. Ces équipements sont le plus souvent pilotés par les équipes de terrain qui suivent le déplacement des ponts roulants, la disponibilité des unités et le déroulement des opérations de chargement/déchargement. Le suivi temps réel des ponts et des poches de coulée est l'affaire du chef d'atelier et des équipes de production, qui courent un grand danger au pied des installations ; les accidents peuvent être graves voire mortels.

La coulée ne devant jamais s'interrompre, il incombe au chef d'atelier de garantir la présence permanente de métal en fusion au niveau de toutes les poches. Le fait que ce procédé continu soit précédé du passage dans le four-poche, donc par un traitement par lot (procédé batch), complique la tâche et la prise de décision en temps réel.

C'est à ce niveau qu'ABB estime que le numérique pourrait rendre l'atelier plus sûr et plus productif.

Améliorer la productivité a certes un impact sur le chiffre d'affaires, mais rendre l'exploitation plus écoperformante est tout aussi important au plan financier. L'étape du four-poche, nous l'avons vu, est particulièrement énergivore. Pendant le transfert du four à la poche de coulée, le métal en fusion peut se refroidir jusqu'à passer sous la température requise, ce qui impose de le réchauffer et de le retravailler ; un véritable

—

ABB Ability™ Smart Melt Shop améliore la sécurité, la productivité et l'efficacité énergétique de la fonderie.

gâchis d'énergie et de rendement productif, sans compter le risque de dégâts matériels. Surchauffer le métal rallonge le temps passé dans le four et augmente la consommation énergétique.

La solution ABB Ability™ Smart Melt Shop →01 entend y remédier. Elle comporte trois volets :
- Un système de suivi des poches dans tout l'atelier ;
- Un module d'ordonnancement qui assure une gestion efficace des ponts roulants et des équipements de coulée pour optimiser le rendement productif ;
- Un module thermique qui améliore l'efficacité énergétique et la productivité.

Suivi
Connaître à tout instant l'emplacement et l'état des poches de coulée et ponts roulants est essentiel dans une fonderie. Si les ponts sont facilement repérables à l'œil nu, ce n'est pas toujours le cas des poches. Diverses méthodes de localisation ont déjà été testées, mais elles se sont vite heurtées à des limitations intrinsèques à la nature du procédé : les balises d'identification par radiofréquences RFID, par exemple, ne sont détectables qu'à proximité de leur base et, même dans un boîtier refroidi, supportent assez mal les conditions extrêmes environnantes.

—
03 Le système de suivi peut gérer à tout moment plus d'une douzaine de poches.

—
04 Planning général consolidé par l'ordonnanceur

—
05 Extrait du planning affiché sur l'écran du pilote de pont roulant

—
06 Coulée du métal en fusion

Des barrières dont s'affranchit la solution Smart Melt Shop, capable de suivre avec précision les déplacements de chaque poche dans l'atelier. Le principe en est simple : les poches se déplaçant forcément par wagon ou pont roulant, une caméra identifie par son numéro chaque poche qui entre dans la zone active de la fonderie. Tout au long du transfert, cette position est mise à jour dans la base de données et affichée à l'écran du contrôle-commande centralisé →03 jusqu'à ce qu'un autre wagon ou pont vienne au même endroit pour charger la poche, et ainsi de suite. Entre deux repérages, le système extrapole la position de la poche à partir du déplacement attendu de l'engin de transport.

Ordonnancement

Le module d'ordonnancement utilise les informations temps réel du système de suivi pour organiser les actions futures de la manière la plus efficace et la plus productive sur un horizon temporel donné. Lorsque l'activité planifiée arrive presque à terme, le programme calcule le planning de la période suivante.

L'ordonnanceur utilise les informations de suivi temps réel des poches pour rationaliser et optimiser la production.

À chaque génération de planning, le module :

- collecte des informations sur chaque équipement ;
- détermine l'endroit où la poche en cours de transfert doit être déposée ;
- identifie les ponts en charge du transfert ;
- calcule le moment précis de la pose/dépose des poches à hauteur de chaque machine.

Ces calculs doivent tenir compte de contraintes inhérentes au fonctionnement d'une fonderie. Par exemple, chaque poche exécute une séquence donnée d'actions au cours d'un cycle et doit demeurer un certain temps au niveau de chaque machine avant d'être enlevée à nouveau. Une fois

06

07

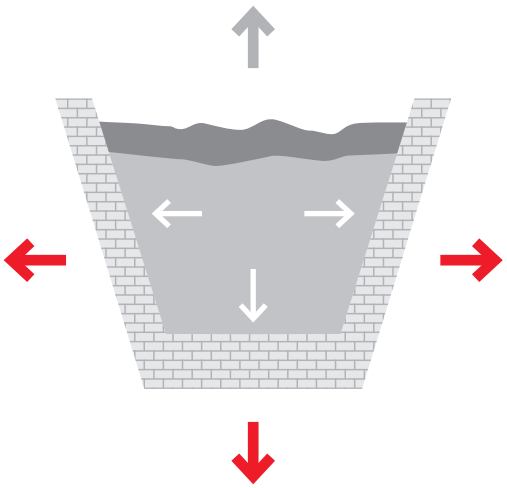
toutes ces exigences, et bien d'autres, intégrées, le module élabore un planning qui s'affiche sur l'écran de contrôle-commande →04.

L'opérateur s'appuie sur l'extrait du planning général pour savoir à tout instant quand et où amener le pont roulant.

De même, le pilote de chaque pont roulant dispose d'un écran présentant les actions futures affectées à ce pont. Cet extrait du planning général lui permet de savoir à tout instant quand et où amener le pont roulant →05. Les données fournies par le module d'ordonnancement ne servent pas uniquement à guider les opérateurs de production ; elles sont aussi utilisées en entrée du module thermique.

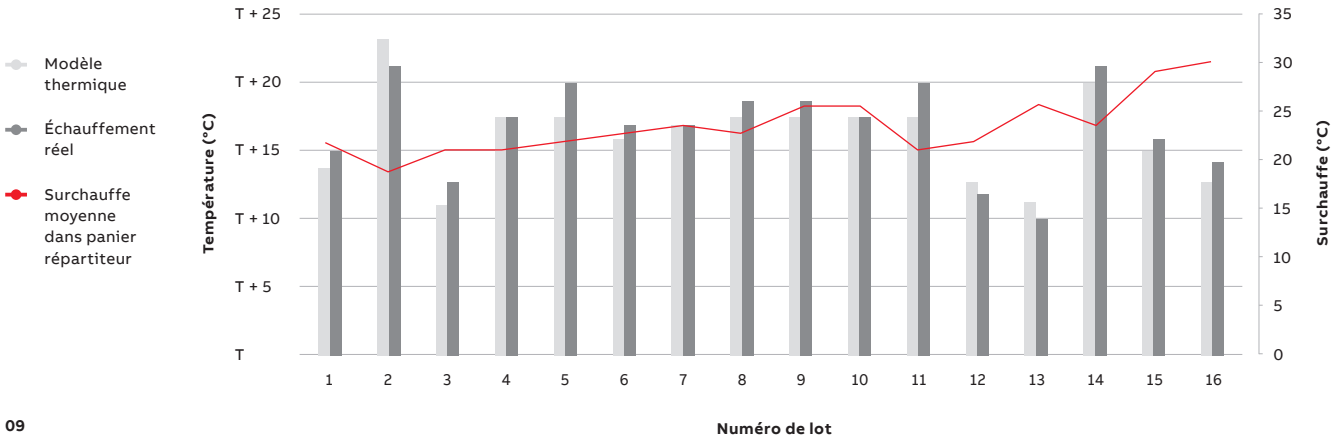
Prédiction et régulation thermiques
La température du métal en fusion au moment de la coulée doit se trouver dans une plage étroite. Or le maintien, le transfert et la coulée du métal dans la lingotière occasionnent une déperdition calorifique →06–07.

L'ampleur des pertes dépend de différentes variables, liées soit au procédé (composition du métal, température de fusion, temps d'attente, propriétés du laitier et type de coulée), soit à la poche de coulée (composition des parois, érosion du garnissage réfractaire, historique des variations thermiques de la poche, etc.). Ces données



08

Crédit photo : Kekyalyaynen/stock.adobe.com



09

—
07 Pertes de chaleur durant la manutention et le transport

—
08 Pertes de chaleur au niveau de la poche

—
09 Modèle de prédiction thermique et température de coulée réelle ; la surchauffe doit se tenir entre 20 et 30 °C.

étant spécifiques au chargement transporté, la déperdition d'énergie et donc la température nécessaire en sortie de four-poche sont différentes à chaque fois. La température optimale à l'intérieur du four peut aussi varier d'un lot à un autre ; parfois de plus de 40 °C, comme dans l'usine pilote où fut inauguré le modèle (cf. infra). Le modèle thermique utilisé par ABB Ability

—

Le numérique peut radicalement changer l'exploitation de secteurs industriels réputés hostiles et dangereux.

Smart Melt Shop estime l'évolution temporelle des déperditions de chaleur et prédit la température finale exigée en sortie de four-poche. Il s'appuie sur une technique de discrétisation pour résoudre les transferts de chaleur par les parois de la poche et avec d'autres interfaces →08 ; à partir des résultats obtenus, il fournit une consigne de température à l'opérateur.

Smart Melt Shop à l'œuvre

Un grand aciériste indien a déployé la solution sur une de ses installations, où la performance du module thermique a nettement amélioré l'efficacité et la fluidité de l'exploitation. Seize lots →09 ont été chauffés à ±2 °C de la consigne donnée par le modèle thermique. À l'exception du lot 2, tous affichaient la température de coulée souhaitée. Les gains énergétiques sont ici estimés à 4500 MWh/an, pour une production annuelle de 4 millions de tonnes. L'énergie n'est pas le seul poste d'économies, puisque le modèle permet aussi de limiter la consommation des électrodes ou le regarnissage de la poche entre lots. Sans compter qu'un métal à température optimale accélère la coulée et améliore la productivité.

Vers l'autonomie

ABB Ability Smart Melt Shop illustre les bénéfices de la numérisation dans des environnements industriels réputés hostiles et dangereux. Le suivi numérique des opérations ne se contente pas d'augmenter la productivité et l'efficacité énergétique de l'atelier, mais en améliore également la sûreté. Alors que de nombreuses fonderies fonctionnent encore en manuel, le potentiel d'automatisation et de progression est vaste. La solution ABB représente un grand pas en avant sur la voie de l'économie et de l'écoperformance. •

Connec-tivité

L'électricité et les données sont assurément les deux vecteurs du monde hyper-connecté de demain. Si mettre en place les réseaux ad hoc n'est déjà pas une mince affaire, les administrer et les protéger s'avère encore plus compliqué. Heureusement, ABB a de l'expérience dans tous ces domaines.

60 Ethernet-APL et OPC UA gagnent le process
68 Un nouveau disjoncteur ABB facilite l'intégration de la production décentralisée
74 Bateaux branchés, ports préservés

CONNECTIVITÉ

Ethernet-APL et OPC UA gagnent le process

ABB s'est associé à d'autres grands fournisseurs de solutions d'automatismes et des organismes de standardisation pour développer des connexions Ethernet répondant aux exigences de la sécurité intrinsèque dans l'atelier. Un pas décisif en faveur de la convergence, via OPC UA, des réseaux d'information et de production industriels.

Stefan Bollmeyer
ABB Measurement & Analytics
Minden (Allemagne)

stefan.bollmeyer@de.abb.com

Francisco Mendoza
ABB Process Automation
Ladenburg (Allemagne)

francisco.mendoza@de.abb.com

Si le réseau Ethernet a depuis une dizaine d'années étendu son emprise dans l'automatisation manufacturière, il a plus de mal à s'imposer dans le domaine des procédés continus, notamment dans les applications critiques situées en environnements dangereux [1]. Le principal frein ? Bâti sur des transmissions analogiques de type 4-20 mA, HART ou série (bus de terrain), ce grand secteur industriel a toujours dû privilégier la sécurité au détriment de la largeur de bande et du débit.

Conséquence : les masses de données collectées par l'instrumentation sont réduites à la portion congrue, quand elles ne sont pas inaccessibles et donc inexploitables par l'entreprise, de ses machines et systèmes au cloud. Or les données sont aujourd'hui un déterminant clé de l'usine et ses objets connectés ; toute entrave à leur disponibilité et à leur transfert empêche de tirer le plein potentiel de cette précieuse manne informationnelle.

C'est pour lever ces verrous technologiques qu'ABB s'est associé à un consortium de 11 partenaires industriels et 3 organismes de standardisation pour développer une couche physique améliorée. Baptisée « APL » (Advanced Physical Layer), celle-ci ambitionne de faire descendre Ethernet au niveau le plus bas des architectures d'automatismes, jusqu'aux derniers mètres du process, y compris en zones explosibles. Simple, pratique, compatible avec l'existant et facile d'emploi, la couche APL porte la bande passante et la vitesse de transmission au niveau imposé par les applications qui accompagnent la transformation numérique de l'industrie des procédés, comme la gestion et la surveillance d'actifs. En parallèle, ABB s'est attaché à prolonger les bénéfices d'Ethernet-APL dans ses travaux de recherche sur les objets connectés de l'Internet industriel. Des démonstrateurs ont ainsi prouvé

Très répandu dans l'entreprise et la production manufacturière, Ethernet peine à s'imposer dans l'industrie des procédés.

que l'association de protocoles modernes, dont OPC UA, de mécanismes de cybersécurité et de techniques de modélisation de l'information pouvait faire tomber les traditionnelles barrières entre systèmes informatiques (IT) et opérationnels (OT), jusqu'au plus petit appareil de terrain peu gourmand en ressources [2]. Commercialisés depuis juin 2021, ces produits communiquant sous Ethernet-APL permettront aux usines de transformation d'exploiter à plein les données de toute la pyramide industrielle, du capteur/actionneur au système de gestion, en passant par les couches intermédiaires du contrôle-commande, du suivi et du pilotage de la production… jusque dans le cloud.

Hier → **Aujourd'hui**

	Pneumatique	Électronique + Bus de terrain			Ethernet
Technologie	Pneumatique	BC 4-20 mA	BC 4-20 mA + HART	Bus de terrain	Ethernet
Support	Air	Analogique	Analogique + série	Bus série numérique	Réseau
Mesure	1 valeur	1 valeur	1+n valeurs	n valeurs	n valeurs
Accès local aux données			Passerelle obligatoire	Intégré	Intégré
Accès distant aux données			Passerelle obligatoire	Passerelle obligatoire	Intégré

01

Paramètre	Attribut
Alimentation (commutateur Ethernet-APL)	Jusqu'à 92 W
Réseau commuté	Oui
Câble	CEI 61158-2 type A
Longueur maxi de tronc	1000 m (jusqu'en zone 1/div. 2)
Longueur maxi de branche	200 m (jusqu'en zone 0/div. 1)
Débit	10 Mbit/s en duplex intégral
Protection par le bus de terrain	2-WISE pour toutes les zones et divisions avec sécurité intrinsèque dans l'appareil (option)
Référentiels	IEEE 802.3cg-2019 (10BASE-T1L), CEI TS 60079-47 ED1 (2-WISE)

02

Ethernet sur le terrain
Les techniques et réseaux de transmission ont beaucoup progressé au fil des décennies →01. De nos jours, Ethernet est le standard de facto des communications numériques dans l'entreprise et l'industrie. Il dispose à cette fin d'une immense panoplie d'outils d'installation, de diagnostic et de dépannage standardisés, ainsi que d'une grande largeur de bande et d'un haut débit. Malgré ces atouts, son adoption reste limitée dans le secteur des procédés continus [1,3]. À cela, deux raisons principales : la simplicité et l'économie des techniques de transmission traditionnelles, qui confortent leur domination ; la dangerosité de nombre de process industriels. Coût, adéquation et praticité sont donc les trois obstacles à la conquête du terrain par Ethernet.

Le bus de terrain du futur
Dans les premiers temps de la communication industrielle, les instruments de process étaient raccordés aux systèmes numériques de contrôle-commande (SNCC) par un simple câble convertissant les mesures analogiques en boucle de courant 4-20 mA [3]. Puis vint le protocole HART qui dota ces signaux d'une capacité numérique, tout en conservant la simplicité du câblage traditionnel… sans parvenir pour autant à faire décoller le débit, limité à 1200 bit/s. Reste que cette technologie continue à dominer le paysage industriel en nombre d'équipements en place et de nouvelles installations connectées.

Les années 1990 sont marquées par l'avènement des bus de terrain série, qui deviennent au tournant du nouveau millénaire LA technologie de communication de l'industrie. Si ces réseaux numériques affichent de meilleurs débits (31,5 kbit/s), ils n'en nécessitent pas moins des passerelles pour cohabiter et s'avèrent trop complexes à réaliser, à exploiter et à entretenir pour donner pleinement satisfaction aux industriels du process. Ces derniers veulent une solution 100 % numérique, offrant la même simplicité de développement, d'usage et de maintenance que la boucle bifilaire 4-20 mA, avec une largeur de bande et une vitesse de transmission dignes d'Ethernet, et ce jusqu'à l'appareil de terrain implanté en zone à risques.

La collaboration, clé du tout-Ethernet
La mise en place d'une communication Ethernet répondant à ces exigences ne va pas sans difficultés : le réseau pâtit en effet d'une faible portée (100 m), d'un câblage complexe (paires torsadées)

—

La dangerosité d'un grand nombre d'environnements industriels freine la descente d'Ethernet vers le terrain.

et d'un manque de sécurité en zones dangereuses. Lever ces obstacles réclame de gros efforts de recherche-développement ainsi qu'un solide partenariat entre chefs de file de l'automatisation de procédé et organismes de normalisation. Conscients de la nécessité d'implanter des usines entièrement numérisées, ouvertes aux applications 4.0, de grands noms des automatismes ont dès 2010 compris l'importance d'étendre la connectivité Ethernet

—
01 Évolution des techniques de communication dans l'industrie des procédés

—
02 Caractéristiques techniques d'Ethernet-APL

—
03 Ethernet-APL accroît la vitesse de transmission entre appareils de terrain, aussi bien dans les environnements sûrs que dangereux.

au niveau terrain. En 2015, le projet Ethernet-APL compte parmi ses initiateurs des fournisseurs réputés comme ABB, Emerson, Endress+Hauser, Krohne, Pepperl+Fuchs, Phoenix Contact, R. Stahl, Rockwell Automation, Samson, Siemens, Vega et Yokogawa, relayés par trois associations d'utilisateurs de bus de terrain : FieldComm Group, ODVA et PROFIBUS & PROFINET International (PI). De ce travail de groupe sont nées en 2018 les spécifications d'une solution de communication Ethernet industriel viable et durable, totalement compatible IEEE 802.3 et satisfaisant aux critères suivants [3] :

- Câble à deux fils ;
- Longue portée ;
- Alimentation/communication sur la même paire de fils ;
- Prise en charge de toutes les techniques de protection contre les explosions, y compris la sécurité intrinsèque ;
- Simplicité d'installation ;
- Réutilisation du câble de bus de terrain existant (type A) afin de réduire les coûts et de faciliter la transition vers Ethernet-APL ;
- Résilience aux perturbations électromagnétiques ;
- Protection contre les surtensions.

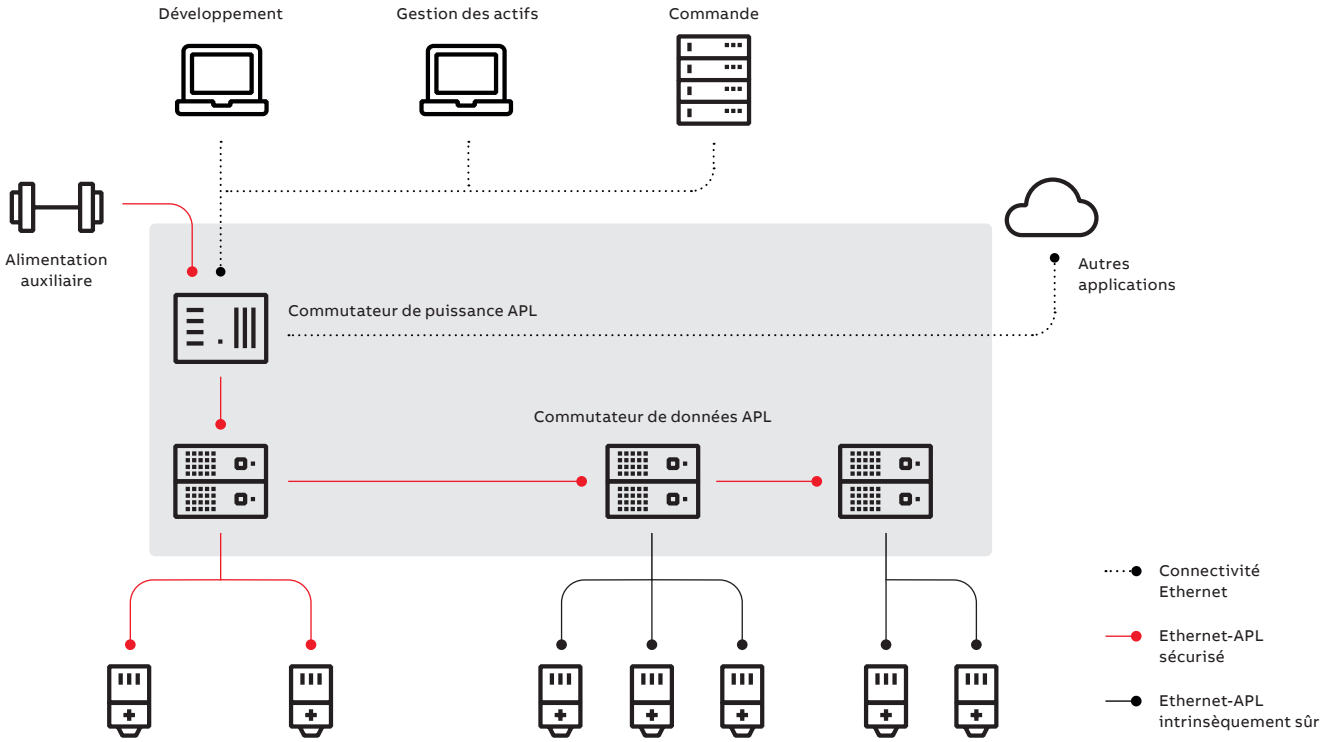
Au cœur d'Ethernet-APL

Ethernet-APL est à la fois l'aboutissement de presque dix ans de recherche-développement pour amener Ethernet jusqu'au terrain et l'évolution logique de l'IEEE 802.03, à l'origine d'Ethernet, en nouveau standard IEEE 802.3cg-2019 →02 [4]. Dans ce cadre normatif, la variante 10BASE-T1L simplifie l'architecture réseau et accélère notablement les

—

Ethernet-APL est une couche physique améliorée permettant de transmettre les données de terrain sur une seule paire torsadée, à 1000 m de distance.

transmissions numériques entre instruments (300 fois plus vite que les bus Foundation Fieldbus H1 ou PROFIBUS PA, 8000 plus que le protocole HART du début !), en respectant à la lettre le cahier des charges [1]. Ethernet-APL est donc un perfection-



03

04

05

06

—
04 Prototypes Ethernet pour la communication entre débitmètres massiques Coriolis d'ABB (en haut) sur OPC UA

—
05 Prototype Ethernet pour la connexion d'une jauge laser LLT100 d'ABB à OPC UA

—
06 Réseau Ethernet-APL interconnectant sur OPC UA des prototypes ABB de capteur de pression (à gauche) et de niveau (à droite), via un prototype de commutateur Ethernet-APL (en haut)

nement de la couche physique permettant l'acheminement des données sur seulement deux fils (technologie « SPE ») jusqu'à 1000 m de distance, avec la possibilité de téléalimenter les appareils connectés. La définition de profils de port adaptés à différentes classes de protection antidéflagrante autorise l'extension de 10BASE-T1L aux zones à risques : un progrès de taille pour l'automatisation des procédés. À cela s'ajoute la spécification 2-WISE de la CEI, en 2021, qui fixe les règles de la sécurité intrinsèque sur l'Ethernet à deux fils (sans calculs) pour les instruments alimentés en boucle ou individuellement, dans les zones de danger classées 0, 1 et 2/divisions 1 et 2 →03. Inspirée du concept de bus de terrain à sécurité intrinsèque (FISCO), cette nouvelle norme simplifiera la mise en œuvre et la validation de la technologie [4].

Topologies
Ethernet-APL prend en charge plusieurs topologies d'installation de type « tronc et branches » avec, en option, des fonctions de redondance et de résilience. La dorsale du réseau, ou « tronc », véhicule les signaux de données et de haute puissance sur des câbles de 1000 m, tandis que les ramifications, ou « branches », acheminent de faibles puissances avec en option la sécurité intrinsèque, sur des distances maximales de 200 m. Ethernet-APL établit des liaisons exclusivement point à point, chaque connexion entre participants au réseau constituant un « segment ». Des commutateurs sont prévus pour isoler les communications entre segments.

Compatibilité protocolaire
Bien que prometteuse, la technologie Ethernet-APL mettra du temps à s'implanter [3]. L'hégémonie de la boucle de courant 4-20 mA et du protocole HART fait qu'il est difficile de convaincre les industriels du process à revoir de fond en comble leurs outils de développement et systèmes au profit d'APL. Cette résistance au changement ne peut être surmontée que si la valeur ajoutée de la technologie est clairement démontrée.

Sa gestion d'Ethernet/IP, d'HART-IP, d'OPC UA, de PROFINET et d'autres protocoles évolués va dans ce sens. Pour preuve, les systèmes de contrôle-commande distribués de nombreuses filières de l'industrie des procédés sont d'ores et déjà passés à PROFINET et Ethernet/IP ; il leur sera donc facile d'adopter Ethernet-APL. Sans compter qu'APL élimine les passerelles ou autres convertisseurs de protocole, d'où une complexité réduite, un moindre coût global de possession, une meilleure utilisabilité et une plus grande robustesse par rapport aux bus série ou transmissions analogiques 4-20 mA + HART. Autant d'arguments pour convaincre l'industriel de la plus-value APL.

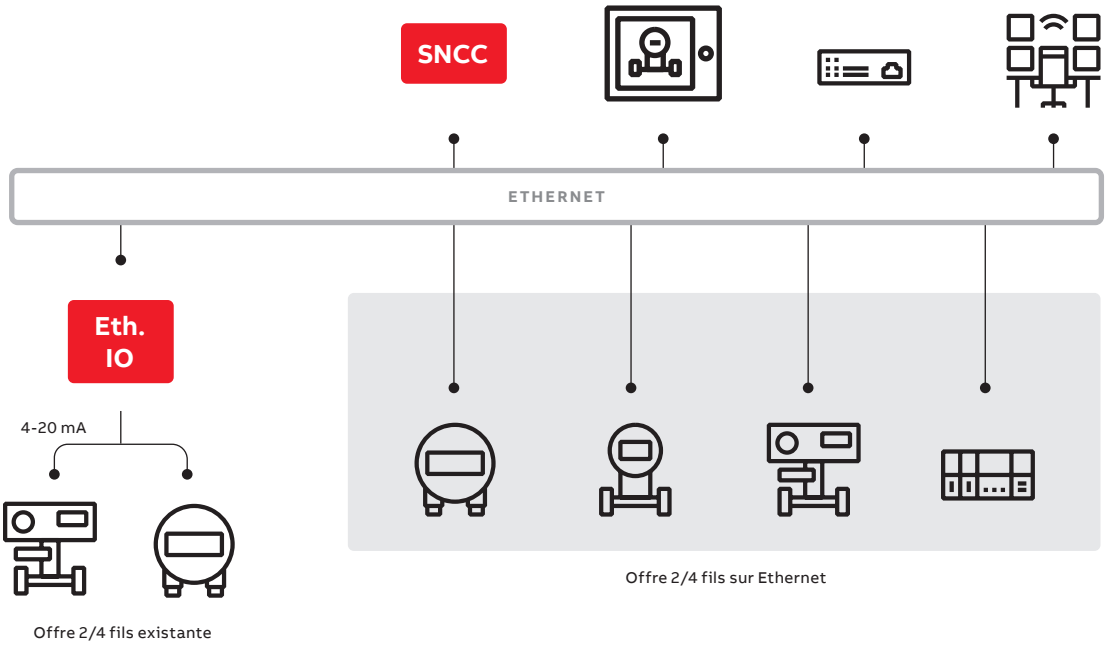
Autre atout : les protocoles modernes peuvent aussi s'exécuter sur APL [1]. C'est le cas d'OPC UA, sur lequel ABB s'est justement penché. Ethernet-APL permet de déployer cette plate-forme de communication ouverte directement dans les appareils de terrain pour faciliter leur intégration aux applications informatiques et opérationnelles de l'industrie du futur.

Ethernet-APL et OPC UA intégré
En 2016, l'association de groupes chimiques allemands NAMUR a publié une mise en garde (qui débouchera en 2018 sur la recommandation NE 168) invitant les fournisseurs d'automatismes résolus à déployer Ethernet dans l'atelier à ne pas reproduire les erreurs entachant les précédentes générations de bus de terrain [5–6]. Ce fut pour ABB l'occasion d'étudier les moyens de surmonter les obstacles à la transparence et à la continuité des échanges, telles que les conversions massives et les laborieuses descriptions d'équipements

—
APL prolonge la connectivité 10BASE-T1L dans les atmosphères explosibles : une prouesse technique !

dont ont besoin les bus historiques pour exploiter les données utiles d'un process aux fins de contrôle-commande, de suivi d'état, d'optimisation et de maintenance. OPC UA, au premier chef, a l'avantage de compléter ces données d'informations sémantiques qui, selon ABB, sont à même de faire sauter les traditionnels verrous des bus de terrain, sous réserve d'un déploiement correct. Dès 2017, ABB mettait au point une série de prototypes pour démontrer l'aptitude d'OPC UA à transférer les données de production en toute sécurité, avec des performances suffisantes et de faibles besoins mémoire, tout à fait adaptés aux appareils limités en ressources →04. Un progrès quand on sait qu'OPC UA était auparavant réservé aux échanges entre dispositifs plus puissants, comme des serveurs ou des automates.

Le Groupe commença par évaluer l'adéquation d'OPC UA aux débitmètres 4 fils dans lesquels signaux de données et de puissance cheminent séparément. Moyennant un adaptateur Ethernet pour convertir le protocole HART de l'instrument dans un serveur OPC UA, ABB a obtenu des performances satisfaisantes. Il devint alors



07

facile d'accéder à des centaines de paramètres d'appareils via OPC UA, sans avoir recours à des descriptifs matériels supplémentaires. ABB a également étudié la mise en œuvre d'OPC UA dans des appareils miniaturisés (capteurs de niveau, par exemple), plus sobres en énergie →05. En optant pour la nouvelle pile protocolaire OPC UA, qui vise

—

L'intégration OPC UA/Ethernet-APL dote le terrain d'un protocole de communication universel.

les appareils embarqués à haute performance et faible capacité mémoire, ABB a pu utiliser une plate-forme Ethernet intégrant nativement OPC UA et toutes les fonctionnalités de l'équipement dans ce prototype. La consommation électrique et l'espace mémoire en ont été d'autant réduits, sans dégrader la vitesse de rafraîchissement.

Le résultat étant à la hauteur des objectifs de performance et d'économie promis par Ethernet-APL, ABB a réalisé un dispositif nativement OPC UA, alimenté en puissance et en données sur une même paire de fils. L'application de mesure de niveau a débouché sur une carte d'évaluation développée par le consortium Ethernet-APL →06. L'équipe ABB a ensuite étudié le portage et l'intégration d'OPC UA dans un prototype de capteur de pression nécessitant l'une des vitesses de rafraîchissement (2 ms) les plus élevées de l'instrumentation de process.

Utilisés sur les premiers bancs d'essai Ethernet-APL de plusieurs clients triés sur le volet, ces prototypes ABB font aujourd'hui preuve d'une totale interopérabilité au sein du réseau multiconstructeur. Le Groupe ne se contente pas d'implanter la technologie Ethernet-APL ; il mène également les travaux de normalisation des équipements communiquant sur OPC UA, en partenariat avec la fondation OPC et FieldComm Group.

Ces expérimentations sont propres à garantir aux clients des communications Ethernet à très hautes vitesses de transfert et de rafraîchissement, sur deux fils véhiculant sans problème données et puissance →07. Grâce à des modèles d'information embarqués, dans lesquels la sémantique est incorporée à l'information transmise, ces équipements n'auront pas besoin de descriptions supplémentaires et pourront facilement s'intégrer à différentes applications.

Le terrain, valeur ajoutée de l'entreprise
Grâce à son architecture réseau simplifiée et affranchie des conversions de protocole, Ethernet-APL offre une parfaite compatibilité, une grande facilité d'emploi, un débit de 10 Mbit/s, tout en affichant la simplicité de la boucle 4-20 mA, ainsi qu'une largeur de bande adaptée aux échanges entre instruments et une gestion multiprotocole. En multipliant

Crédit photo : standret/stock.adobe.com

—
07 Schéma illustrant la convergence sur réseau Ethernet d'équipements de process traditionnels reliés par boucle de courant 4-20m A et d'appareils de terrain dotés de connexions Ethernet-APL multiprotocoles.

—
08 Avec sa vaste panoplie d'outils d'installation, de diagnostic et de dépannage, l'Ethernet à haut débit est le standard par excellence des technologies numériques câblées dans la grande majorité des procédés industriels.

les connexions d'un vaste parc d'instruments 2 fils déployés en ambiances explosibles, Ethernet-APL améliore les performances de communication sans déroger aux impératifs de sécurité →08. L'intégration des technologies

—
Les premiers produits Ethernet-APL commercialisés par ABB et ses partenaires seront à l'ACHEMA Pulse 2021.

OPC UA et Ethernet-APL dote le niveau terrain d'un protocole de communication à la fois dédié et universel. Elle ouvre la voie à des modèles d'information et une sémantique libérés des descriptions d'équipement, contribuant ainsi au décloisonnement des mondes IT et OT.

ABB et d'autres fournisseurs d'automatismes n'auront pas attendu le lancement d'Ethernet-APL, à l'automne 2021, pour présenter des produits compatibles lors de la première édition entièrement virtuelle du salon ACHEMA Pulse, qui s'est tenue juin. Un point d'orgue à la longue migration d'Ethernet vers le process pour une connectivité sûre, fluide et continue à tous les échelons de la hiérarchie industrielle, jusque dans le cloud. •

Remerciements
Cet article n'aurait pas été possible sans les idées, les apports et le dévouement de nombreux collaborateurs ABB. Parmi les contributeurs, que soient tout particulièrement remerciés Roland Braun, Philipp Bauer, Alexander Gogolev, Alexander Nahrwold, Peter Ude et Tilo Merlin.

—
Bibliographie

[1] Larson, K., « The Last Mile-APL Standard to Make Field-level Ethernet a Pratical Reality », *Control*, p. 24-28, juin 2020.

[2] Gogolev, A., « OPC UA et TSN, au cœur des réseaux industriels de demain », *ABB Review*, 1/2020, p. 30-35.

[3] APL Project group, « Ethernet to the Field », livre blanc, p. 1-17, 2020.

[4] « Moving Forward: Advanced Physical Layer for Industrial Ethernet », *Profinews*, disponible sur : https://profinews.com/2019/11/moving-forward-advanced-physical-layer-for-industrial-ethernet/, 30 novembre 2019 (consulté le 1er juillet 2021).

[5] Plauky, « Ethernet-Kommunikation », exposé présenté à la session plénière 2016 de la NAMUR.

[6] Groupe de travail 2.6 « Digital Prozesskommunikation » de la NAMUR, « Anforderungen an ein Ethernet-Kommunikationssystem für die Feldebene », NE 168, p. 1-9, 22 novembre 2018.

08

01

CONNECTIVITÉ

Un nouveau disjoncteur ABB facilite l'intégration de la production décentralisée

La production décentralisée d'énergie, à l'image des systèmes de cogénération de chaleur et d'électricité, promet une nette réduction des émissions de CO_2 dans les grandes métropoles.

Crédit photo : jgolby/stock.adobe.com

—
01 Le projet pilote de Tower Hamlets, dans l'est londonien, teste les nouveaux disjoncteurs limiteurs de courant de défaut ABB.

—
Thomas Eriksson
Jesper Magnusson
Johan Nohlert
Switching and Systems
Västerås (Suède)

thomas.r.eriksson@se.abb.com
jesper.magnusson@se.abb.com
johan.nohlert@se.abb.com

Bjoern Gottschlich
Peter Jost
Control & Protection Solutions
Ratingen (Allemagne)

bjoern.gottschlich@de.abb.com
peter.jost@de.abb.com

Les énergéticiens cherchent depuis longtemps comment raccorder au réseau les systèmes de production décentralisés sans coût excessif. Alors que la cogénération décentralisée de chaleur et d'électricité est de plus en plus reconnue pour son potentiel d'économies d'énergie, un disjoncteur limiteur de courant de défaut (FLCB) conçu par ABB offre la possibilité d'exploiter de façon sûre et bon marché cette technologie bas carbone.

Le FLCB associe la dernière génération de semi-conducteurs de puissance à des interrupteurs mécaniques ultrarapides, capables de détecter et d'interrompre les courants de défaut en quelques millisecondes, soit 20 fois plus vite que les disjoncteurs actuels.

UK Power Networks, dont le réseau de distribution couvre Londres, l'est et le sud-est de l'Angleterre, a réalisé une première mondiale en installant des FLCB dans le poste électrique de Tower Hamlets, à l'est de Londres →01. Ces disjoncteurs sont pensés pour faciliter le raccordement au réseau électrique des énergies zéro émission, comme les unités de cogénération [1].

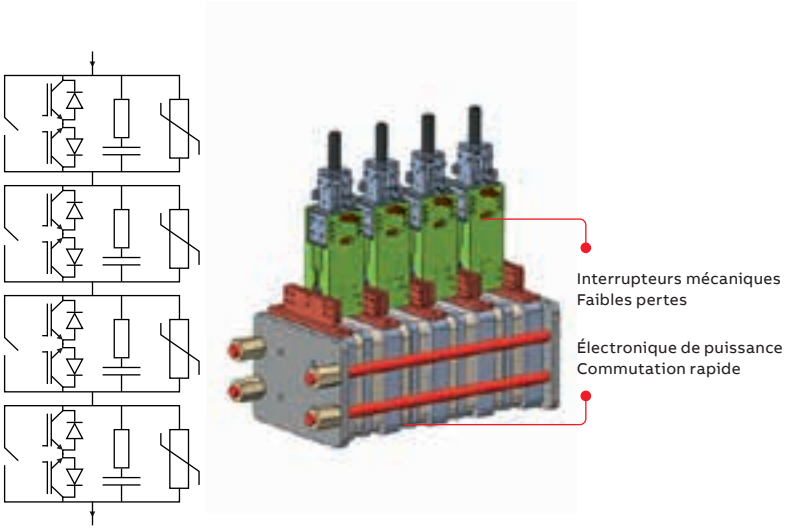
Toujours plus loin

Les nouveaux disjoncteurs ABB, non seulement ultrarapides mais aussi quatre fois moins encombrants et deux fois moins chers que les limiteurs concurrents, devraient permettre d'injecter 460 MW de puissance supplémentaire, issue de la production décentralisée, dans le réseau londonien. Dans un disjoncteur classique, l'extinction de l'arc est obtenue par l'écartement mécanique des contacts, qui crée un vide : la totalité du courant de défaut circule alors dans le disjoncteur (et le réseau) pendant 50 à 100 ms. Si les postes et composants du réseau en aval sont correctement dimensionnés pour supporter ce courant, le défaut est éliminé sans problème. Mais l'ajout de nouvelles sources d'énergie décentralisées risque d'entraîner le dépassement de la limite assignée, rendant nécessaires d'autres mesures de protection. Première possibilité : installer un dispositif limiteur de courant, ou « FCL » (Fault Current Limiter), qui maintiendra le courant de défaut en dessous du seuil critique pour le réseau.

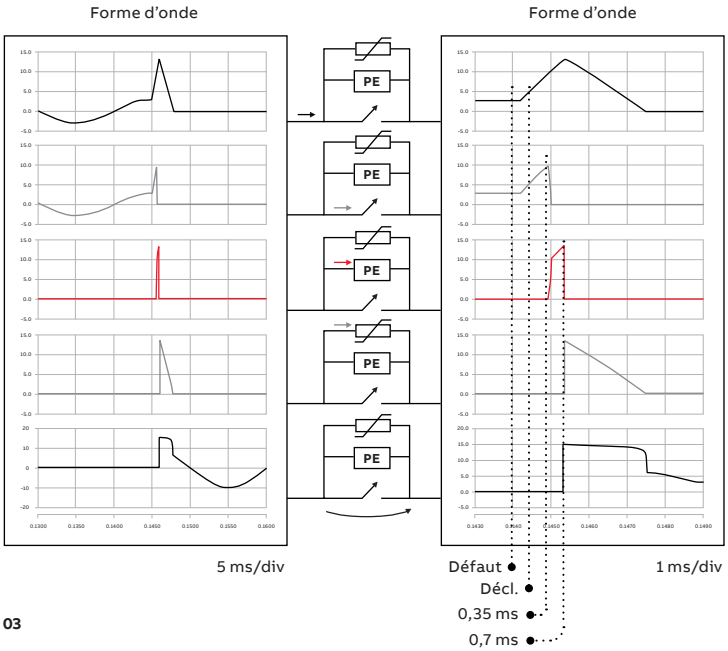
—
Le disjoncteur limiteur de courant de défaut ABB est 20 fois plus rapide que les disjoncteurs actuels.

Le FCL doit alors intervenir en à peine quelques millisecondes. L'impédance dynamique et la coupure rapide sont les deux techniques de base utilisées depuis des années à cet effet.

Les appareils à impédance dynamique, comme les limiteurs électromagnétiques ou supraconducteurs, ont l'avantage d'être assez transparents pour le réseau en exploitation normale. Pour autant, leur impédance augmente rapidement en cas de défaut, ce qui limite le courant de crête maximal [2]. En outre, ils n'interrompent pas complètement le courant mais se contentent de limiter sa valeur crête. Une fois le défaut éliminé, l'impédance revient à sa valeur normale



02



03

et le fonctionnement nominal reprend. Ces dispositifs ont néanmoins l'inconvénient d'être encombrants, lourds et, pour ceux à supraconducteurs, tributaires d'un système de refroidissement poussé. En revanche, leur conception même est gage de sûreté puisque la plupart des modes de défaut entraînent un état de forte impédance propre à limiter les surintensités.

Deuxième possibilité : une chambre de coupure rapide peut interrompre le courant avant qu'il n'atteigne le seuil critique, en quelques millisecondes seulement. ABB propose déjà un dispositif de ce type : l'I_s-limiter™ se compose d'un détecteur rapide couplé à un interrupteur lui aussi rapide, en parallèle à un fusible [3]. Sur détection de défaut, un capteur pyroélectrique ouvre l'interrupteur et redirige le courant vers le fusible, provoquant la fusion de ce dernier et donc la coupure du courant.

Les semi-conducteurs de puissance offrent une autre possibilité de coupure rapide (quelques microsecondes) et peuvent être facilement réarmés à distance après élimination du défaut, un atout non négligeable par rapport aux fusibles qu'il faut remplacer manuellement. Toutefois, ces composants coûtent cher et exigent un refroidissement supplémentaire, en particulier à des intensités nominales plus élevées.

Solution hybride

Le disjoncteur limiteur de courant de défaut développé par ABB présente des atouts notables par rapport aux deux technologies précédentes. À la différence de l'I_s-limiter, dont le capteur pyroélectrique et les fusibles sont à usage unique, le FLCB hybride est prévu pour effectuer de nombreuses manœuvres, sous ou hors tension. Il associe à cette fin la rapidité de commutation des semi-conducteurs de puissance et les faibles pertes des interrupteurs mécaniques. Plus compact que les dispositifs à impédance dynamique, il s'insère sans peine dans le dense tissu urbain de métropoles comme Londres, où d'autres technologies seraient difficiles à mettre en place.

Le FLCB présente de nombreux avantages sur les dispositifs à impédance dynamique et les chambres de coupure rapides.

Le FLCB hybride se compose d'un interrupteur mécanique rapide, d'un module électronique de puissance (PE) et d'un parafoudre →02. En régime normal, le courant traverse l'interrupteur, n'occasionnant que de très faibles pertes. Sur détection d'un défaut, l'interrupteur s'ouvre et la tension d'arc transfère le courant au module PE. Ce dernier est ensuite désactivé ; le courant passe alors dans le parafoudre, qui est calibré pour générer une contre-tension supérieure à la tension réseau. La valeur du courant est donc forcée à zéro. La capacité du parafoudre à dissiper l'énergie inductive stockée pendant la coupure du défaut est un important paramètre de conception →03. Le graphique →04 illustre la différence entre la valeur de courant limitée par le FLCB et la valeur théorique du courant de défaut sans coupure.

—
02 Architecture modulaire du FLCB

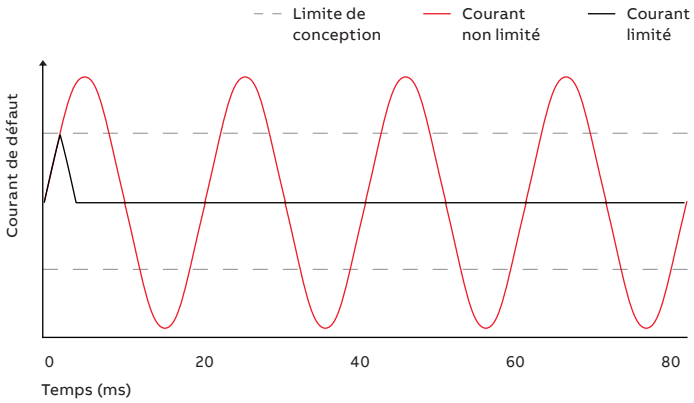
—
03 Simulation des courants et des tensions aux bornes du FLCB avec temps de manœuvre

—
04 Limitation de courant de défaut par un FLCB hybride

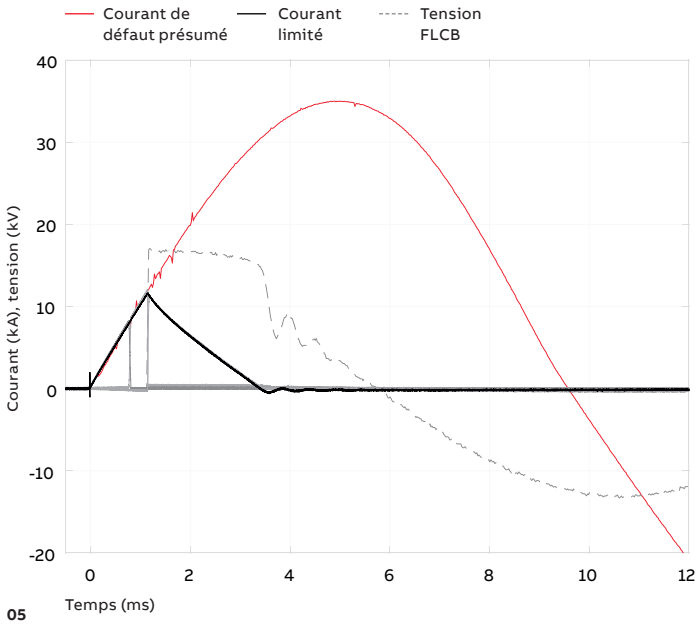
—
05 Essai de validation du FLCB

Interruption rapide
Un courant de défaut présumé de 25 kA exige ici un délai de coupure inférieur à 1 ms, donc un interrupteur mécanique extrêmement rapide. Pour éviter que le courant de défaut ne dépasse la limite de conception de l'appareil →04, la séparation des contacts doit se produire environ 0,35 ms après la détection d'un défaut ou l'identification d'un courant de défaut. La solution ABB associe des contacts légers spécialement conçus à cet effet à un actionneur magnétique afin de garantir une réactivité et une accélération adéquates.

Performance
Le projet pilote de Tower Hamlets, baptisé « Powerful CB », a été mené conjointement par ABB et UK Power Networks. Le FLCB devait a minima présenter les caractéristiques suivantes :
- Tension nominale : 12 kV ;
- Courant nominal : 2000 A ;
- Valeur efficace du courant de défaut présumé : 25 kA ;
- Valeur crête du courant limité : 13 kA ;
- Limitation du courant en moins de 1 ms après détection du défaut.



04



05

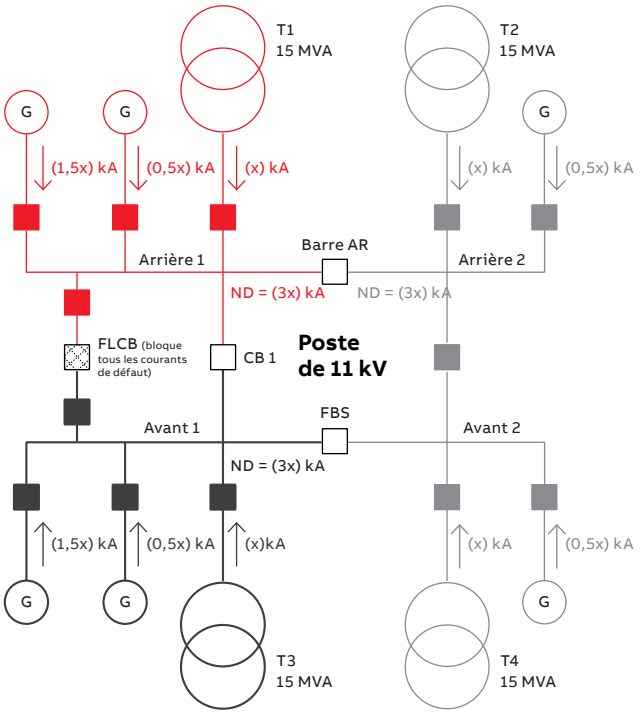
Un projet précédent [4] avait permis de démontrer que le concept hybride d'ABB satisfaisait à ces exigences. Plusieurs essais ont été réalisés dans ce cadre pour vérifier la performance, à l'image de l'essai de coupure avec une valeur maximale du courant de défaut présumé →05.

Afin de garantir que le courant de défaut dans le réseau ne dépasse jamais son maximum admissible tout en tenant compte de la dérivée de courant maximale dI/dt (environ 11 kA/ms pour un courant de défaut présumé de 25 kA), le FLCB doit intervenir moins d'une milliseconde après détection du défaut. Une situation qui impose des contraintes extrêmement fortes au système de détection et au dispositif de coupure. C'est pourquoi ABB a fait appel au module de contrôle I_s-limiter qui mesure en continu la valeur instantanée du courant et, sur dépassement d'un seuil préréglé, envoie un signal de déclenchement au contrôle-commande du FLCB en quelques microsecondes seulement. Le FLCB se composant de plusieurs dispositifs actifs, la manœuvre nécessitait la présence d'un contrôle-commande rapide et précis, à la microseconde près.

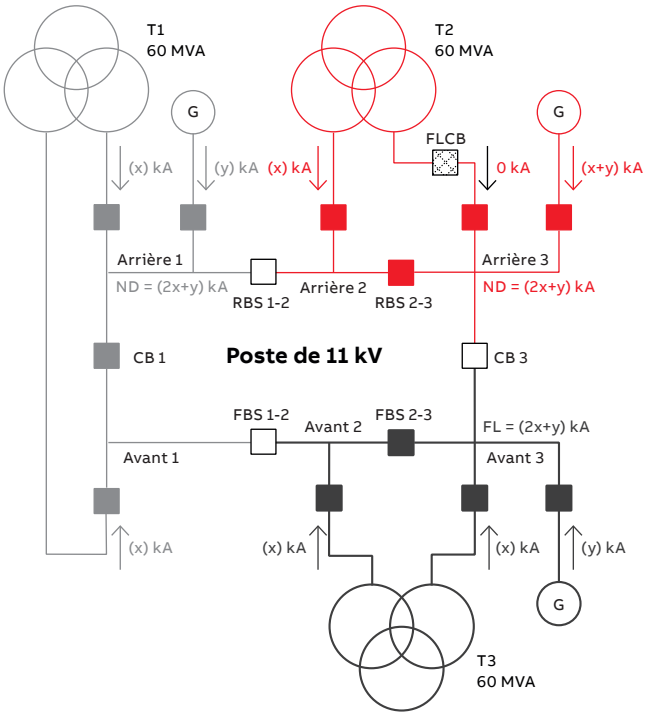
Réalisation
Le FLCB limite le courant de défaut maximal qui se propage dans un poste ou dans le réseau. Il peut pour cela être installé à différents emplacements. Dans la configuration de gauche →06, la mise hors ligne d'un transformateur suite à

—
Le FLCB limite le courant de défaut maximal circulant dans un poste électrique ou le réseau.

un défaut ou une intervention de maintenance planifiée entraîne un couplage fort des jeux de barres pour éviter de surcharger les autres transformateurs. Cette opération pouvant amener les niveaux de défaut à atteindre ou à dépasser le seuil critique, il faut normalement sectionner la production d'énergie. Par contre, si le FLCB fait office de coupleur de barres au lieu de disjoncteur classique, la contribution du niveau de défaut d'un jeu de barres à l'autre s'en trouve réduite et la production peut rester connectée durant cette reconfiguration. Le FLCB opérant en moins d'une milliseconde, le courant de défaut transféré d'un jeu à l'autre reste minime. Cette configuration maximise la souplesse d'exploitation, protège le poste des contraintes excessives et évite la déconnexion des générateurs.

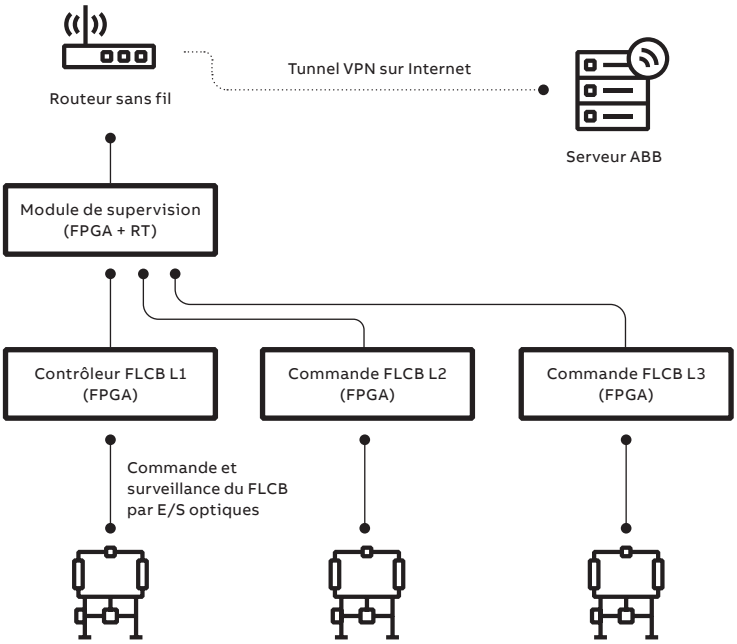


06



07

Il est également possible d'installer le FLCB dans une ou plusieurs des arrivées de lignes →07, qu'il peut alors directement couper en cas de défaut. La contribution du défaut se trouve donc efficacement limitée grâce à la performance élevée du dispositif. Cette configuration offre une marge de manœuvre supplémentaire et permet ainsi de raccorder d'autres productions décentralisées sans dépasser le seuil de défaut.



08

Autre possibilité : raccorder le FLCB directement à l'arrivée d'une source de production (nouveau système de cogénération, par exemple). En cas de défaut, le courant en provenance du générateur serait limité en moins de 1 ms, ce qui autoriserait le raccordement de nouvelles productions décentralisées sans rogner sur la marge de sécurité actuelle.

Résultats du pilote

ABB et UK Power Networks procèdent actuellement à une évaluation pilote du FLCB dans un poste source à Londres. Le site d'essai a été choisi en fonction de plusieurs critères : fréquence de défaut assez élevée, place disponible pour accueillir le pilote et marge de sécurité proche de la limite assignée. Le dispositif ABB a été installé dans trois tableaux moyenne tension classiques (un par phase). Tout au long de l'essai, le FLCB jouera le rôle aussi bien de coupleur de barres que de disjoncteur sur une arrivée de ligne, entre le transformateur et le jeu de barres.

Le système enregistre automatiquement l'état des divers composants et l'envoie à ABB pour analyse.

09

—
Malgré la surveillance continue, aucun défaut n'a encore été signalé depuis la mise en service du système.

Le FLCB se tient ainsi prêt à réagir à n'importe quel défaut et la surveillance continue du système est en place. Néanmoins, à ce jour, aucun défaut n'a encore été signalé →09 [5]. •

—
06 FLCB positionné comme coupleur de barres

—
07 FLCB monté sur l'une des arrivées de ligne

—
08 Configuration de télésurveillance ABB

—
09 Essai sur site à Londres

ABB surveillera à distance son comportement durant toute l'évaluation. L'état des divers composants ainsi que l'enregistrement des transitoires seront automatiquement envoyés à ABB →08, qui pourra ainsi étudier le comportement à long terme du FLCB et analyser en détail le résultat des différentes manœuvres de protection. Qui plus est, en cas de dysfonctionnement, cela permettra aux spécialistes ABB d'apporter une réponse rapide au client sur la base de diagnostics détaillés.

—
Bibliographie

[1] Network, « UK Power Networks pioneers new super-fast circuit breakers », disponible sur : https://networks.online/heat/uk-power-networks-pioneers-new-super-fast-circuit-breakers/, 7 février 2020 (consulté le 24 janvier 2021).

[2] Zhang, Y., Dougal, R. A., « State of the art of Fault Current Limiters and their applications in smart grid », *2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, p. 1-6, 2012.

[3] Limiteur de courant I_s-limiter, disponible sur : https://new.abb.com/medium-voltage/apparatus/fault-current-limiters/current-limiter (consulté le 19 mai 2021).

[4] Liljestrand, L., *et al.*, « A new hybrid medium voltage breaker for DC interruption or AC fault current limitation », *18th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'16 ECCE Europe)*, p. 1-10, 2016.

[5] Pour en savoir plus sur la solution ABB de limitation des courants de défaut : DE-FCL@abb.com

CONNECTIVITÉ

Bateaux branchés, ports préservés

Les ports jouent un rôle crucial dans la réduction de la pollution maritime. Par son évolutivité et sa souplesse modulaire, la solution de conversion de fréquence ABB répond aux besoins des armateurs et des autorités portuaires en assurant de manière automatisée et transparente un aller-retour du courant entre équipements de bord et alimentation électrique à terre. Résultat : une baisse significative de la consommation de carburant, de la pollution, des vibrations et du bruit.

Alana Tapp
Product Marketing
Napier (Nouvelle-Zélande)

alana.tapp@nz.abb.com

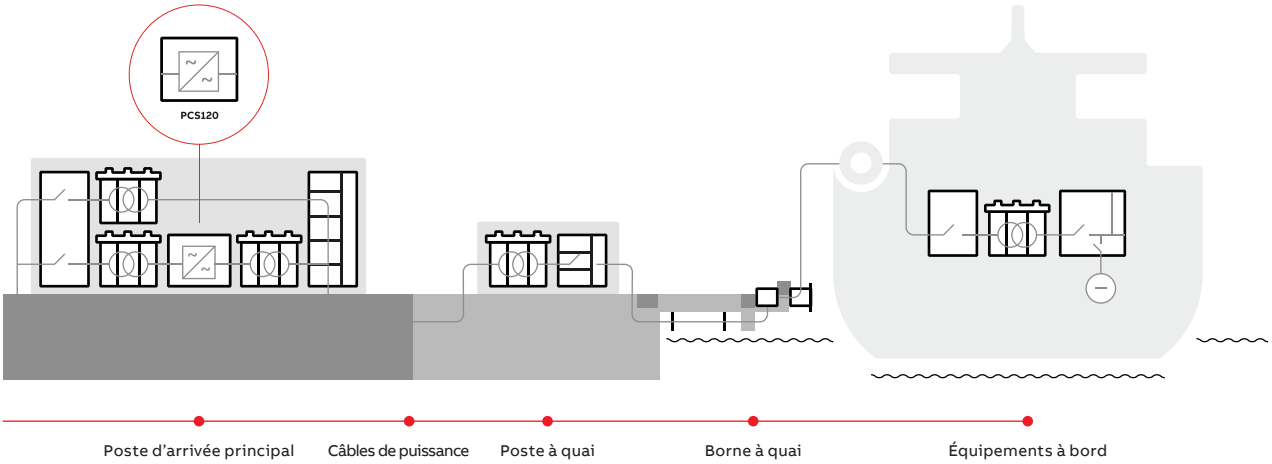
Josh Egbers
Sales
Victoria (Australie)

josh.egbers@au.abb.com

Selon l'OCDE, 90 % des échanges commerciaux empruntent la voie maritime [1]. Leur volume devrait par ailleurs tripler d'ici à 2050 pour répondre à la croissance de la demande mondiale. Or si ce mode de transport est rentable sur les longues distances, il constitue une source majeure de pollution, à l'origine d'environ 30 % des rejets de NO_x et 2,6 % des gaz à effet de serre dans le monde.

Selon un rapport de 2018 du Forum international du transport [2], instance de l'OCDE, les ports jouent un rôle central dans la réduction des émissions polluantes engendrées par le fret maritime →01. En effet, dans la plupart des cas, les navires à quai utilisent leurs groupes diesel pour alimenter les charges à bord, comme les systèmes de chauffage, ventilation, climatisation et les cuisines. À l'impact écologique de cette pratique s'ajoutent les nuisances liées au bruit et aux vibrations qu'elle engendre alentour.

01



02

—
01 Les ports jouent un rôle crucial dans la réduction des émissions polluantes du fret maritime.

—
02 Principaux maillons du courant quai

—
03 Système de connexion bord à quai

Contraints de prendre les mesures qui s'imposent, les propriétaires de navires se montrent proactifs en lançant des initiatives pour évaluer et surveiller la combustion dans les moteurs, comme le programme Gestion du carburant marin. Néanmoins, se conformer aux exigences réglementaires de prévention de la pollution marine, telles la convention MARPOL de l'Organisation maritime internationale (OMI) et les directives européennes, passe par des mesures fortes. C'est là qu'entre en jeu la technologie de pointe ABB.

Branchement des navires à quai
La nouvelle solution ABB de conversion statique de fréquence est la mieux adaptée et la moins coûteuse pour atteindre ces objectifs environnementaux. Elle permet en effet de couper les groupes diesel du navire accosté pour l'alimenter en « courant quai ». Seule réserve : si les génératrices du navire tournent à la fréquence de 60 Hz, c'est du 50 Hz que distribue le réseau dans la plupart des régions du monde. D'où la nécessité d'une conversion électrique à quai →02–03 [3].

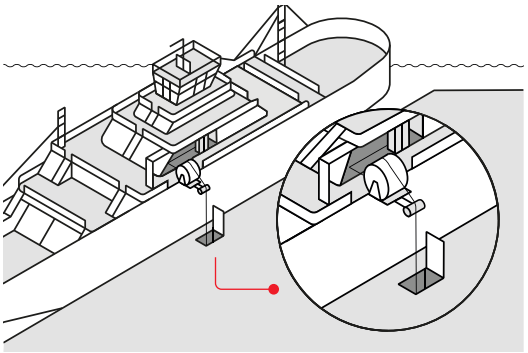
Conçus dans cette optique, les convertisseurs statiques de fréquence ABB s'illustrent par leur fiabilité et leur efficacité. Leur technologie de pointe assure un transfert de puissance automatisé et transparent entre les charges du navire et les installations électriques terrestres, et inversement. À la clé, une nette diminution de la consommation de combustible et de lubrifiant, qui se traduit par une pollution réduite et d'importantes économies. Le courant quai convient particulièrement aux navires affectés à une route maritime donnée ou très énergivores au mouillage. Une solution avantageuse pour les opérateurs de terminal dont les transbordeurs restent accostés un nombre fixe d'heures par jour, par exemple.

—

La solution courant quai d'ABB permet d'arrêter les groupes diesel du navire amarré.

Modularité et évolutivité
Le système de conversion de puissance SFC d'ABB, modulaire et extensible, est constitué de plusieurs couples de redresseurs et d'onduleurs indépendants, pilotés par un contrôleur qui assure la fiabilité et la stabilité de l'électricité fournie, en tension et en fréquence. Associé à d'autres sources d'alimentation, comme un système de génération d'électricité embarqué, il en synchronise et régule le courant. Ces caractéristiques sont garantes d'une adaptabilité maximale aux besoins du client. L'offre ABB se compose du PCS100 →04, bientôt complété par le PCS120 pour les faibles puissances.

Sa modularité évolutive permet de coupler plusieurs unités en parallèle afin de répondre aux divers besoins de puissance de navires et infrastructures portuaires hétérogènes →05. En cas d'installation à l'extérieur, une enceinte



03

04

—
04 Convertisseur statique de fréquence PCS100 d'ABB

—
05 Pour réduire leur empreinte écologique, nombre de ports permettent aux navires de s'alimenter au réseau électrique terrestre.

05a Pipavav Shipyard Limited, plus grand chantier naval indien

05b Port de pêche de Killybegs, sur la côte nord-ouest de l'Irlande

05c Port de Bahreïn

adaptée peut être fournie. Cette souplesse de configuration, d'implantation et d'agencement garantit une intégration harmonieuse dans le milieu environnant.

Coûts d'exploitation réduits

Autre avantage de la solution ABB : sa haute disponibilité, qui résulte de sa fiabilité, de sa robustesse et de sa maintenance réduite, comme l'atteste un temps moyen de réparation (MTTR) inférieur à 30 min pour le PCS100, et à 10 minutes pour le PCS120. De quoi alléger le budget de fonctionnement ! Le coût de possession peut être encore abaissé si la source d'énergie primaire est renouvelable (éolien, hydraulique, solaire ou hydrogène). •

PREMIER CHANTIER NAVAL « VERT » EN INDE

Plus vaste chantier naval indien, Pipavav Shipyard Limited (PSL) est situé dans l'État du Gujarat, sur la côte ouest du sous-continent. Doté de l'une des plus grandes cales sèches au monde, il dispose également d'un imposant quai de construction et de réparation à flot de navires et de bâtiments offshore →**05a**. Ce complexe figure aujourd'hui parmi les installations maritimes les plus modernes au monde.

Équipé de quatre convertisseurs statiques PCS100 250 kVA, il est le premier et unique chantier naval écoresponsable du pays. La solution de courant quai d'ABB a permis de limiter les émissions polluantes et le bruit tout en réalisant d'importantes économies. L'installation a aussi gagné en disponibilité et en fiabilité par rapport à un système à convertisseurs de fréquence rotatifs.

05a

05

Crédits photos fig. 05b : wil tilroe-otte/stock.adobe.com ; fig. 05c : thauwald-pictures/stock.adobe.com

—
Bibliographie

[1] OCDE, *Ocean Shipping and Ship Building*, disponible sur : https://www.oecd.org/ocean/topics/ocean-shipping/ (consulté le 19 mai 2021).

[2] Forum international du transport, *Reducing Shipping Greenhouse Gas Emissions*, disponible sur : https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/reducing-shipping-greenhouse-gas-emissions.pdf (consulté le 19 mai 2021).

[3] ABB, *ABB's innovative power electronics solutions for the shipping industry*, disponible sur : https://library.e.abb.com/public/81fd11c3dbe14d829003b7f8fc2107e2/2UCD401148-P_b%20Shipping%20Industry.pdf (consulté le 19 mai 2021).

[4] ABB, *Shore-to-ship power cuts emissions for Ireland's Atlantic fishing fleet*, disponible sur : https://new.abb.com/news/detail/73144/shore-to-ship-power-cuts-emissions-for-irelands-atlantic-fishing-fleet (consulté le 19 mai 2021).

[5] ABB, *ABB innovation saves costs and reduces pollution at a shipyard in Bahrain*, disponible sur : https://library.e.abb.com/public/b9389d30685746109d7a4568215e0c87/2UCD401158-P_b_PCS100_SFC_ASRY_shipyard.pdf (consulté le 19 mai 2021).

05b

FLOTTE DE PÊCHE EN IRLANDE : DES ÉMISSIONS EN CHUTE LIBRE

Le port de pêche de Killybegs →**05b** situé à Donegal, sur la côte nord-ouest de l'Irlande, s'est équipé d'un système de courant quai à base de convertisseurs statiques de fréquence ABB PCS100 ; ce raccordement des bateaux au réseau électrique a permis au ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Marine irlandais d'économiser 96 000 litres de diesel et de réduire les émissions de CO_2 de 2 000 tonnes par an [4]. Desservant 12 quais, ces convertisseurs, premiers du genre en Irlande, contribuent à la durabilité des infrastructures.

Killybegs compte parmi la centaine de ports d'Europe du Nord où l'on peut débarquer des poissons pélagiques tels le hareng et le maquereau. Il accueille quelque 25 gros chalutiers. Jusqu'à une date récente, ces bateaux à quai dépendaient de groupes électrogènes de pont de 70 kVA pour alimenter l'éclairage, le chauffage et l'électronique de navigation et de contrôle-commande dans la timonerie, ainsi que les préchauffeurs de démarrage des moteurs principaux.

Grâce aux nouveaux convertisseurs statiques du port, l'arrêt des groupes électrogènes de pont entraîne une réduction des émissions locales équivalente à la suppression de près de 500 automobiles par an. Moins de nuisances sonores, de risques d'incendie et de contraintes de maintenance des chalutiers… : le port a aussi gagné en qualité de vie.

Ces convertisseurs ABB vont pérenniser les installations portuaires en les mettant en conformité avec la réglementation de l'OMI, qui vise à réduire les émissions du fret maritime d'au moins 50 % en 2050 par rapport à 2008.

Alimentés par le réseau 400 V classique, ils sont logés dans un local dédié, qui héberge aussi les appareillages et systèmes de sécurité. Les chalutiers se raccordent au moyen de prises industrielles sur le quai, l'accès au réseau étant géré par la capitainerie. Chacun des convertisseurs, qui offre une fonction de télésurveillance du comptage d'énergie, peut être isolé et commuter indépendamment de 50 à 60 Hz, gage de flexibilité supplémentaire.

PORT DE BAHREÏN : MOINS CHER, PLUS VERT

Avec le système de connexion au réseau électrique local fourni par ABB, les navires faisant escale au port de Bahreïn →**05c** peuvent couper leurs moteurs diesel et bénéficier d'une électricité produite à terre de manière moins polluante [5]. Pendant les dix heures d'escale d'un grand navire, les trois convertisseurs statiques PCS100 permettent d'économiser jusqu'à 20 tonnes de combustible et de réduire les émissions de CO_2 de 60 tonnes. Atout clé de la solution : le courant produit par le réseau terrestre, généralement à 50 Hz, peut être injecté dans le système électrique de bord, qui fonctionne le plus souvent en 60 Hz.

Le port héberge l'Arab ShipBuilding & Repair Yard (ASRY), l'un des plus gros chantiers de construction et de réparation navales au Moyen-Orient. L'entreprise a longtemps utilisé des convertisseurs de fréquence rotatifs, non sans inconvénients : pollution, manque de fiabilité, faible disponibilité et rendement médiocre avoisinant 75 %. Ce dernier a grimpé à 95 % avec les convertisseurs PCS100, qui n'exigent par ailleurs aucune maintenance liée à l'usure mécanique puisqu'ils sont dépourvus de pièces tournantes. Autres améliorations apportées : baisse radicale des coûts d'exploitation et de maintenance, disponibilité des équipements en hausse, pollution sonore et vibratoire éliminée.

ASRY est l'un des premiers chantiers navals au monde à être certifié ISO en matière de management de la qualité, de management environnemental et de gestion de la santé et la sécurité au travail, mais aussi à appliquer le code ISPS de sûreté des installations portuaires.

05c

01

LE MOT DU MOMENT

Simulation multicorps

Les outils de simulation multicorps facilitent et accélèrent le développement de mécaniques complexes.

—
Ondrej Frantisek
Sebastian Breisch
ABB Process Automation
Corporate Research
Ladenbourg (Allemagne)

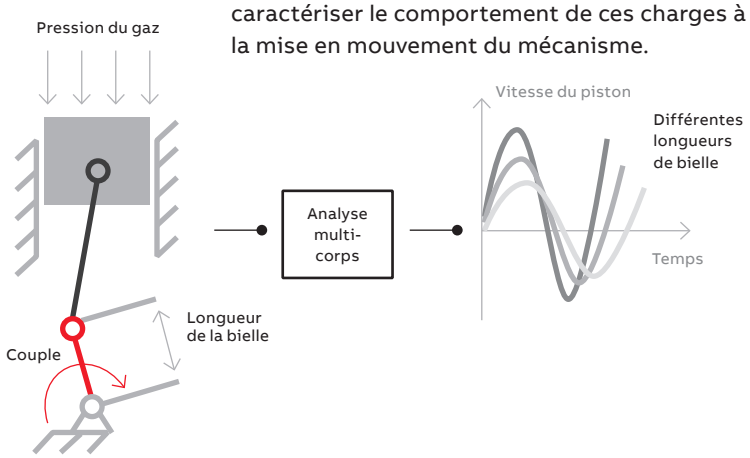
ondrej.frantisek@de.abb.com
sebastian.breisch@de.abb.com

Alessandro Stucchi
ABB SpA
Dalmine (Italie)

alessandro.stucchi@it.abb.com

La simulation multicorps est un puissant outil d'analyse cinématique de mécanismes complets →01. Elle fournit des informations sur les mouvements, forces et contraintes dynamiques en jeu, alors que la méthode des éléments finis (MEF), à laquelle elle est souvent assimilée, se concentre sur les déformations et résistances.

Le simple mécanisme bielle-manivelle du moteur thermique, qui transforme la rotation du vilebrequin en un déplacement vertical du piston, est un bon exemple de système multicorps. Pour certaines charges, la simulation multicorps peut évaluer la cinématique du système et de toutes les forces de réaction dans ses assemblages, mais aussi, en retour, caractériser le comportement de ces charges à la mise en mouvement du mécanisme.

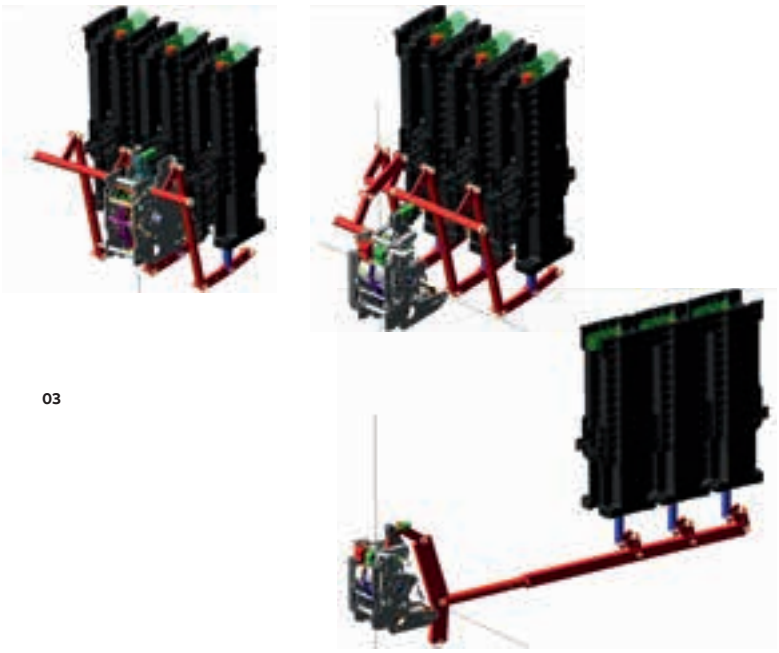


02

Elle permet en outre de construire un modèle paramétrique et d'étudier l'influence de ces paramètres sur la dynamique du système →02. Une fonctionnalité primordiale aux premiers stades du développement produit, lorsqu'il s'agit de simuler le dimensionnement du mécanisme jusqu'à obtenir les performances visées. À une étape ultérieure, l'analyse paramétrique aide à déterminer l'influence des tolérances de fabrication et de montage, puis à répondre à une question délicate : le mécanisme se comportera-t-il comme souhaité, compte tenu des imperfections introduites en production ?

La simulation multicorps étudie un paramètre mécanique aussi crucial qu'imparable : le jeu dans les articulations. Cette caractéristique non linéaire n'est pas modélisable par simple analyse mais pèse beaucoup sur la performance du produit.

Jusque-là, les différentes pièces du mécanisme étaient supposées reliées par un ensemble de liaisons rigides, autrement dit indéformables. Quid de la déformation et de la résistance de ces interconnexions ? Pour l'heure, l'analyse dynamique multicorps est à même de décrire le comportement d'organes mécaniques constitués de pièces flexibles… tant qu'elles restent simples. Car qui dit pièces plus complexes implique des résultats moins précis. D'où l'obligation de recourir à des calculs et simulations



03

—
01 La simulation multicorps est incontournable pour la conception rapide et fiable de mécanismes complexes (ici, un pantographe).

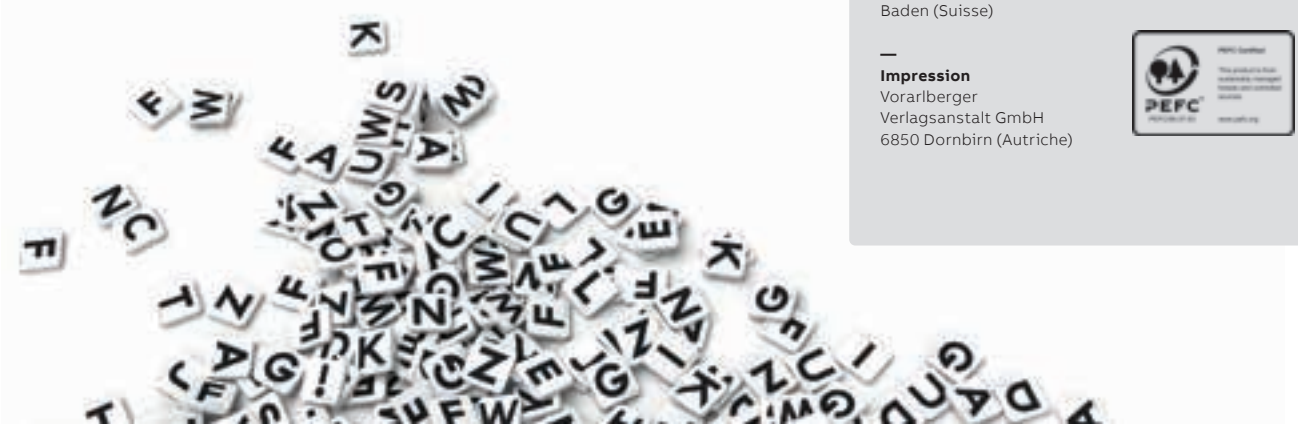
—
02 Analyse paramétrique d'un système mécanique

—
03 Modèles multicorps de différentes topologies de disjoncteur moyenne tension

MEF pour affiner les données de déformation ou de résistance : des outils réputés onéreux et chronophages. La solution ? Faire appel à l'analyse multicorps pour simuler le mécanisme, tout en réservant la MEF à la simulation de la pièce critique, qui elle-même se nourrira des données de la dynamique multicorps.

La conception de disjoncteurs ABB est un cas d'étude idéal pour la simulation multicorps. Les formules analytiques ne suffisent en effet pas à décrire l'intégralité de ces systèmes mécatroniques très pointus, à la dynamique extrêmement complexe →03. C'est là que la simulation multicorps prend tout son intérêt en permettant par exemple de comparer trois topologies de disjoncteurs en seulement deux mois. À défaut, il aurait fallu réaliser trois démonstrateurs, ce qui aurait coûté cher et pris du temps.

La simulation multicorps apporte donc une aide inestimable aux systèmes mécaniques complexes ; elle accélère le processus de développement et, par son aptitude à caractériser les tolérances constructives, évite les mauvaises surprises en production. •



RECEVOIR ABB REVIEW

S'abonner
Contactez votre correspondant ABB ou souscrivez en ligne sur www.abb.com/abbreview.

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

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

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

PUBLICATION ABB

Rédaction

Theodor Swedjemark
Head of Corporate Communications

Adrienne Williams
Senior Sustainability Advisor

Reiner Schönrock
Technology and Innovation

Bernhard Eschermann
Chief Technology Officer, ABB Process Automation

Amina Hamidi
Chief Technology Officer, ABB Electrification

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

Édition
ABB Review est publiée par le Groupe ABB.

ABB Ltd
ABB Review
Affolternstrasse 44
CH-8050 Zurich
Suisse
abb.review@ch.abb.com

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
©2021
ABB Switzerland Ltd.
Baden (Suisse)

Impression
Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH
6850 Dornbirn (Autriche)

Maquette
Publik. Agentur für Kommunikation GmbH
Ludwigshafen (Allemagne)

PAO
Indicia Worldwide
Londres (Royaume-Uni)

Traduction française
Cléa Blanchard
clea.blanchard@gmail.com

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

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

ISSN: 1013-3119

abb.com/abbreview

Dans le numéro 04/2021

Logistique

La logistique est l'activité où les stratégies de l'entreprise essuient leur baptême du feu. Tel est le cas de l'innovation numérique, qui promet des gains d'exploitation importants, rapides et durables. Dans la prochaine édition d'ABB Review, nous nous pencherons sur la manière dont les industriels mettent à profit les outils et processus numériques pour saisir toutes les opportunités de progrès.

Crédit photo : MaciejBledowski/stock.adobe.com