

# review

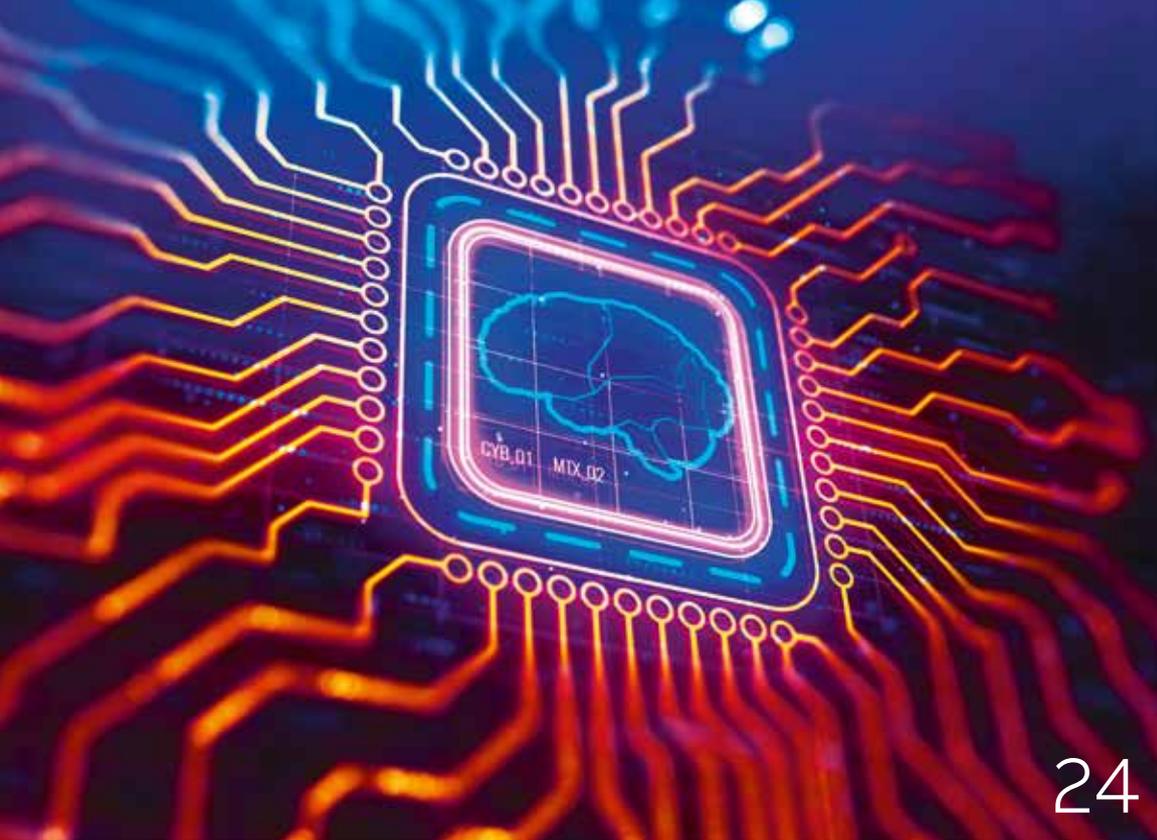
01|2021 fr

## Moteur de connaissances



- 
- 06 – 21 À la une de l'innovation 2021
  - 22 – 47 Au cœur de la technologie
  - 48 – 77 Productivité





L'union fait le progrès



Assemblage robotisé  
dans l'automobile

Automatiser le génie  
des procédés





La dynamique MP<sup>3</sup>C

---

05 **Éditorial**

---

## À la une de l'innovation 2021

08 Innovations ABB

---

## Au cœur de la technologie

24 L'union fait le progrès

28 Accélérateur pour l'IA industrielle

30 La 5G au service de l'industrie

37 Gestion d'énergie avec Ekip UP

42 Informatique quantique

---

## Productivité

50 Suivi d'état amélioré

54 Repousser les limites de la mesure

60 Automatiser le génie des procédés

66 La dynamique MP<sup>3</sup>C

74 Assemblage robotisé  
dans l'automobile

---

## Le mot du moment

78 *Golden batch*

---

79 Recevoir *ABB Review*

80 S'abonner et garder le contact



—  
**Les périodes difficiles sont parfois celles qui voient naître les plus grandes innovations, tant la nécessité est mère de l'invention – mais aussi de la remise en question. Dans ce numéro d'*ABB Review*, consacré comme chaque début d'année à ce thème, nous passons en revue quelques technologies et idées qui aident les clients du Groupe à mobiliser les expériences du passé au service du progrès.**

---

ÉDITORIAL

# Moteur de connaissances



Chers lecteurs,

À époque exceptionnelle, réponse hors du commun : la pandémie qui affecte notre société nous force à repenser en profondeur de nombreux aspects de notre vie professionnelle et sociale. Si nous avons toujours eu besoin de collaborer et de coopérer pour être efficaces, cette exigence s'impose aujourd'hui plus que jamais. Une idée individuelle, aussi brillante qu'elle soit, n'a guère de valeur tant qu'elle n'est pas partagée et vécue à plusieurs.

ABB place la collaboration au centre de ses objectifs et de ses valeurs : c'est ainsi que nous créons de la valeur pour nos clients et partenaires et contribuons à un avenir durable. Dans ce numéro d'*ABB Review*, vous découvrirez de nombreux exemples de collaborations initiées par le Groupe pour développer des solutions en commun avec des startups innovantes ou aider ses clients à optimiser leurs procédés.

Bonne lecture,

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized initials 'BR' followed by a long horizontal stroke.

Björn Rosengren  
Directeur général du Groupe ABB

---

# À la une de l'innovation 2021





12

Un petit tour d'horizon des innovations industrielles et technologiques peut être le point de départ de passionnants échanges : quelles nouvelles solutions permettraient de faire la différence dans mon activité ? Et comment ? ABB est le partenaire privilégié pour engager le débat et transformer ces idées en réalités concrètes.

- 8 YuMi® prête main-forte aux hôpitaux et aux labos
- 9 Une solution robotique entièrement intégrée aux machines
- 10 Des moteurs de plus en plus écoénergétiques
- 11 Un laboratoire virtuel pour les essais diélectriques
- 12 Recharge de véhicules électriques : toujours plus vite
- 13 Régulation de l'écoulement d'acier dans la coulée de brames
- 14 Un « phare » pour guider la transformation numérique
- 15 ABB fait entrer Ethernet en zones dangereuses
- 16 Un écosystème d'information pour la mécanique
- 17 L'ère de la mobilité pour la détection de fuites
- 18 Nouvelle génération de robots compacts ABB
- 19 Ligne directe avec le cloud
- 20 Une symphonie numérique



## YUMI® PRÊTE MAIN-FORTE AUX HÔPITAUX ET AUX LABOS

Les robots ne se cantonnent plus aux usines et aux ateliers mais investissent des pans croissants des activités de laboratoire, de la R&D pharmaceutique et universitaire aux analyses biologiques. Le robot collaboratif YuMi® d'ABB en est un bon exemple : il a su se rendre indispensable en s'acquittant d'une palette de tâches répétitives, délicates et longues, telles que dosage, mélange, pipetage, mise en kit d'instruments stériles, chargement et déchargement de centrifugeuses.

Sa conception intrinsèquement sûre n'a pas d'équivalent sur le marché : doté de bras arrondis et rembourrés, sans zone de pincement, et d'une fonction de détection de collisions, il opère en toute sécurité aux côtés de ses collègues humains, dans un espace assez peu balisé et dépourvu de protections particulières de type cage. Il peut ainsi assumer des tâches répétitives et fastidieuses, même celles faisant a priori appel à la dextérité humaine ou nécessitant des adaptations fréquentes : approvisionnement de machines,

collecte et entreposage de matériel, ou encore transport et enregistrement d'échantillons, en interaction avec les laborantins.

En octobre 2019, ABB a ouvert au Texas Medical Center (TMC) de Houston un centre de recherche sur la robotisation et l'automatisation des laboratoires et établissements de santé. Y sont notamment présentés des prototypes de cobot YuMi pour le service des centrifugeuses et la manipulation des tubes à essai, ainsi qu'un robot IRB 1200 capable de transférer des liquides dans une application de pipetage.

Autre projet à l'étude : une version mobile de YuMi qui sera en mesure de détecter ses collègues humains et de se déplacer parmi eux en autonomie, tout en apprenant les différents itinéraires menant d'un point à un autre. Ses deux bras constitueront une aide précieuse dans les tâches logistiques et de laboratoire. •



## UNE SOLUTION ROBOTIQUE ENTIÈREMENT INTÉGRÉE AUX MACHINES



ABB et B&R<sup>1</sup> collaborent à une solution permettant aux constructeurs de machines d'intégrer un robot dans leur offre produits. La présence d'une IHM commune à la machine et au robot facilite en outre l'exploitation de l'ensemble.

Dans l'atelier, les machines pourront ainsi communiquer en temps réel avec des robots intégrés. En un mot, la solution optimise la communication entre servomoteurs B&R et moteurs robotiques ABB.

Exemple d'application pratique : la détection d'imperfections par une caméra de vision B&R. En moins d'une milliseconde, les données recueillies sont converties en commande envoyée au robot ABB intégré, qui retire la pièce défectueuse de la chaîne. Le tout sans intervention manuelle ni ralentissement de la fabrication. L'application machine optimisant automatiquement les mouvements du robot, le temps de traitement global de la tâche s'en trouve considérablement réduit, et la productivité améliorée.

Cette intégration de la robotique ABB aux automatismes B&R s'appuie sur une architecture simple qui unifie les informations nécessaires à ces deux systèmes auparavant indépendants. Fini le contrôleur et l'armoire de commande dédiés, tout comme le langage de programmation réservé aux roboticiens !

Le recours à des modules logiciels B&R préprogrammés, ou *mapps*, facilite le développement d'applications robotiques par les constructeurs de machines eux-mêmes. Ce principe autorise la mise au point d'applications complexes et hautement dynamiques sans avoir à écrire de nouveau code, ce qui raccourcit les temps de développement. Cette nouvelle solution intégrée d'ABB offre ainsi un niveau de précision inégalé dans la coordination machine-robot. ●

### Note

1) B&R est un fournisseur de solutions d'automatisation et de contrôle-commande de procédé qui a rejoint le Groupe ABB en 2017.



---

## DES MOTEURS DE PLUS EN PLUS ÉCOÉNERGÉTIQUES

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, etc.) qui pénalisent l'efficacité énergétique et la longévité des organes et roulements. Sachant que les MAS consomment près d'un tiers de l'électricité mondiale, on comprend la nécessité d'augmenter le rendement et la fiabilité tout en allégeant la maintenance. Place au moteur synchrone à réluctance (SynRM) de classe IE5 !

Ce moteur 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 : son rotor est conçu pour produire la plus faible résistance magnétique, ou « réluctance », dans un sens, et la plus forte dans le sens perpendiculaire. Il tourne à la même fréquence que le champ statorique alimenté par variateur.

Sa construction simplifiée, sans aimants ni cage, est plus fiable que celle d'un MAS, donc plus facile d'entretien. Il fonctionne à basse température, ce qui ménage isolants et roulements, et allonge en conséquence la durée de vie et les intervalles de lubrification. Enfin, l'ajout d'un capteur numérique ABB Ability™ Smart Sensor le dote d'une fonction de suivi d'état à distance.

Le moteur synchrone à réluctance offre une densité de puissance et un rendement supérieurs à ceux du moteur asynchrone, même à charge partielle. La faible inertie de son rotor garantit une réponse rapide, doublée d'une commande en vitesse et en couple précise. Il se raccorde sans difficultés aux solutions asynchrones d'ABB, facilitant la montée en puissance du parc.

La technologie SynRM recèle encore d'énormes marges de progrès qui laissent augurer des moteurs encore plus écopéformants à l'avenir. •

---

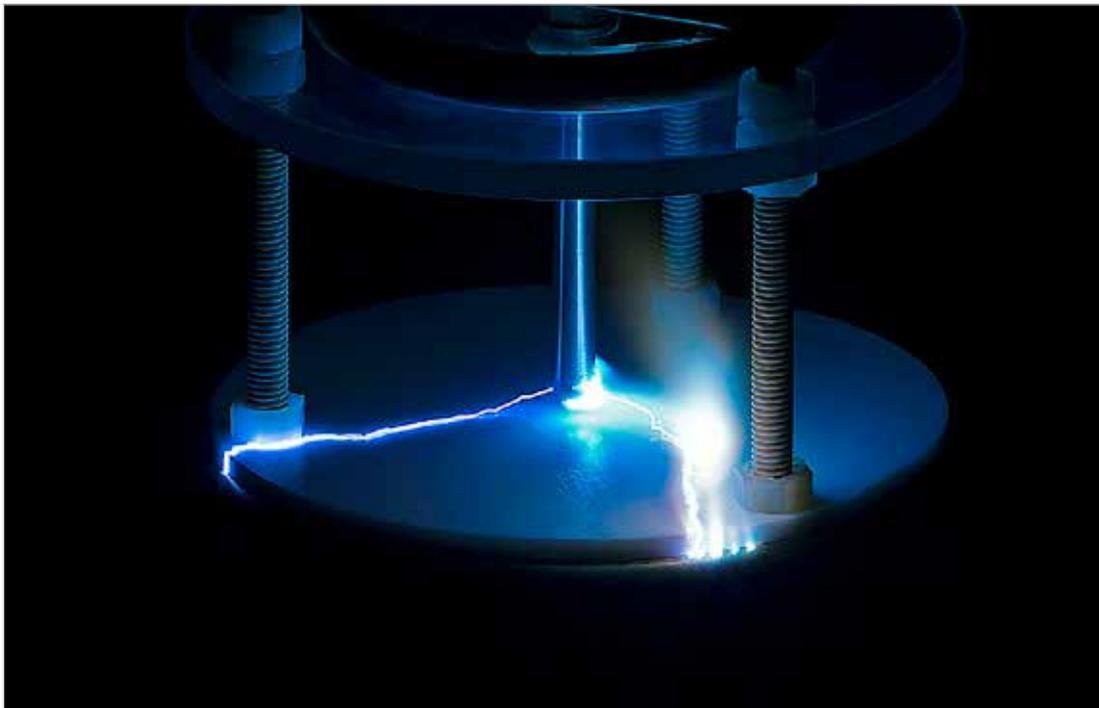
## UN LABORATOIRE VIRTUEL POUR LES ESSAIS DIÉLECTRIQUES

Il est essentiel de correctement dimensionner les propriétés diélectriques des appareillages et transformateurs moyenne et haute tension. Le fabricant qui veut commercialiser un nouveau produit doit effectuer des essais de type afin de certifier sa conformité normative. Pour en prédire les résultats, on compare généralement des calculs de champ électrostatique aux valeurs critiques spécifiées pour les matériaux concernés (gaz, liquides, solides) et les interfaces entre eux-ci. Une méthode qui a toutefois ses limites étant donné la complexité de la relation entre défauts diélectriques et intensité de champ.

Un outil de simulation ABB baptisé VHVLab ambitionne de réconcilier calculs numériques et expérimentations physiques en offrant un cadre logiciel qui permet de prédire les résultats des essais diélectriques. VHVLab combine à cette fin des outils de simulation à base de connaissances empiriques obtenues par expérimentation et des simulations « premiers principes » de modèles

microscopiques. Les procédures de simulation intégrées dans VHVLab découlent de l'expérience acquise par ABB lors d'essais haute tension en laboratoire. Ce logiciel n'est donc pas disponible sur le marché et a pour l'instant vocation à rester une plate-forme sur mesure, qui accélère les phases de conception et procure à ABB un avantage concurrentiel. Si VHVLab est né de l'impulsion de la recherche industrielle, il a bénéficié de l'appui de partenaires universitaires : ainsi, SINTEF, organisme indépendant basé à Trondheim (Norvège), a construit une installation expérimentale qui offre une grande souplesse dans le choix de la configuration d'essais.

L'outil propose un jeu de procédures numériques et de règles empiriques dans lequel peuvent piocher les ingénieurs pour évaluer, visualiser et comprendre les phénomènes de décharge. VHVLab s'impose ainsi comme un outil d'ingénierie, mais aussi comme une base de connaissances qui rassemble l'expérience des chercheurs et des développeurs, et pose les bases des essais numériques du futur. •





## RECHARGE DE VÉHICULES ÉLECTRIQUES : TOUJOURS PLUS VITE

Des transports plus propres et plus silencieux constituent un enjeu majeur pour les villes. ABB l'a bien compris qui propose, avec Terra 184, le chargeur de forte puissance le plus compact du marché, affichant également la densité de puissance la plus élevée. Rapide, peu encombrant et robuste, le dernier-né de la gamme à succès Terra permet de charger trois véhicules électriques (VE) en même temps, gage de satisfaction pour les conducteurs et d'économie pour l'opérateur d'infrastructure. Avec sa puissance de charge de 180 kW, il se prête à une utilisation aussi bien sur bornes publiques (en voirie ou parking) que dans les terminaux de recharge rapide destinés aux taxis et autres flottes de VE.

Compatible avec tous les formats de véhicules, il fonctionne sur les modèles les plus récents de voitures, bus et camions, déjà en circulation ou encore en projet. Il est le seul de sa catégorie à occuper moins de 0,5 m<sup>2</sup> au sol : un encombrement similaire à celui de l'actuel Terra 54. En effet, sa conception innovante le dispense d'armoires électriques séparées, ce qui en fait la solution de recharge rapide idéale pour les villes où l'espace est un luxe.

Terra 184 prend en charge tous les standards du marché, notamment CCS, CHAdeMO et courant alternatif, et s'adapte à toutes les batteries jusqu'à 920 V. Fortement personnalisable, il est fourni avec un terminal de paiement par carte de crédit, un écran et des câbles.

Enfin, gage de flexibilité de l'offre ABB, il suffira d'ajouter des modules d'alimentation aux autres modèles de la gamme (Terra 94 ou 124, par exemple) pour les faire migrer vers la technologie Terra 184.

Depuis son entrée sur le marché de la recharge VE il y a dix ans, ABB a vendu plus de 14 000 chargeurs rapides à courant continu. Le Groupe a reçu le prix *Global E-mobility Leader 2019* pour sa contribution à l'essor du transport durable dans le monde. •



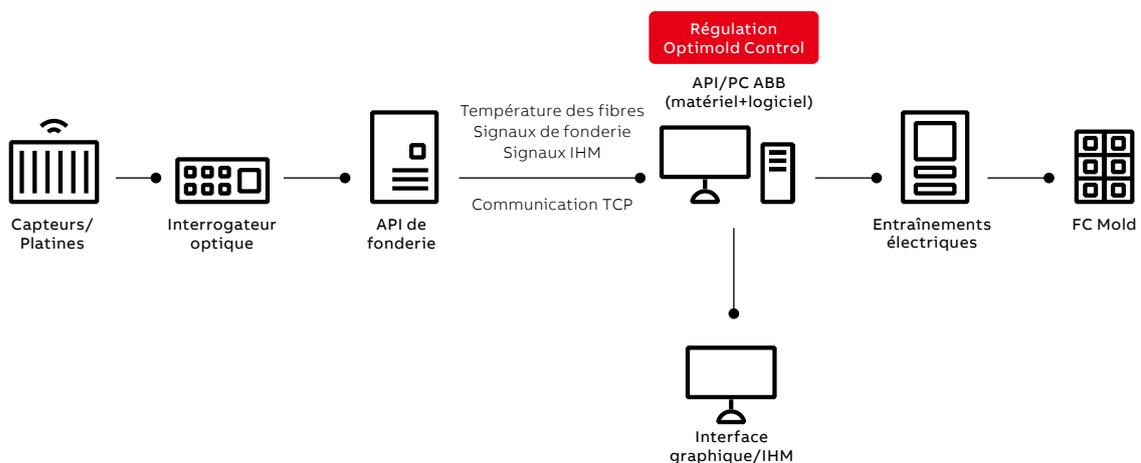
## RÉGULATION DE L'ÉCOULEMENT D'ACIER DANS LA COULÉE DE BRAMES

La fabrication d'acier est un procédé dont les exigences de qualité et de productivité ne souffrent aucun compromis. Les aciéristes peuvent s'appuyer sur la technologie FC Mold G3 d'ABB, qui injecte des champs magnétiques alternatifs et continus pour réguler la coulée de brame. Grâce au logiciel ABB Ability™ Optimold Control, le Groupe élargit encore son offre avec la première solution capable d'intégrer mesures de débit en ligne et retours capteurs en temps réel pour automatiser la commande FC Mold G3. Le tout récent système ABB Ability Optimold Monitor se compose de fibres optiques haute résolution intégrées à une platine en cuivre pour mesurer la répartition de température et la convertir en un signal de débit à l'aide d'un algorithme mis au point par les ingénieurs ABB. Excellente résolution et très bonne immunité électromagnétique ne sont pas les moindres atouts de cette technologie.

En septembre 2019, ABB a établi un record mondial dans une aciérie Hyundai Steel en Corée totalisant

presque 5000 points de mesure : un changement d'échelle complet par rapport aux méthodes classiques à base de thermocouples, qui culminent à une centaine de points ! Optimold Control assure la communication entre Optimold Monitor et FC Mold G3 pour garantir la régulation de ce dernier. Il sera intégré au logiciel de commande déterministe déjà fourni avec chaque installation FC Mold. L'algorithme de traitement en temps réel fait varier le champ magnétique pour éviter les défauts causés par l'engorgement des busettes d'entrée immergées et par l'instabilité de l'argon.

Hyundai Steel accueillera la première installation Optimold Control en 2021, en prélude à une évolution vers un système autonome, doté d'intelligence artificielle. Dès lors, les aciéristes pourront rapidement identifier et corriger toute variation dans le processus de coulée risquant de dégrader la qualité produit, l'efficacité énergétique ou la sécurité du procédé, et ainsi obtenir la meilleure brame possible. •





---

## UN « PHARE » POUR GUIDER LA TRANSFORMATION NUMÉRIQUE

En 2017, ABB a lancé un programme baptisé *Digital Lighthouse*, en coopération avec les clients, pour identifier des solutions numériques innovantes, promouvoir et accompagner leur développement. L'idée : réduire les délais de mise sur le marché des concepts ABB prometteurs en facilitant leur financement, l'accès aux ressources et la co-innovation.

L'ambition était triple :

- Accélérer le développement et le déploiement de solutions d'avant-garde fondées sur la plate-forme numérique ABB Ability™ IIoT ;
- Encourager le co-développement avec les clients, impliqués dès les premières phases ;
- Asseoir la compétence d'ABB dans les technologies numériques de pointe telles que l'intelligence artificielle, la réalité augmentée ou virtuelle, les jumeaux numériques et la chaîne de blocs (*blockchain*).

C'est dans cette optique que les porteurs de projets ayant retenu l'intérêt d'ABB ont pu cibler les industriels ouverts à la co-innovation, leur expliquer la valeur ajoutée du produit, les obstacles éventuels à sa réalisation mais aussi les atouts du programme pour les surmonter et, enfin, le potentiel de retour sur investissement à court et long terme.

Au terme de ce programme collaboratif deux ans et demi plus tard, 66 produits minimum viables étaient déployés, donnant lieu à plus de 40 témoignages de clients ; à ce jour, 30 de ces produits sont commercialisés. Mieux, cette initiative apporte beaucoup à la culture de l'innovation numérique au sein d'ABB, qui entend bien ne laisser aucun projet dans les cartons ! •

## ABB FAIT ENTRER ETHERNET EN ZONES DANGEREUSES

Depuis 2011, ABB travaille avec les industriels du *process* sur un projet de normalisation de la couche physique d'Ethernet pour la communication entre automatismes et instruments de terrain. Appelée « Ethernet-APL », cette évolution du standard ajoute à la simplicité de la boucle de courant 4-20 mA la rapidité et l'universalité du protocole Ethernet, sans déroger aux exigences de robustesse et de facilité de déploiement en zones dangereuses. Fort de son expertise dans l'Internet des objets industriel, ABB montre ici son aptitude à exploiter les bénéfices de l'Ethernet multiprotocole pour assurer la connectivité longue distance sur deux fils (données et alimentation) des instruments de terrain déployés en environnements potentiellement dangereux.

La recherche ABB a pour cela misé sur les spécifications OPC UA qui visent à améliorer la cybersécurité et la sémantique des échanges, et à développer des modèles d'information évitant les descriptions d'équipements. En adaptant cette technologie à des petits appareils de terrain aux ressources limitées, ABB estompe la frontière entre systèmes de production et d'information.

Les essais concluants menés par ABB sur un débitmètre en 2017, puis sur des capteurs de niveau et de pression équipés de cartes d'évaluation APL en 2019, ont confirmé l'intégration réussie du tandem Ethernet-APL et OPC-UA dans de nouvelles architectures de *process* ouvertes et normalisées, telles NAMUR Open Architecture (NOA), Module Type Package (MTP) ou The Open Group Open Process Automation System (O-PAS).

La diffusion en 2021 de tout l'arsenal normatif Ethernet-APL (sous-standard longue portée 10BASE T1L de l'IEEE802.3cg, norme CEI 2WISE relative à l'Ethernet à sécurité intrinsèque à deux fils en zones explosives, spécifications de mise en œuvre Ethernet-APL, protocoles OPC-UA, etc.) préfigure l'avènement d'Ethernet sur le terrain. Le salon ACHEMA, qui se tiendra à Francfort en juin, verra ABB et d'autres fournisseurs d'automatismes proposer les premiers produits compatibles Ethernet-APL, favorisant la sécurité, la fiabilité et la fluidité des communications dans les installations de *process*. •





---

## UN ÉCOSYSTÈME D'INFORMATION POUR LA MÉCANIQUE

Certains organes mécaniques, à l'image des paliers ou des réducteurs, sont difficiles d'accès, ce qui complique leur inspection. Une perte de temps à laquelle entend remédier le capteur numérique sans fil ABB Ability™ Smart Sensor, qui facilite le suivi d'état des réducteurs et paliers prémontés Dodge. Conçu pour réduire les temps improductifs et améliorer la sûreté de fonctionnement, le capteur signale toute vibration ou température anormale à l'utilisateur, qui peut ainsi planifier une intervention de maintenance et éviter l'interruption de service.

La dernière mise à jour logicielle du capteur permet par exemple de visualiser la vitesse efficace, de modifier l'intervalle de mesure ou la plage de valeurs de l'accéléromètre, de démarrer et d'arrêter la détection. ABB s'est appuyé sur les retours de ses clients pour enrichir son capteur communicant de ces nouvelles fonctionnalités.

L'accès à la plate-forme numérique ABB Ability™, inclus dans la fourniture, permet de tirer parti de la puissance de l'Internet industriel des objets : un simple smartphone ou la nouvelle passerelle *plug and play* d'ABB suffisent à centraliser et à stocker les données de multiples capteurs sur un serveur cloud sécurisé. L'utilisateur peut alors accéder à ces données, les afficher sous forme graphique à des fins d'analyse ou bien leur appliquer des algorithmes pointus capables d'identifier les défauts dans les paliers.

Cette nouvelle solution s'appuie sur le réseau des deux plus grands fournisseurs de téléphonie mobile aux États-Unis pour garantir une connectivité et une analytique sans faille de bout en bout, du capteur au portail ABB Ability. •

## L'ÈRE DE LA MOBILITÉ POUR LA DÉTECTION DE FUITES

Plus de 4,5 millions de kilomètres de gazoducs quadrillent les États-Unis. Y transitent chaque année 700 milliards de mètres cubes de gaz naturel à destination de 75 millions de consommateurs<sup>1</sup>. La moitié des ouvrages ayant plus d'un demi-siècle, les fuites sont monnaie courante... et toujours aussi problématiques : perturbation de l'approvisionnement, arrêts pour maintenance du réseau, mais aussi pollution, danger et surcoût pour le consommateur.

Une étude parue en 2018 dans *Science*<sup>2</sup> estime à 2 milliards de dollars par an le coût de ces fuites, soit la consommation de 10 millions de foyers. Sans parler de l'impact sur le réchauffement climatique, puisque le méthane (principal composant du gaz naturel) est un gaz à effet de serre 21 fois plus puissant que le dioxyde de carbone. Cela suffit à effacer en partie le gain écologique du gaz par rapport au charbon.

Avant de réparer les fuites, il faut d'abord les trouver. Traditionnellement, le repérage s'effectue à l'aide de détecteurs à main : une méthode lente, fastidieuse et inadaptée à notre époque numérique qui demande des données précises, transparentes et disponibles rapidement.

ABB a mis au point une solution mobile à haute sensibilité, montée sur un véhicule qui mesure et signale les concentrations infimes de méthane dans l'air, en même temps que le sens et la vitesse du vent, ce qui permet de géolocaliser les fuites. Le système se compose de l'analyseur de méthane/éthane breveté d'ABB, d'un GPS, d'un anémomètre, ainsi que d'un logiciel « maison » de détection des fuites. Les relevés de concentration sont ainsi cartographiés et accessibles à distance, soit par l'équipe d'intervention via un terminal mobile, soit par le centre de téléconduite du réseau. Résultat : en une heure, cette détection « autoportée » couvre une zone 10 à 25 fois plus étendue que les méthodes classiques. •

### Notes

1) EIA, *Natural gas explained, Natural gas pipelines*, disponible sur : [https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=natural\\_gas\\_pipelines](https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=natural_gas_pipelines)

2) Alvarez, R. A., et al., « Assessment of methane emissions from the U.S. oil and gas supply chain », *Science*, vol. 316, n° 6398, p. 186-188, juillet 2018.





## NOUVELLE GÉNÉRATION DE ROBOTS COMPACTS ABB

Les goûts toujours changeants des clients et la pénurie de main-d'œuvre qualifiée poussent les constructeurs à développer des produits sur mesure, en très petits lots : une stratégie de production différenciée qui exige davantage de performance, de flexibilité et de compacité. La nouvelle génération de petits robots ABB, incarnée par les IRB 910INV, IRB 1100 et IRB 1300, les aide à relever le défi. Son secret ? Une plate-forme modulaire commune qui permet de mettre au point des variantes personnalisées en un délai record, soit environ un tiers du temps nécessaire au développement d'un robot classique. Résultat : des robots disponibles en 7 versions principales, elles-mêmes déclinées en plus de 22 configurations.

La portée, la capacité de charge et la précision des robots ABB ont été pensées en fonction des besoins applicatifs des clients dans des secteurs aussi divers que l'automobile, l'électronique, les semi-conducteurs, la santé ou encore l'agroalimentaire. Ces nouveaux produits ABB s'invitent dans tous les environnements industriels complexes ou dangereux exigeant une protection contre la pénétration d'eau et de poussière, une lubrification alimentaire, ou encore de type salle blanche.

L'IRB 910INV SCARA est un robot compact, idéal pour l'industrie électronique, également disponible en version salle blanche. Il existe en deux variantes de charge utile maximale (3 et 6 kg) et de portée (350 et 550 mm).

L'IRB 1100 est protégé IP40 de série, IP67 en option. Ces deux modèles sont proposés chacun avec une portée de 475 ou 580 mm. Le robot offre ainsi les meilleures charge utile et répétabilité (0,01 mm) de sa catégorie pour un gain de productivité de 35 %, un encombrement réduit de 10 % et une qualité de fabrication optimale.

L'IRB 1300, dernier-né de la famille, offre une portée de 900, 1150 ou 1400 mm au choix, une protection standard IP40 et une répétabilité comprise entre 0,02 et 0,03 mm.

Toutes ces variantes proposent en option une précision absolue garantissant un positionnement ultrafin du robot dans des applications contraignantes. Cette dernière génération de petits robots modulaires ABB répond ainsi aux besoins accrus de personnalisation, de flexibilité et de compacité de l'industrie. •

## LIGNE DIRECTE AVEC LE CLOUD



Les clients d'ABB dans le domaine de la variation électronique de vitesse, tous secteurs confondus, cherchent à allier connectivité Internet, collecte de données, analyse dans le cloud et visualisation, sans le moindre souci de configuration. Avec la nouvelle micro-console Drive Connectivity Panel, les voilà servis : les données sont disponibles pour être analysées dans le cloud à peine quelques minutes après l'installation !

La micro-console ABB s'appuie sur le réseau cellulaire et l'Internet des objets à bande étroite (NB-IoT) pour faire remonter les données de fonctionnement du variateur vers la plate-forme de cloud ABB Ability™.

Seul produit du marché à offrir une connectivité cloud sans occuper de port d'E/S, elle garantit en outre la sécurité des données : celles-ci sont chiffrées et transitent via le réseau cellulaire sécurisé NB-IoT, dédié aux communications industrielles.

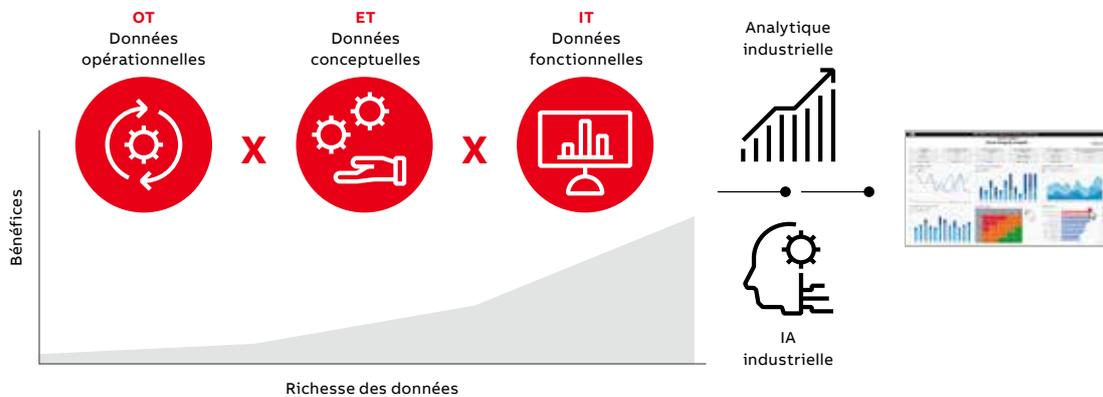
Grâce à la prise en charge des derniers standards de téléphonie mobile, la console peut « dialoguer » partout avec le cloud, sous réserve d'une bonne couverture réseau, et ce, même si le variateur est installé au sous-sol.

Une solution idéale pour le suivi d'état d'équipements nécessitant un premier niveau d'analytique et d'alarme mais utilisant peu de données. Avec la transmission en continu, l'opérateur peut visualiser l'état fonctionnel du variateur, recevoir des notifications, obtenir des indicateurs clés de performances ou générer des tendances ; des informations très faciles à interpréter. Si nécessaire, l'interface Bluetooth permet d'entrer en contact avec la télé-assistance ABB Ability™ Mobile Connect for drives via l'application mobile Drivetune de mise en service et gestion des variateurs.

Cette solution de suivi d'état par micro-console ABB, déjà commercialisée en Chine, est actuellement en phase de déploiement pilote en Europe et aux États-Unis. •



## UNE SYMPHONIE NUMÉRIQUE



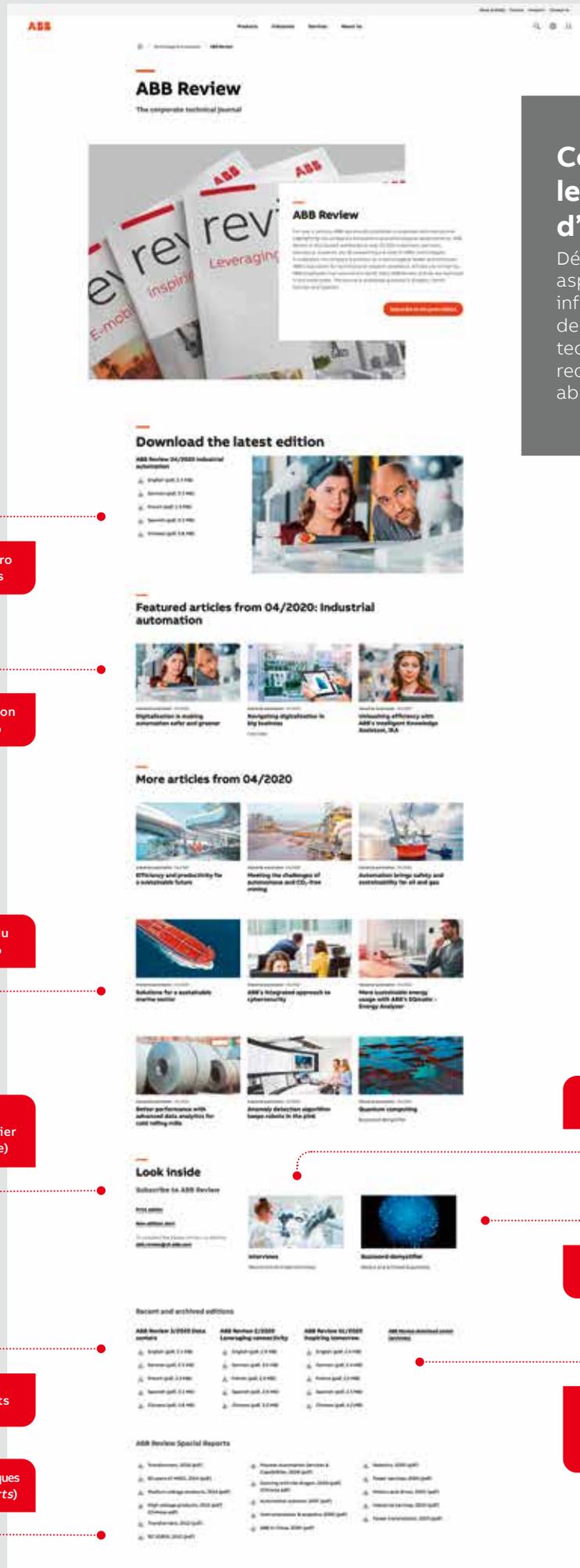
À l'ère du numérique, ABB bâtit son offre de produits et services sur une nouvelle vision de progrès : collecter et fédérer la multitude de données multisources disséminées au sein de l'usine en un puissant écosystème d'informations synchronisé à l'échelle de l'entreprise, capable de démultiplier son impact sur tous les aspects de l'excellence opérationnelle.

Une convergence orchestrée par la suite ABB Ability™ Genix Industrial Analytics and AI et le système de gestion de données opérationnelles ABB Ability™ Edgenius. Ces deux outils s'accordent en une solution unifiée qui rassemble, contextualise et convertit les données temps réel issues de l'opérationnel (OT), de l'informatique (IT) et de l'ingénierie (ET) en un tout cohérent et directement exploitable par les outils d'analyse, les modèles d'intelligence artificielle (IA) et les algorithmes d'apprentissage automatique (ML).

Cette avancée ABB est née d'un constat : de nos jours, plus de 70 % des données industrielles restent confinées en silos, échappant au traitement analytique et algorithmique IA/ML. ABB Ability™ Genix et Edgenius libèrent cette précieuse manne informationnelle.

C'est le cas, par exemple, de la maintenance prédictive récemment développée par ABB pour la propulsion marine Azipod®.

La solution identifie et signale les anomalies potentielles aux équipes de maintenance pour leur permettre de prévenir les défaillances en s'aidant de modèles IA et ML. Elle utilise pour cela un moteur de détection précoce basé sur l'intégration de données opérationnelles temps réel, comme la température des enroulements, la vitesse, le couple, la puissance ainsi que la température d'admission et d'évacuation d'air frais, entre autres exemples. Des installations pilotes ont déjà prouvé les mérites de l'innovation ABB : en gagnant plus d'une heure sur le délai de réponse, les opérateurs sont en mesure de régler les problèmes avant qu'ils ne dégénèrent en catastrophe. ABB Ability™ Genix et Edgenius forment un duo de virtuoses qui orchestre toute la chaîne de données industrielles. •



Le dernier numéro en cinq langues

La sélection de la rédaction dans le dernier numéro

Autres articles du dernier numéro

Abonnement (à la version papier ou électronique)

Numéros récents

Dossiers thématiques (Special Reports)

**Connaissez-vous le site internet d'ABB Review ?**  
 Découvrez de nouveaux aspects de la revue et informez-vous sur les derniers produits et technologies issus de la recherche ABB sur [abb.com/abbreview](http://abb.com/abbreview).

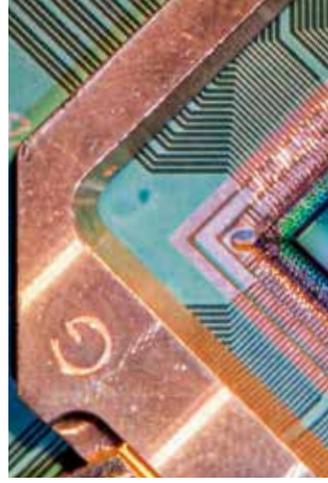
Sélection d'entretiens des précédents numéros

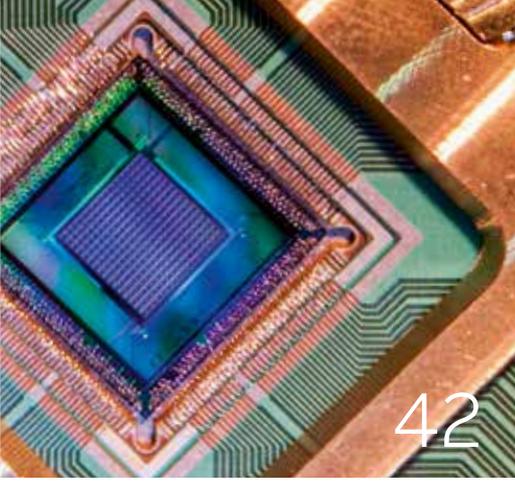
Sélection d'articles « Le mot du moment »

Archives des anciens numéros (jusqu'en 1914) : un véritable trésor de connaissances à portée de clic



# Au cœur de la technologie

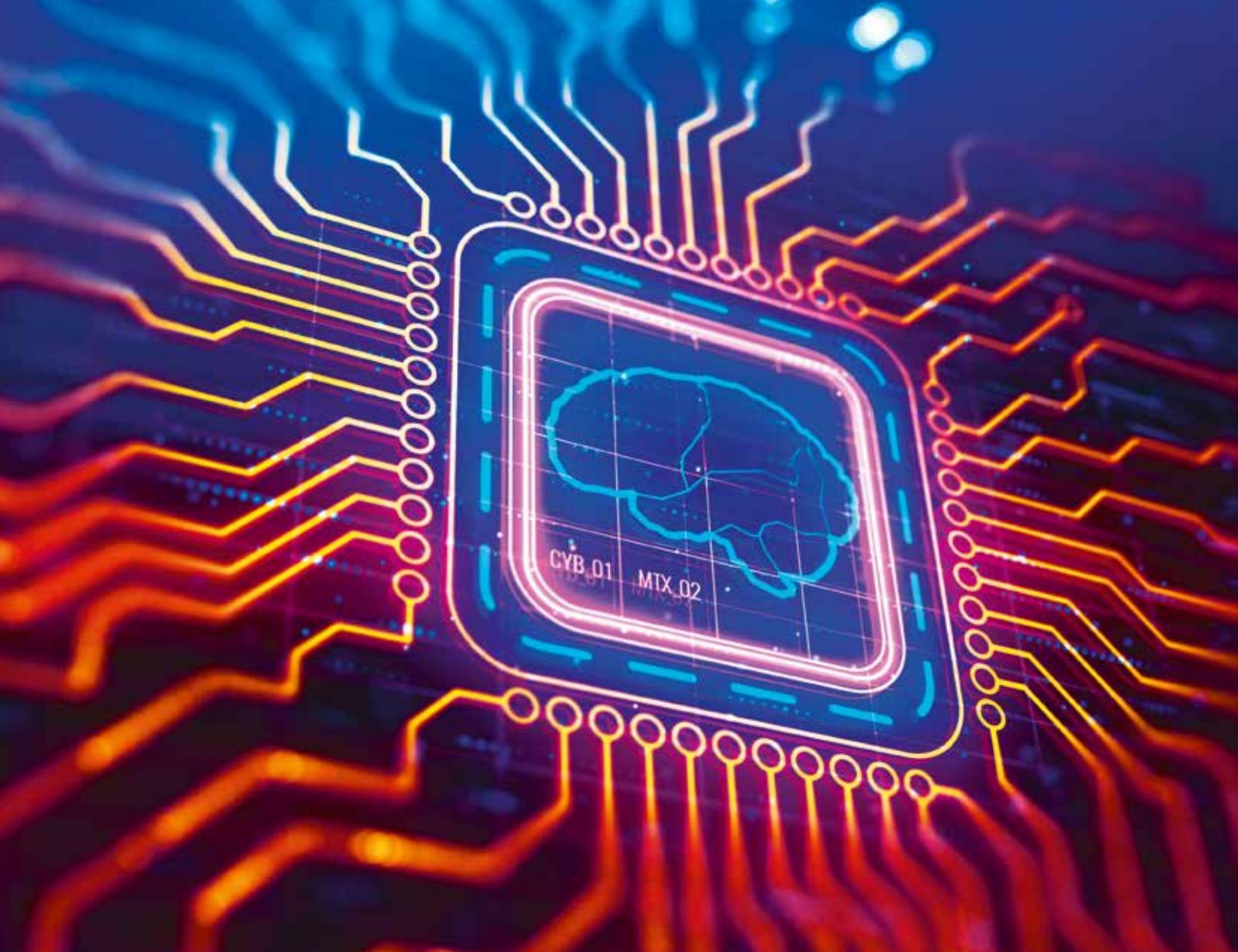




Alors que les dispositifs et systèmes connectés œuvrent à la construction de l'usine numérique, technologie et « intelligence » sont désormais indissociables. ABB en a fait les deux piliers de son infatigable stratégie d'innovation au bénéfice de l'industrie.

- 24 L'union fait le progrès
- 28 Coup d'accélérateur pour l'IA industrielle
- 30 La 5G au service de l'usine numérique
- 37 Gestion d'énergie avec Ekip UP
- 42 Informatique quantique : promesses et réalités





---

AU CŒUR DE LA TECHNOLOGIE

# L'union fait le progrès

L'intelligence artificielle change le visage de l'industrie. ABB doit insuffler du sang neuf dans sa recherche-développement. Le Groupe a notamment lancé un programme accélérateur de startups, qui lui permet de passer à la vitesse supérieure dans la course à l'innovation 4.0.



01

Depuis toujours, ABB a prôné une philosophie d'intégration, en allant chercher à l'extérieur les idées et les activités complémentaires de sa propre recherche-développement. Les interactions avec les partenaires externes, universités, instituts de recherche ou jeunes pousses aident le Groupe à identifier et à tirer le meilleur parti de technologies ou de modèles économiques révolutionnaires, qui donnent naissance à de nouveaux produits et services.

Cette approche collaborative est un atout différenciateur pour réussir la bascule vers la « révolution de l'intelligence » que promet l'intelligence artificielle (IA) et renforcer les capacités humaines dans nombre de secteurs industriels. Même balbutiant, ce domaine est aujourd'hui l'un des plus grands bénéficiaires de capital risque. La quasi-totalité des grandes entreprises industrielles cherche à intégrer dans leurs offres. Selon l'*Artificial Intelligence Index* de l'université de Stanford, le nombre de startups spécialisées dans l'IA aux États-Unis a été multiplié par 14 depuis 2000 [1].

Avec son programme d'accélération de l'IA industrielle, lancé en 2019, ABB franchit un nouveau cap dans la transformation numérique de l'usine [2] →01.

Première étape : identifier les startups porteuses de bonnes idées pour distiller l'IA dans leurs solutions, en faciliter le déploiement et l'industrialisation. Les jeunes pousses sélectionnées ont pour cela bénéficié de conseils et du soutien technique d'ABB, mais aussi d'un accompagnement stratégique et commercial pour gagner des clients et se développer à l'international. L'une d'elles a même remporté le Prix du jury constitué d'experts, de partenaires et de clients ABB.

#### La gagnante est...

Le programme ABB a servi de tremplin à sept jeunes pousses prometteuses pour explorer les applications pratiques de leurs tout nouveaux concepts et en accélérer le développement industriel. Deux mois durant, ABB et AtomLeap (société berlinoise spécialisée dans l'accompagnement

Le programme ABB a identifié des startups spécialisées dans l'intelligence artificielle appliquée aux solutions industrielles.

des startups et l'intelligence stratégique dans la high tech) ont passé au crible plus d'une centaine de candidates originaires d'une vingtaine de pays européens.

Ces startups ont pu ensuite bénéficier du savoir-faire d'ABB et accélérer leur croissance en travaillant en tandem avec une division ou une entité du Groupe sur des projets d'intérêt commun.

Au terme de quatre mois de coopération, elles ont présenté leurs résultats à une centaine d'industriels réunis pour l'occasion. Comme dans un jeu télévisé, chacune a défendu ses solutions devant un jury de six membres, composé d'investisseurs et d'experts en affaires et en technologies, et répondu à leurs questions pointues. Greenlytics est sortie vainqueur de la compétition.

01 Le programme ABB d'accélération de l'IA industrielle a soutenu de prometteuses startups du domaine.



**Victoria Lietha**  
ABB Technology Ventures  
Zurich (Suisse)

victoria.lietha@  
ch.abb.com

### Coup de pouce pour l'avenir

Ce programme à vocation multisectorielle avait pour objectif de favoriser le développement en tandem startup-ABB de solutions spécifiques à une application industrielle ciblée, bénéfique aux deux acteurs du projet.

Pour renforcer cette coopération avec le Groupe et aider les startups à croître sur le marché mondial, la plate-forme d'ABB pour l'innovation SynerLeap [3] a offert une adhésion gratuite pour six mois à trois

## Startups et divisions ABB unissent leurs efforts pour faire avancer l'IA dans l'industrie.

d'entre elles : Greenlytics, Vathos Robotics et OneWatt. Les autres finalistes (Cobrainer, Dutch Analytics, Intelec et 8power) poursuivront leur recherche de nouvelles solutions d'IA industrielle.

Ce coup d'accélérateur donné aux jeunes pousses présente un intérêt stratégique, comme l'explique Kurt Kaltenegger, responsable des activités d'ABB auprès des startups et président d'ABB Technology Ventures (ATV) : « Notre programme était un moyen de nouer des partenariats avec des startups. Grâce à SynerLeap, divisions ABB et startups unissent leurs efforts pour faire aboutir des projets concrets. Cette approche accélère le développement d'innovations clés nous permettant de remporter de nouveaux contrats ou de mieux servir notre clientèle. De même, nous soutenons financièrement la croissance des jeunes pousses les plus prometteuses par l'entremise d'ATV. » L'objectif commun est de favoriser le développement de solutions pour produire, vivre et se déplacer de manière plus intelligente et durable. Le Groupe coopère aujourd'hui avec plus de 60 startups via SynerLeap et soutient près de 25 entreprises dans le monde entier par le biais d'ATV. •

#### Bibliographie

[1] Institut de Stanford pour l'intelligence artificielle centrée sur l'humain, *The 2019 AI Index Report*, disponible sur : <https://aiindex.org/>, consulté le 7 avril 2020.

[2] [www.synerleap.com](http://www.synerleap.com), consulté le 7 avril 2020.

## UNE LARGE PALETTE APPLICATIVE

Les activités des sept startups ayant participé à l'accélérateur ABB reflètent la diversité des applications potentielles de l'IA dans l'industrie.



### Greenlytics

Cette jeune entreprise suédoise développe des outils pour prévoir la production et la consommation d'énergie éolienne et solaire, faciliter la prise de décision dans les échanges d'énergie et optimiser le fonctionnement des centrales. La solution issue de cette collaboration a déjà été déployée dans l'usine Busch-Jaeger (filiale d'ABB) récemment inaugurée à Lüdenscheid (Allemagne), dans le cadre du projet « Zéro émission de CO<sub>2</sub> ».

L'intégration du produit SolarMind de Greenlytics dans la solution de gestion énergétique OPTIMAX® d'ABB améliore les prévisions de production photovoltaïque. Les données historiques et locales des centrales, mais aussi météorologiques, alimentent en permanence l'IA de Greenlytics.

« Nous avons identifié dès le départ des synergies très fortes entre l'offre de Greenlytics et OPTIMAX d'ABB », explique Markus John, dont l'équipe a travaillé en étroite collaboration avec la startup. *La précision des prévisions de Greenlytics renforce la flexibilité d'OPTIMAX, avec à la clé une meilleure coordination de l'exploitation et du négoce d'énergie entre la production décentralisée, la consommation et le stockage, et donc une réduction des coûts pour nos clients.* »

Sebastian Haglund El Gaidi, fondateur de Greenlytics, vante les mérites de cette collaboration : « ABB nous apporte son expérience et sa présence mondiale pour diffuser nos produits et services. »

Le champ de vision de l'entreprise s'en est trouvé élargi : « La collaboration avec ABB nous a permis de développer notre vision des réseaux électriques du futur où les maîtres-mots seront décentralisation, intelligence et intégration croissante des renouvelables. Nous avons beaucoup appris sur le marché et les besoins des clients, ce qui est primordial pour une startup. »



### Cobrainer

Cette startup munichoise montre une facette très différente de l'IA : elle s'appuie sur l'apprentissage machine pour optimiser la mobilité interne dans les moyennes et grandes entreprises en mettant automatiquement en adéquation les compétences du personnel et les postes disponibles.

En collaboration avec la RH d'ABB, Cobrainer a conçu et mis en œuvre ABB Career. Cette application basée sur sa technologie Skill Career, permet aux employés du Groupe de bâtir en quelques secondes un profil détaillé de compétences servant à créer un poste à pourvoir et à identifier les meilleures candidatures.



### Dutch Analytics

Basée à La Haye (Pays-Bas), cette startup propose une plate-forme de maintenance prédictive appelée UbiOps pour créer et déployer des applications de surveillance d'actifs. Elle a travaillé avec la division Marine & Ports d'ABB sur les systèmes de refroidissement des variateurs moyenne tension équipant les navires à propulsion diesel-électrique. Une application qui exige une maîtrise parfaite de la fourniture de liquide réfrigérant aux moteurs en fonctionnement. Grâce aux données fournies par le système de télédiagnostic maritime ABB Ability™ embarqué, l'équipe a mis au point un modèle qui prévoit le taux d'évaporation du liquide et préconise une date de maintenance. Cette technologie d'IA qui anticipe les pannes et améliore la disponibilité des équipements a déjà fait ses preuves dans les secteurs ferroviaire, maritime et industriel.

Jorick Naber, directeur des opérations chez Dutch Analytics, se félicite de la collaboration avec ABB : « C'est un formidable levier de progrès et de croissance pour Dutch Analytics. Ce projet commun nous aide à améliorer notre offre et à conquérir de nouveaux marchés pour notre plate-forme et nos applications de maintenance prédictive. »



### Intelec

Établie à Oslo (Norvège), cette société spécialisée dans l'analyse des données de production manufacturière et continue à recourir à l'apprentissage automatique pour prévenir les pannes et dysfonctionnements, et améliorer les *process*. Intelec a puisé dans des données de production tirées de la plate-forme d'automatisation étendue ABB Ability™ 800xA. Une fois traitées, structurées, étiquetées et nettoyées, ces données ont servi à sélectionner, à entraîner et à déployer des algorithmes d'apprentissage automatique industriels qui enrichiront les analyses.



### OneWatt

Basée à Arnhem (Pays-Bas), OneWatt a conçu un système de maintenance prédictive non invasif, sans contact, des moteurs : des capteurs de reconnaissance acoustique embarqués « écoutent » les moteurs, limitant ainsi les réparations inutiles et les arrêts imprévus. L'intégration des fonctionnalités d'IA de OneWatt dans les capteurs connectés d'ABB a renforcé la visibilité sur le fonctionnement des équipements et leurs défaillances. Ce partenariat fut aussi l'occasion pour OneWatt de travailler sur la détection d'autres « bêtes noires » de l'industrie : cavitation, déséquilibres électriques et excentricité des moteurs.



### Vathos Robotics

Cette entreprise de Düsseldorf (Allemagne) met la vision par ordinateur et l'apprentissage automatique au service de la robotique et de l'automatisation industrielle. La modularité de ses logiciels de vision artificielle facilite l'intégration dans les applications robotisées d'ABB. Des interfaces web applicatives (API) permettent de déporter dans le cloud la puissance de calcul nécessaire pour entraîner les modèles d'IA. Pour des applications critiques, les clients peuvent se prémunir des risques de déconnexion en relocalisant ces ressources en périphérie de réseau.



### 8power

Originaire de Cambridge, le Britannique 8power travaille sur les solutions de capteurs sans fil auto-alimentés pour des applications industrielles comme le suivi d'état des machines. La startup s'appuie sur une technologie ingénieuse et brevetée de récupération de l'énergie produite par les vibrations mécaniques pour résoudre un défi majeur de l'Internet des objets : alimenter la profusion de capteurs disséminés dans l'usine sans avoir à remplacer les batteries. Son partenariat avec la division pétrogazière d'ABB s'est concentré sur l'intégration d'algorithmes d'IA dans ces capteurs sans fil auto-alimentés pour assurer le diagnostic et la surveillance d'installations. •

AU CŒUR DE LA TECHNOLOGIE

# Coup d'accélérateur pour l'IA industrielle

ABB a mis sur pied un ambitieux programme de coopération avec des startups prometteuses dans un domaine en pleine ébullition, l'intelligence artificielle. Pour en savoir plus, *ABB Review* a rencontré le responsable du programme, Philipp Vorst.



**Philipp Vorst**

Chef de projet  
Industrial AI Accelerator

**AR** Merci de nous accorder cet entretien, Philipp. Pouvez-vous nous dire quelques mots sur l'origine de ce programme ?

**PV** Avec plaisir. ABB est convaincu que l'avenir de l'innovation passe par une démarche de progrès ouverte aux apports externes d'universités, d'instituts de recherche, de startups, etc. Une synergie capitale dans un domaine comme l'intelligence artificielle (IA), qui évolue à un rythme effréné. C'est dans cette optique collaborative que nous avons lancé l'an dernier un accélérateur de startups avec le soutien appuyé de la direction d'ABB et une forte implication de nos centres de recherche, notamment en Allemagne et en Pologne, qui ont une grande expérience de l'innovation ouverte. Ont aussi joué un rôle décisif notre branche stratégique

de capital risque ABB Technology Ventures (ATV) et le groupe ABB tout entier, qui a apporté une dimension mondiale au projet.

**AR** Comment définiriez-vous l'IA ? Est-elle synonyme d'apprentissage automatique ?

**PV** Pour faire simple, l'IA désigne des machines ou systèmes informatiques imitant des compétences humaines (apprentissage, raisonnement, autocorrection, etc.) dans différents environnements. L'apprentissage automatique, pour sa part, est une branche de l'IA qui se fonde sur des algorithmes donnant aux ordinateurs la capacité d'« apprendre » à partir de données. L'IA peut beaucoup renforcer les capacités humaines dans de nombreux domaines industriels, comme le contrôle-commande et la robotique par exemple. La discipline compte une multitude de jeunes pousses très dynamiques, qui sont autant de précieux partenaires d'ABB pour l'aider à atteindre plus rapidement ses objectifs.

**AR** Cette initiative pour encourager la collaboration entre ABB et jeunes pousses n'est pas la première...

**PV** Effectivement, sont aussi de la partie ATV, comme nous l'avons déjà dit, mais également SynerLeap, notre plate-forme pour l'innovation basée en Suède. Sans oublier plusieurs initiatives en cours dans les différentes unités du Groupe.

**AR** Parlez-nous d'ATV.

ATV nous accompagne dans la sélection et la promotion de startups porteuses de projets de partenariat avec ABB. Elle investit sous forme de capital risque dans des entreprises technologiques de pointe partageant notre objectif : la transformation numérique de l'industrie. Le Groupe y trouve de nombreux avantages (accès à des technologies innovantes et des secteurs émergents, découverte de nouveaux modèles économiques) propices à son maintien en tête de la course à l'innovation.



**AR** Et SynerLeap ?

**PV** SynerLeap aide des entreprises du monde entier à développer leurs activités et à conquérir des marchés à l'international. Il s'agit là d'une initiative majeure de coopération avec des créateurs d'entreprise et des startups, qui bénéficient en retour des ressources, des réseaux internes et des compétences d'un géant mondial comme ABB. SynerLeap a ainsi accéléré le déploiement de plus de 80 entreprises en trois ans. Beau bilan, n'est-ce pas ?

**AR** Comment avez-vous choisi les startups participant au programme Industrial AI Accelerator ?

**PV** Nous en avons évalué plus d'une centaine en deux mois et retenu sept répondant à nos critères : adéquation de leurs activités avec les applications visées par ABB, richesse et pertinence de l'offre technique, constitution des équipes projet. Deux de ces candidates étaient d'ailleurs issues du réseau SynerLeap.

**AR** Et ensuite ?

**PV** Les startups sélectionnées ont intégré ce programme de quatre mois fin janvier 2019. Chacune a travaillé en partenariat avec une division ABB sur une application pratique de l'IA, comme la détection d'anomalies en contrôle-commande ou la vision artificielle en robotique. La foire de Hanovre, début

---

Pour ABB, l'avenir rime sans conteste avec l'innovation ouverte.

avril, a marqué un premier jalon : les startups ont participé à un atelier et présenté leurs solutions sur le stand ABB. La Suède étant le pays partenaire de l'édition 2019 de cette grand-messe industrielle, SynerLeap a joué un rôle de premier plan dans le laboratoire d'innovation du pavillon suédois.

La plate-forme a ainsi pu dévoiler ses propres réalisations et celles des startups devant un parterre d'experts, de clients et de partenaires ABB. Ce fut là une excellente introduction à la journée de présentation des résultats à Berlin en mai 2019, au cours de laquelle la startup suédoise Greenlytics a remporté le Prix du jury d'experts.

**AR** Comment ces structures innovantes abordent-elles l'IA ? Que leur apporte l'accélérateur ?

**PV** Les startups du programme intègrent des composants d'IA, d'apprentissage automatique ou de vision artificielle, par exemple, dans des solutions à fort potentiel de déploiement industriel. L'accélérateur leur prodigue des conseils, un soutien technique ainsi que des pistes pour adapter leurs solutions aux besoins des industriels, les commercialiser et gagner des clients dans le monde entier.

**AR** Diriez-vous que ce programme a été une réussite ?

**PV** Sans aucun doute ! Il a fait naître de fructueuses collaborations multipartites qui, sans cela, auraient pris beaucoup plus de temps ou n'auraient carrément pas vu le jour. Ce succès est à mettre au crédit de la volonté des divisions ABB de mener à bien ces projets, de soutenir ces jeunes pousses et de travailler ensemble sur des cas spécifiques et parfaitement ciblés d'application industrielle de l'IA. Un grand bravo à tous les acteurs du projet pour leur implication, au sein d'ABB comme des startups ! J'ajoute qu'au-delà de nos sept partenaires, d'autres jeunes entreprises se sont avérées un formidable vivier d'idées fertiles pour l'usine du futur !

**AR** Merci beaucoup de nous avoir reçus. •



AU CŒUR DE LA TECHNOLOGIE

# La 5G au service de l'usine numérique

La numérisation de l'industrie s'appuiera largement sur la 5G, cinquième génération des standards de téléphonie mobile. Une véritable rupture technologique qui touchera tous les domaines d'activité d'ABB. Qu'apporte-t-elle et quelle sera la contribution du Groupe ?



**Dirk Schulz**  
ABB Industrial Automation, Corporate Research Ladenbourg (Allemagne)

dirk.schulz@de.abb.com

Profiter de la déferlante numérique et gagner en compétitivité sur l'ensemble de la chaîne de valeur industrielle passe par une intégration verticale renforcée des réseaux, des procédés et des équipements de production. Les systèmes d'automatisation sont en première ligne pour satisfaire au besoin croissant de flexibilité, de productivité et de réduction des risques d'exploitation. Ainsi, leur conception évolue : il s'agit moins d'automatiser les flux d'énergie et matière que les flux d'information et processus numériques, y compris entre différents secteurs industriels verticalisés →01. C'est là que la 5G entre en jeu pour donner naissance à un écosystème numérique véritablement intégré.

## 5G : définition et caractéristiques

L'explosion des connexions et échanges de données dans le monde appelle un tout nouveau type de communication sans fil [1]. Loin de se contenter d'être une 4G plus rapide, la 5G est bel et bien une innovation de rupture : connexion quasi simultanée de nombreux appareils, cohabitation de différents réseaux logiques (conduite autonome, applications vocales et industrielles) sur une même infrastructure physique, etc. →02.

La 5G, dont le déploiement dans l'espace public a commencé en 2019, devrait voir ses performances progresser selon trois axes au cours des prochaines années :

- L'ultra haut débit mobile (eMBB), qui promet des transferts dix fois plus rapides qu'avec la 4G, autorise des applications très gourmandes en bande passante, comme la diffusion de vidéos haute définition ou la réalité augmentée (RA), pour le grand public comme l'industrie ;
- La communication ultrafiabre à faible latence (uRLLC) cible les procédés et applications

complexes comme la régulation et la commande multiaxe synchronisée (*Motion Control*), les communications sécurisées entre machines et la logistique autonome (véhicules autoguidés). Déjà normalisé, ce service devrait être mis sur le marché en 2021 ou 2022 ;

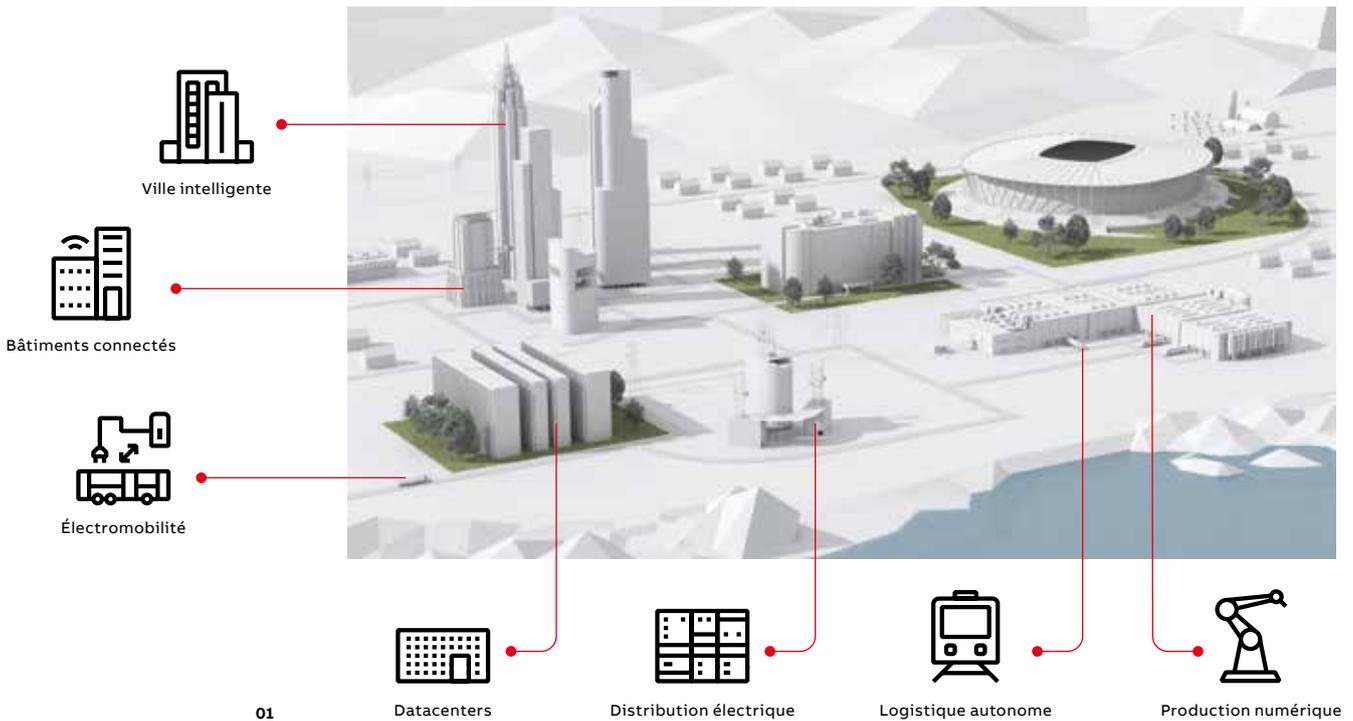
- La connexion massive simultanée (mMTC) permet de multiplier le nombre d'objets connectés sur une zone, en particulier pour les réseaux de capteurs dont le débit est faible, comparativement à un flux vidéo par exemple, mais la densité spatiale, forte. Prévu pour être normalisé en dernier, ce service devrait être déployé fin 2023.

Ces trois types de performances se combinent dans la pratique. La diffusion en continu de contenu RA, par exemple, requiert une large bande passante et une faible latence pour éviter la gêne occasionnée par un trop grand décalage temporel entre les mouvements de tête et l'image. La régulation, de

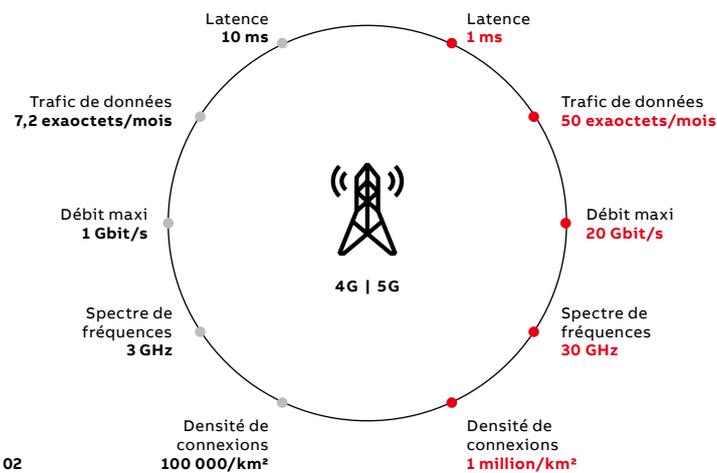
—  
La 5G n'est pas qu'une 4G plus rapide, mais bien une technologie de rupture.

son côté, exige un grand nombre de capteurs et une fiabilité élevée, mais se contente de débits relativement faibles →03. Ces exemples illustrent bien les deux besoins fondamentaux de l'industrie auxquels répond la 5G :

- Des communications déterministes en contrôle-commande de procédés, avec une fiabilité élevée et une faible latence qui permettent de fermer les boucles des systèmes cyber-physiques ;



01



02

l'ajout d'équipements réseau (radio, optiques ou informatiques) pour doper les performances.

**Découpage du réseau**

Le réseau est partagé entre différents usages. Une application à temps critique peut s'abonner à une « tranche » virtuelle et ainsi éviter l'investissement dans une infrastructure spécialisée ; imaginons, par exemple, une application de conduite autonome

La 5G offre un large éventail de fonctionnalités et d'innovations pour l'automatisation industrielle.

- Des communications transactionnelles à des fins d'optimisation et de maintenance des procédés et des équipements, avec la possibilité de connecter un grand nombre de capteurs hétérogènes.

Au-delà de ces progrès, l'automatisation industrielle a tout à gagner de la 5G qui offre un large éventail de fonctionnalités et d'innovations.

**Infrastructure déterministe et évolutive**

La 5G offre des mécanismes qui veillent au bon acheminement des données, dans un délai borné, et garantissent la disponibilité des ressources allouées à la communication. Cette double précaution facilite la montée en charge des applications ainsi que

grand public partageant un même réseau 5G avec une usine connectée. Ce principe vaut aussi pour un réseau privé : les flux de données dédiés à la bureautique, au contrôle-commande, à l'exploitation, à la maîtrise des risques, à la distribution des énergies et des fluides, ainsi qu'à l'infrastructure, entre autres, peuvent y être parallélisés en toute sécurité.

**Universalité**

La radio 5G est une technologie éminemment flexible. Les équipements peuvent en effet s'adapter à une configuration donnée en termes de déterminisme, de bande passante et de nombre d'abonnés au réseau, en fonction des ressources radio disponibles. Plus besoin

—  
01 De la distribution d'électricité à l'automatisation des villes du futur, la 5G répond aux besoins d'un écosystème numérique d'activités verticales intégrées.

—  
02 La 5G décuple les performances de la 4G.

—  
03 Principales propriétés de la 5G :  
latence de 125 µs à quelques secondes ;  
débit de quelques kbit/s à quelques Gbit/s ;  
portée de 1 m à 1000 km ;  
densité jusqu'à 1 million de dispositifs/km<sup>2</sup> ;  
disponibilité de 99 à 99,999 %.

de système de radiocommunication spécialisé pour chaque type d'applications automatisées, du *Motion Control* à la vidéosurveillance de procédé.

**Synchronisation globale**

À la faible latence des applications de contrôle-commande s'ajoute une synchronisation temporelle haute précision pour les communications sans fil longue distance. Dans le cas de procédés critiques, la 5G permet de regrouper en une seule séquence toute la chronologie des alarmes et événements remontés d'équipements répartis sur plusieurs sites éloignés.

**Flexibilité et sécurité en bordure de réseau**

Pour éviter de trop solliciter les capteurs ou équipements de terrain critiques, à l'autonomie limitée, il est possible de déployer des modules logiciels virtualisés à proximité du procédé, dans lesquels s'exécuteront le traitement du signal et l'analytique. Outre la flexibilité, cette approche a d'autres avantages, comme la possibilité de réinjecter des données dans le procédé avec une faible latence (en vue d'intégrer le contrôle qualité produit, par exemple) ; elle évite également l'ajout de matériel informatique dédié sur le terrain. L'utilisation d'un réseau privé sécurise les données sensibles puisque ces dernières ne sortent pas du périmètre de l'entreprise, encore moins pour aller dans un datacenter externe.

**Basse consommation, haute densité**

La 5G offre des variantes protocolaires s'appuyant sur l'IoT à bande étroite (NB-IoT), un standard de réseau radio basse consommation longue portée à faible coût qui utilise la bande de fréquence 200 kHz.

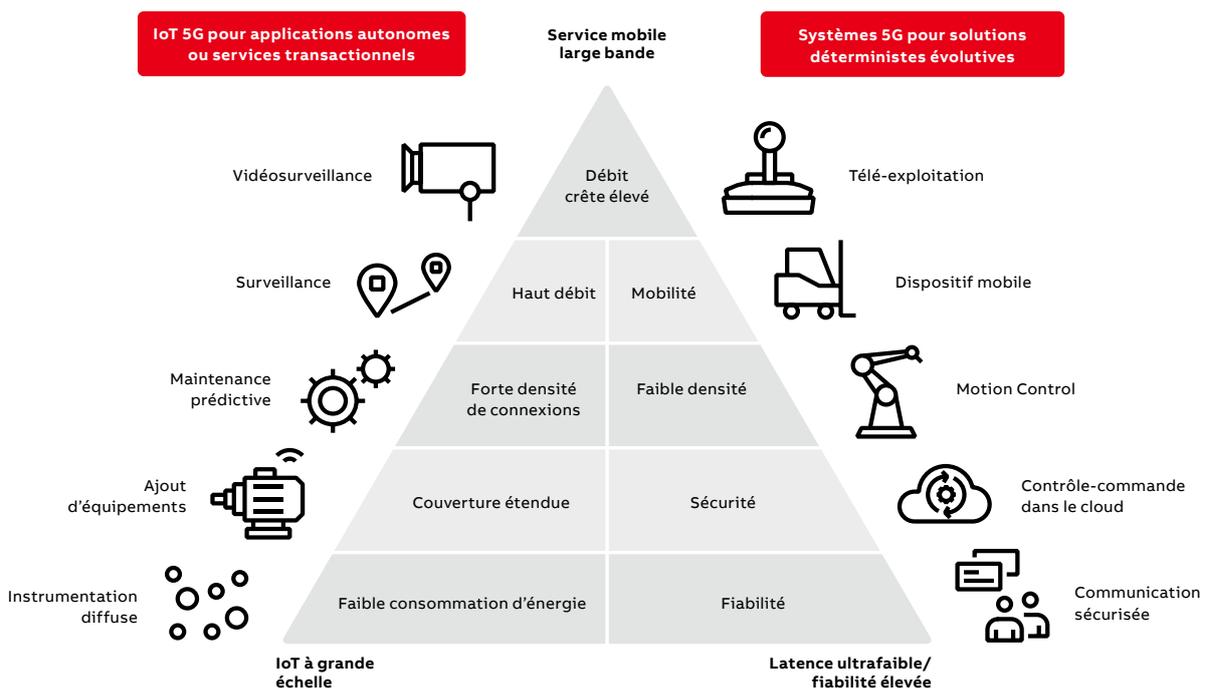
La réduction de la puissance et du débit de données autorise une nette hausse de la densité des dispositifs, garante du service mMTC précédemment évoqué. Le NB-IoT prend en charge une large

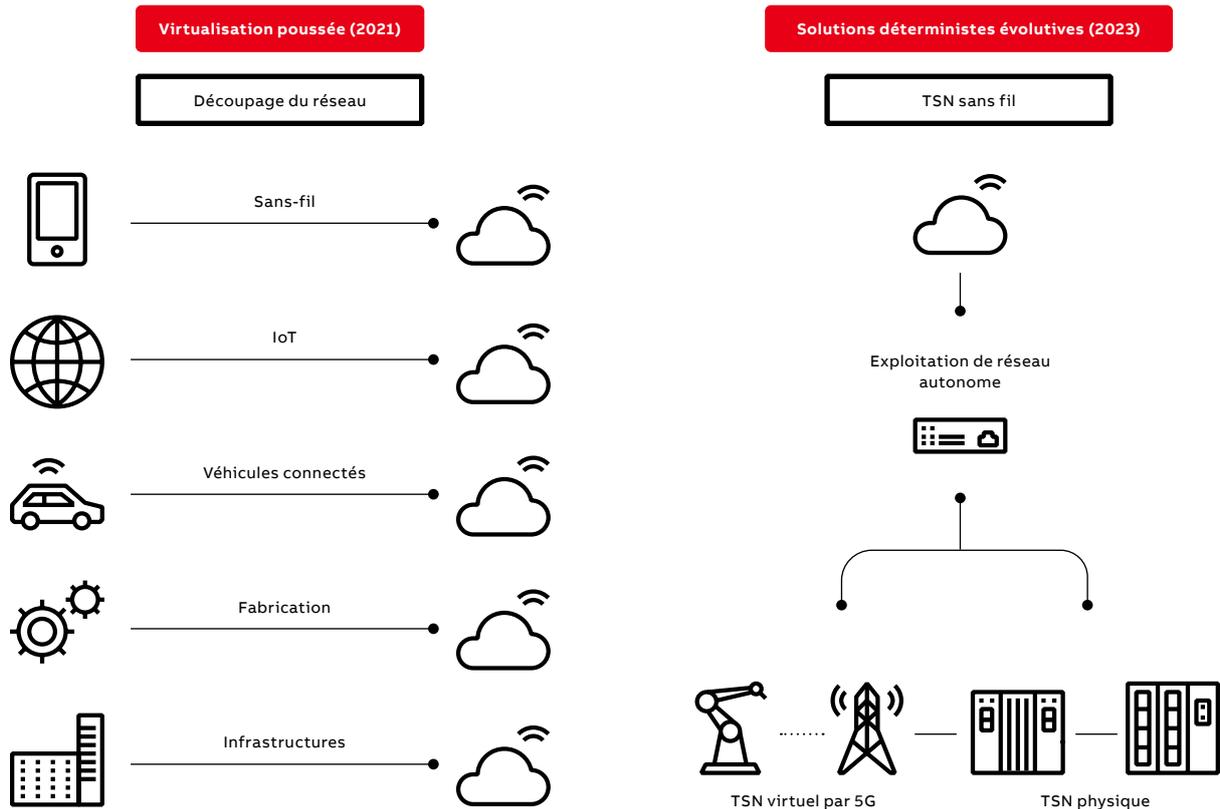
—  
**ABB s'intéresse à la valeur ajoutée que peut apporter la 5G à ses clients.**

palette de dispositifs et services sans fil. Ses points forts : densité de connexions, couverture radio en intérieur et faible consommation (de l'ordre du mW). Ainsi, le positionnement des capteurs s'affranchit totalement des contraintes de communication ou d'alimentation – une complète autonomie énergétique est même envisageable –, ce qui réduit les coûts et les temps d'installation.

**Plus-value de la 5G**

Nous l'avons vu, des applications industrielles en 5G peuvent se partager une même infrastructure en fonction des ressources radio et réseau disponibles. Ces dernières peuvent être reconfigurées par logiciel afin de s'adapter en dynamique aux besoins changeants de la production. Ce réglage très fin des caractéristiques réseau permet de gagner en performance applicative avec un surcoût minime, limité à l'ajout des ressources nécessaires.





#### Connectivité universelle des systèmes de production

04

## La 5G ambitionne de doter les installations industrielles d'une connectivité universelle.

Pour ABB, toutes ces innovations technologiques ne servent qu'un seul objectif : apporter à ses clients une plus-value. On peut alors imaginer qu'un industriel décide de confier au fournisseur d'automatismes la propriété et l'exploitation d'une infrastructure critique, tel un système de contrôle-commande distribué, avec les coûts associés, tout en gardant la main sur ses bus de terrain, contrôleurs et dispositifs d'E/S. C'est la liberté de conserver ou de déléguer le risque opérationnel.

Avec la 5G, la productivité n'est pas en reste. La possibilité d'ajouter et de raccorder des capteurs au réseau sans surcoût matériel favorise la numérisation des procédés et des infrastructures. Ces nouvelles données, riches en informations sur les

processus et les produits, alimentent des algorithmes d'apprentissage automatique à même de prédire et de prévenir les arrêts de production et problèmes de qualité.

Autres leviers de valeur ajoutée de la 5G :

- Des procédés de production plus souples : d'une manière générale, la communication sans fil facilite la réorganisation des machines et des ateliers de production, ou le transport de matière par véhicules autoguidés. La fiabilité et le déterminisme nécessaires à cette flexibilité deviennent des réalités industrielles ;
- Une technologie pensée pour la durabilité : plusieurs applications ou secteurs peuvent utiliser une même infrastructure 5G. Capteurs et automatismes connectés sont conçus pour durer et représentent donc un investissement rentable.

Couplée à la technologie réseau TSN (protocole IEEE d'échanges déterministes entre équipements de terrain), la 5G assure des connexions et des traitements informatiques universels pour les systèmes industriels et les infrastructures à

— 04 5G et TSN : innovations et domaines d'application

— 05 La 5G aura un immense impact chez de nombreux clients industriels d'ABB.

grande échelle. Les fonctions automatisées de sécurité, de régulation, d'exploitation, d'analyse et d'apprentissage machine pourront « négocier » les ressources dont elles ont besoin, sans se soucier des questions de protocole ou de déploiement →04.

#### En pratique

Écosystème de communication complexe mais polyvalent, la 5G englobe un large éventail de

technologies radio, de réseaux filaires étendus, d'ordinateurs puissants et de fonctions logicielles évoluées. Elle ambitionne de doter les installations industrielles d'une connectivité universelle →05. Son déploiement interviendra progressivement au cours des prochaines années →06. Souplesse de configuration, possibilité de radiotransmission faible consommation, exécution des traitements à proximité du procédé et accès par abonnement



— 06 Feuille de route du déploiement de la 5G aux différents niveaux de la pyramide d'automatisation industrielle

sont autant d'atouts de la 5G qui garantissent des performances nettement supérieures aux techniques actuelles de transmission industrielle.

Nombreuses sont les solutions de télécommunications ABB utilisées aujourd'hui par le secteur pétrogazier à embarquer déjà la technologie sans fil. Le Groupe fait aussi partie des pionniers de la communication par NB-IoT dans la gestion de flotte et la télémétrie, pour une meilleure disponibilité des équipements.

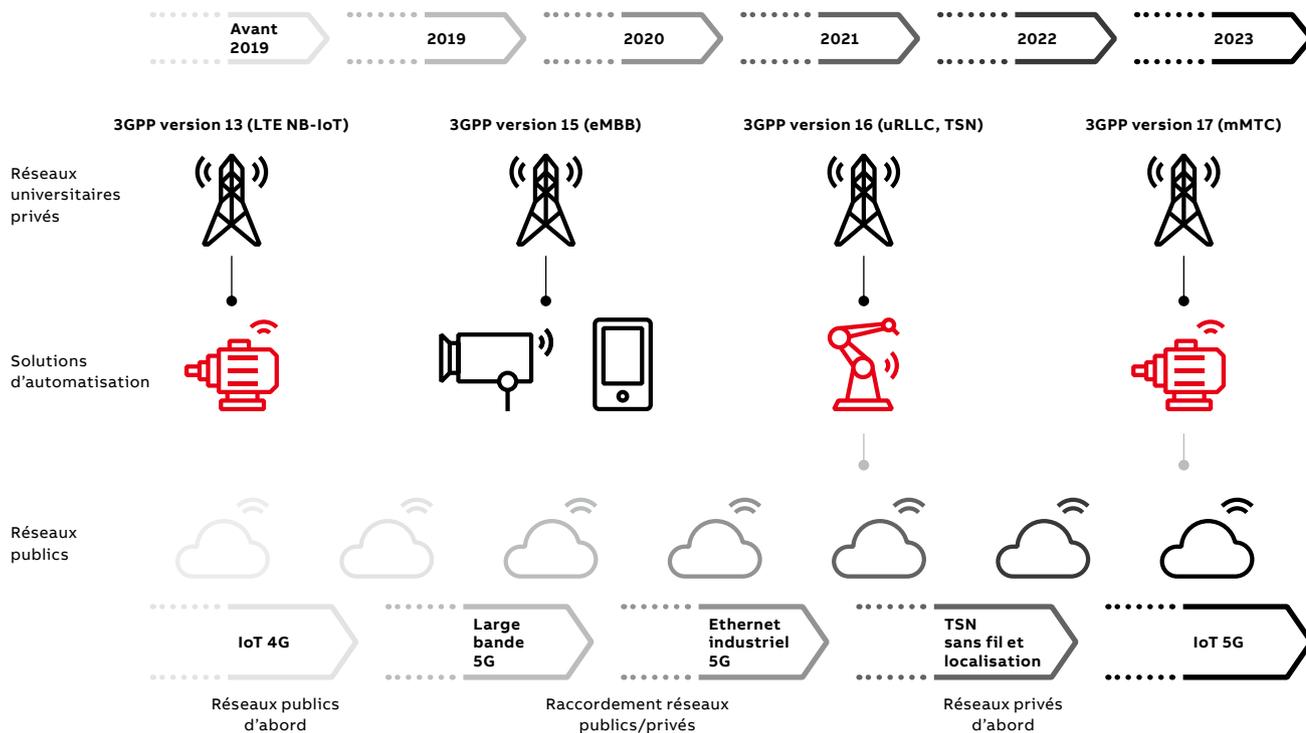
Pour révéler le plein potentiel de la numérisation, ABB s'associe à des grands noms de l'informatique et de la communication, à l'image d'IBM pour l'IA, de Microsoft pour la plate-forme cloud ABB Ability™, d'HPE pour l'informatique de périphérie et, plus récemment, d'Ericsson pour la 5G. C'est d'ailleurs

### ABB et Ericsson font avancer la normalisation, la réglementation et la technologie 5G.

en partenariat avec ce dernier que le Groupe fait avancer la normalisation, la réglementation et la technologie 5G. Leurs objectifs principaux : optimiser la disponibilité du spectre de fréquences local et gagner en robustesse pour répondre aux exigences de l'industrie. •

#### Bibliographie

[1] Schulz, D., « Le mot du moment : 5G », ABB Review, 3/2020, p. 78-79.



3GPP (3rd Generation Partnership Project) : organisme rassemblant les principaux acteurs de la normalisation en télécommunication

—

AU CŒUR DE LA  
TECHNOLOGIE

# Gestion d'énergie avec Ekip UP



—

01 Ekip UP surveille, protège et pilote de nombreux automatismes et équipements de distribution électriques.

01



**Fabio Monachesi**  
ABB Electrification  
Bergame (Italie)

fabio.monachesi@  
it.abb.com

Ekip UP, un des services de l'offre intelligente ABB Ability™, transforme les applications d'automatisation et de distribution d'énergie en microréseaux virtuels. Les exploitants peuvent ainsi bénéficier d'une amélioration du rendement énergétique, de la continuité de service et de la sécurité.



**Sekhar Chakraborty**  
ABB Electrification  
Coventry (Royaume-Uni)

sekhar.chakraborty@  
gb.abb.com

Un microréseau est un ensemble de charges et de sources d'électricité, généralement basse tension (BT), qui interagissent et communiquent entre elles. Pièce maîtresse du paysage énergétique actuel, notamment avec l'essor des énergies renouvelables, le microréseau peut être raccordé à un réseau national ou fonctionner en mode îloté. La multiplication des microréseaux BT décentralisés est aux antipodes des grandes architectures centralisées du passé.

La taille et le budget de ces installations BT étant réduits, le surcoût induit par les frais de régulation, de surveillance ou de gestion intelligente de l'énergie peut rapidement peser très lourd dans

la balance →01. C'est pour cette raison que les millions de disjoncteurs à air et de disjoncteurs en boîtier moulé de toutes marques équipant les microréseaux et autres installations BT sont généralement dépourvus de fonctionnalités évoluées de surveillance ou d'optimisation des ressources.

Las ! Avec l'avènement des réseaux interconnectés et de l'Internet des objets (IoT), les voici incapables, faute de technologie *ad hoc*, d'exploiter la puissance des données afin d'optimiser la gestion d'énergie.

Une lacune que vient combler le module Ekip UP d'ABB →02.



02

### Ekip UP

L'unité logique multifonction Ekip UP →04 assure la surveillance, la protection, la conduite, la logique programmable, la connectivité complète, l'intégration facile et la gestion énergétique globale des automatismes et des réseaux de distribution BT. Elle fonctionne à des tensions inférieures ou égales à 1150 V et des courants compris entre 100 et 6300 A.

Une passerelle en option permet de se connecter directement à la plate-forme de gestion de la distribution électrique ABB Ability™ EDCS (Electrical Distribution Control System) pour donner naissance à une puissante solution de cloud capable de surveiller, d'explorer, d'analyser et d'intervenir sur l'ensemble du système. Cette architecture développée en collaboration avec Microsoft associe les capacités de surveillance Ekip UP et de gestion énergétique EDCS pour doper, fiabiliser et sécuriser le vaste réseau de distribution BT →03.

Ekip UP est proposé en cinq variantes :

#### Ekip UP Monitor

Ce modèle mesure un jeu complet de paramètres énergétiques pour les sites de puissance maxi 4 MW : tension, courant, phase, puissance active/réactive, etc. Ekip UP Monitor embarque également un analyseur de la qualité de l'alimentation électrique, normalisé CEI 61000-4-30 (2<sup>e</sup> édition), qui mesure les harmoniques jusqu'au 50<sup>e</sup> rang, ainsi qu'un analyseur/enregistreur de défauts au fil de l'eau. Huit bus de terrain standardisés, des connexions Ethernet et un bus propriétaire facilitent l'intégration système. Chaque Ekip UP dispose de quatre emplacements pour modules *plug and play* ; ce sont ainsi 3000 points de données qui peuvent être partagés avec les systèmes de supervision.

L'unité logique détecte également la température et le taux d'humidité des jeux de barres, du transformateur et du tableau de distribution, à l'aide de sondes Pt et de capteurs analogiques.

#### Ekip UP Protect et Ekip UP Protect+

Ces modèles ajoutent aux fonctions de base d'Ekip UP Monitor une protection d'alternateur Ekip UP Protect+, ainsi qu'une protection adaptative et directionnelle de surintensité. Sont aussi prises en charge la sélectivité de zone numérique (via un bus

Ekip UP se connecte à la plate-forme ABB Ability™ EDCS pour donner naissance à une puissante solution de cloud.

propriétaire) et en natif la communication GOOSE normalisée CEI 61850 pour les postes électriques. Ekip UP Protect permet également de distinguer les



03

—  
02 Ekip UP conjugue modularité et autoconfiguration *plug and play* pour faciliter la mise en service de nouveaux réseaux ou la mise à niveau d'anciens systèmes.

—  
03 Ekip UP enrichit les réseaux BT de multiples fonctionnalités.

défauts de terre restreints des autres. La sélectivité de zone contribue à localiser rapidement le défaut pour sectionner uniquement cette portion du réseau, si bien que les autres équipements continuent à fonctionner normalement.

Ces deux modèles peuvent recevoir en outre des kits logiciels qui les enrichissent de fonctions de délestage, de contrôle de synchronisme, de programmation logique ou encore de protection d'interface certifiée. Autant d'atouts qui vont dans le sens de la continuité de service, de l'efficacité énergétique et d'une moindre complexité.

Enfin, Ekip UP peut aussi servir de solution de repli en cas de défaillance d'un relais.

#### Ekip UP Control

Ekip UP Control apporte en sus un algorithme breveté de gestion d'énergie qui écrête les pointes et transfère les charges pour optimiser la productivité et la performance du système, réduisant la facture d'électricité jusqu'à 20 %.

Lorsqu'il est installé en aval du transformateur moyenne/basse tension, Ekip UP Control peut utiliser les données de la pente de fréquence pour déconnecter les charges en cas de déséquilibre très marqué (situation d'urgence). Cette protection d'interface sécurise le raccordement de la production locale au réseau général ; les groupes sont ainsi déconnectés dès que les valeurs de fréquence et de tension réseau sortent des plages admissibles. Une fois le réseau stabilisé, le contrôle de synchronisme intégré à Ekip UP assure une reconnexion sans danger.

#### Ekip UP Control+

Assurément le mieux loti de sa famille, Ekip UP Control+ est doté de fonctions logicielles de contrôle-commande qui en font un véritable pilote de microréseau répondant à n'importe quel besoin des clients de l'automatisation et de la distribution électrique.

#### Domaines d'application

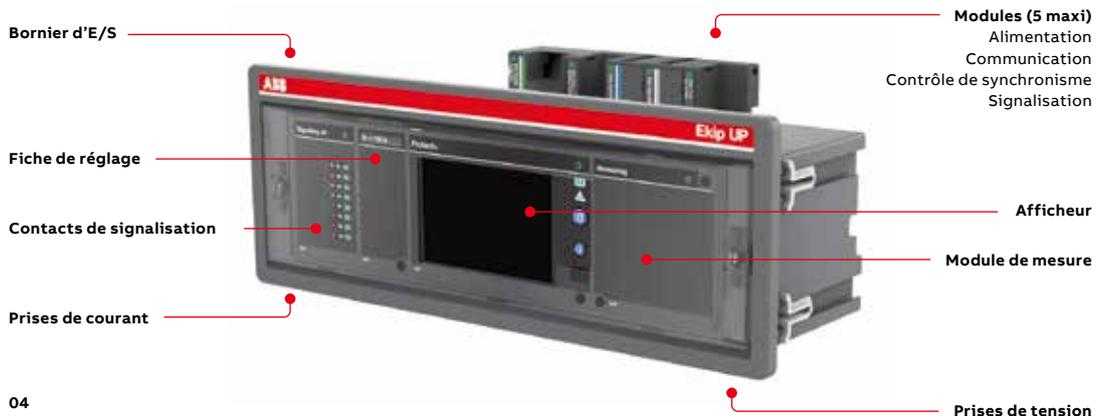
Ekip UP est utile dans tous les domaines d'emploi de la basse tension. Dans les bâtiments tertiaires (hôtels, centres commerciaux, bureaux), il surveille la consommation énergétique des locaux et les connecte au cloud. Le système de télégestion

—  
**Ekip UP Protect+ ajoute des protections d'alternateur, de surintensité directionnelle et adaptative.**

énergétique ainsi que l'algorithme de gestion intelligente de la puissance embarqués dans l'unité logique aident les responsables de site comme les utilisateurs à améliorer le rendement énergétique de l'installation.

À l'heure où la mobilité électrique et les besoins en recharge associés impliquent une compréhension plus fine que jamais des flux de courant, Ekip UP facilite l'écrêtage des pointes et les reports de consommation.





Pour les industriels et les énergéticiens, il est synonyme de protection des installations électriques et des procédés automatisés en offrant une interface directe avec chaque dispositif de commutation.

Ekip UP convient à un grand nombre de protections normalisées ANSI pour la production et la distribution électriques ; en effet, sa logique programmable intégrée peut envoyer des ordres de déclenchement aux interrupteurs-sectionneurs, nombreux dans l'industrie pétrogazière.

Au sein des environnements BT, les microréseaux sont sans doute ceux qui ont le plus à gagner des possibilités de coordination des charges et des flux consommateur/producteur offertes par Ekip UP. Les fonctions logicielles d'Ekip UP contribuent à maximiser la continuité de service du microréseau dans les datacenters, centrales solaires, etc. Ses nombreuses possibilités de raccordement simplifient en outre son intégration.

#### ABB Ability™ EDCS

EDCS est une plate-forme de cloud ABB dédiée à la surveillance, à l'optimisation et à la conduite d'un système électrique. Ses apports se déclinent en quatre volets :

- Surveillance : analyse de la performance du site, supervision du système électrique et allocation des coûts ;
- Exploration : visualisation de la structure du système, bilan de santé et obtention de données exploitables à partir des prédictions et prescriptions ;
- Analyse : planification et analyse des exportations automatiques de données, amélioration de l'utilisation des actifs et aide à la prise de décision ;
- Action : alerte et notification du personnel clé, mise en place d'une stratégie simple et rationnelle d'écoperformance, gestion et programmation des interventions de maintenance.

Les données utilisées par EDCS proviennent de disjoncteurs modulaires ou en boîtier moulé, de protections anti-arc, de multimètres, etc., et sont directement mises à disposition par Ekip UP, qui assure la connexion au cloud ; un chantier de modernisation peut ainsi se dérouler sans devoir remplacer aucun appareil. Accessible via une interface web, la plate-forme peut être utilisée à tout moment, partout et par plusieurs utilisateurs simultanément depuis un ordinateur ou smartphone disposant d'une connexion sécurisée. EDCS permet d'accéder aux prédictions de maintenance Ekip UP sur le parc d'équipements ABB comme sur les actifs historiques de GE, allégeant ainsi le budget d'exploitation de 30 %.

La plate-forme procure un accès aux données temps réel et historiques d'un ou de plusieurs sites afin de comparer les performances et d'établir des référentiels. Grâce aux diagnostics effectués en

—  
Ekip UP autorise une compréhension fine des flux de courant, indispensable à l'essor de la mobilité électrique.

continu par EDCS, un seul technicien est à même de gérer la maintenance de plusieurs sites et d'intervenir en temps utile. L'algorithme EDCS mesure directement l'activité de l'appareil et calcule sa courbe de fiabilité, ce qui lui permet de suggérer la prochaine échéance de maintenance.

#### Sur le terrain

Voyons un exemple type de mise en œuvre d'Ekip UP : un appareillage électrique dont les disjoncteurs

—  
04 Principaux constituants Ekip UP

—  
05 Peu encombrant, Ekip UP peut être monté sur rail DIN ou sur la porte de l'appareillage électrique, selon les exigences du constructeur et les contraintes de place du tableautier.

sont encore en état de marche, alors que d'autres composants ont besoin d'être remplacés. Tel était le cas du poste électrique de Qasimia, aux Émirats Arabes Unis. Son propriétaire, la Sharjah Electricity and Water Authority (SEWA), gère l'approvisionnement en eau et en électricité de tous les habitants de l'émirat de Sharjah.

En l'occurrence, seuls les déclencheurs de disjoncteurs BT étaient défectueux. Leur fournisseur, un concurrent d'ABB, proposait de remplacer carrément l'intégralité des disjoncteurs du poste : une intervention lourde et coûteuse. La SEWA, à la recherche d'une autre solution, s'est tournée vers ABB. Après avoir constaté que les disjoncteurs étaient encore

fonctionnels, le Groupe s'est contenté de remplacer les déclencheurs électroniques défectueux par des unités Ekip UP, 100 % compatibles avec n'importe quel disjoncteur BT existant, peu importe le fabricant.

Pour la mise en service, les techniciens ont utilisé l'outil logiciel gratuit Ekip Connect afin de tirer le meilleur parti des fonctionnalités d'Ekip UP : gestion de puissance, acquisition et analyse des grandeurs électriques, contrôle des fonctions de protection, de maintenance et de diagnostic.

#### Un choix d'avenir

Les fonctions intelligentes d'Ekip UP peuvent être élargies par divers accessoires. Fort de sa conception modulaire et standardisée →05, encore renforcée par la puissance de la plate-forme EDCS, Ekip UP offre la technologie idéale pour accéder au cloud, réduire les coûts et les interruptions de service tout en simplifiant et en rationalisant la gestion d'énergie. Ekip UP est incontestablement LA solution de surveillance, de protection et de contrôle-commande de toute installation BT. •

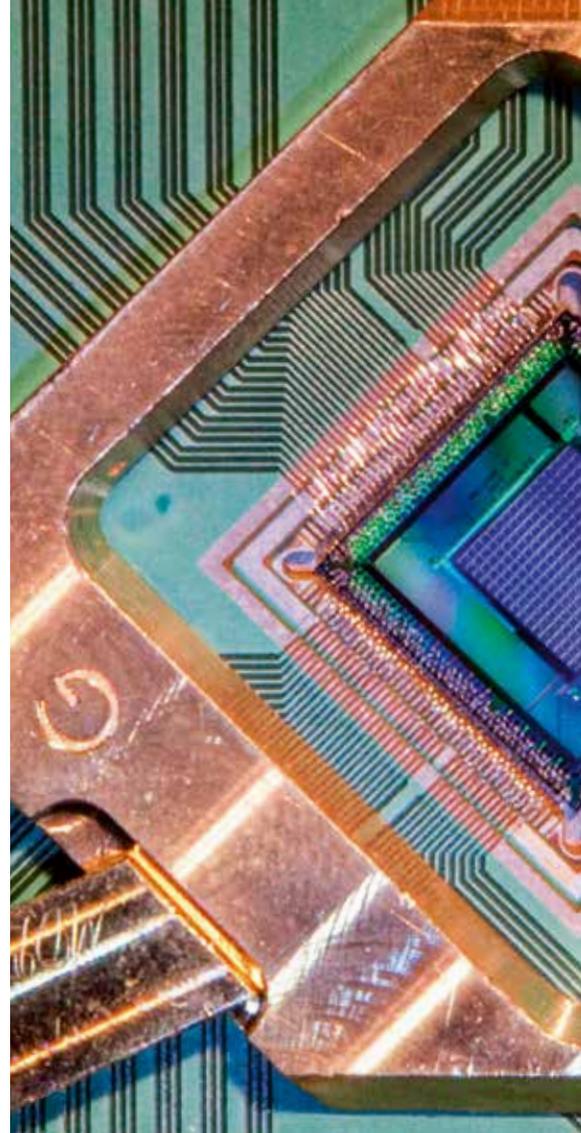
—  
Ekip UP donne accès à la puissance du cloud, réduit les coûts et les interruptions de service, améliore la gestion d'énergie.



AU CŒUR DE LA TECHNOLOGIE

# Informatique quantique : promesses et réalités

Dans l'industrie, la quête d'autonomie passe souvent par des calculs d'optimisation faisant appel à l'intelligence artificielle. Or les algorithmes et processeurs actuels ne sont pas toujours à la hauteur de la tâche ; l'informatique quantique saura-t-elle relever le défi ?



01



**Thorsten Strassel**  
ABB Research Switzerland  
Baden-Dättwil  
(Suisse)

thorsten.strassel@  
ch.abb.com

En matière de technologie, peu de sujets font aujourd'hui couler autant d'encre que l'informatique quantique. Pour autant, cette révolution annoncée reste encore très loin de notre quotidien soumis aux lois de la physique classique. Chaque jour apporte son lot de manchettes tonitruantes, le point culminant ayant été atteint fin 2019 avec l'annonce que Google avait franchi le cap de la « suprématie quantique ». Cette première a mis en émoi le monde de la technologie, certains n'hésitant pas à comparer l'exploit aux premiers pas de l'Homme sur la Lune.



**Elsi-Mari Borrelli**  
ABB Research Switzerland  
Baden-Dättwil  
(Suisse)

elsi-mari.borrelli@  
ch.abb.com

Revenons sur Terre et demandons-nous plutôt ce que l'informatique quantique pourrait apporter à l'industrie : parmi les nouvelles technologies rendues possibles, lesquelles y trouveraient une application ? Pour l'heure, quels obstacles empêchent la généralisation des ordinateurs quantiques ? D'autres technologies émergentes pourraient-elles avoir un impact semblable ?

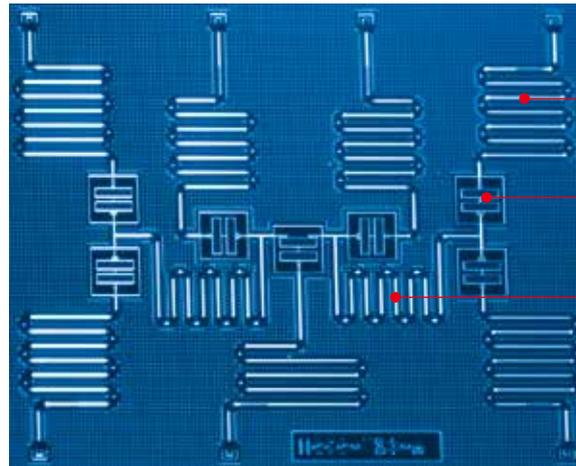
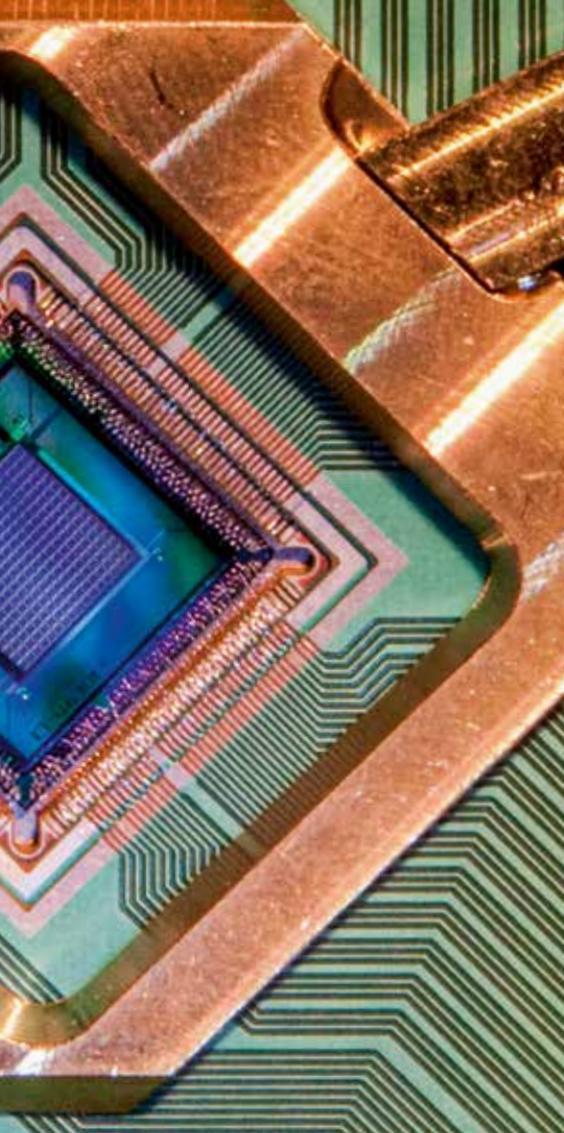
## Puis-je m'acheter un ordinateur quantique aujourd'hui ?

Commençons d'abord par définir ce qu'est un ordinateur quantique et faire un tour de table des principaux constructeurs en lice.

Non, l'ordinateur quantique ne remplacera pas votre portable, ni aujourd'hui ni demain. Il ne s'agit pas non plus d'un supercalculateur universel capable de détrôner des bataillons de serveurs. Disons plutôt

**L'ordinateur quantique est une grosse machine spécialisée.**

que c'est une grosse machine spécialisée visant à surpasser l'informatique classique (et ses futurs avatars) pour des calculs ciblés. Comme son nom



Résonateur de lecture et de contrôle (x7)

Qubit (x7)

Résonateur de bus (x2).  
On obtient ainsi une porte à 2 qubits.

02



03

Crédit: photo fig. 03 : IBM, partagée depuis Kandala et al., Nature sous licence Creative Commons : <https://creativecommons.org/licenses/by-nd/2.0/legalcode>.

— 01 L'informatique quantique pourrait faire de l'autonomie des machines industrielles une réalité... à condition de sortir du laboratoire. Ici, un processeur 2000Q de D-Wave à recuit quantique.

— 02 Une des premières architectures de processeur IBM à 7 qubits, à base de supraconducteurs

— 03 Ordinateur quantique Q System One d'IBM

l'indique, il utilise la mécanique quantique pour résoudre en quelques minutes un problème qui demanderait des milliers d'années aux plus rapides des supercalculateurs actuels. Les algorithmes classiques ne lui sont ici d'aucune aide : il faut des algorithmes spécifiques (dont la conception est une discipline à part entière) qui exploitent les lois de la physique quantique.

C'est au prix Nobel de physique Richard Feynman que l'on doit la paternité du concept d'informatique quantique, lors de sa célèbre conférence de 1982 chez IBM. Les expériences qui ont suivi ont débouché, à la fin des années 1990, sur les premiers ordinateurs quantiques permettant d'observer le fameux « qubit », équivalent du bit d'information classique. Ces derniers temps, la recherche fondamentale a beaucoup fait progresser le domaine. Aujourd'hui, les processeurs de 54 qubits représentent le *ne plus ultra*. Des géants de la technologie comme Google, IBM et Honeywell, forts de leur

recherche-développement de premier plan mais talonnés par quelques startups, dominent la fabrication de puces pour le calcul quantique à circuits universels. De son côté, le Canadien D-Wave est le leader incontesté des architectures optimisées pour les algorithmes spécifiques au recuit quantique →01. Parallèlement, la recherche publique et privée,

— Seuls des algorithmes spécifiques permettent de bénéficier de l'accélération promise par l'informatique quantique.

à l'image de la Fondation Wallenberg en Suède, contribue aux efforts de développement et de commercialisation. Malgré ces multiples implica-

tions, le quantique reste au stade du laboratoire, loin des applications commerciales. Pour combien de temps encore ?

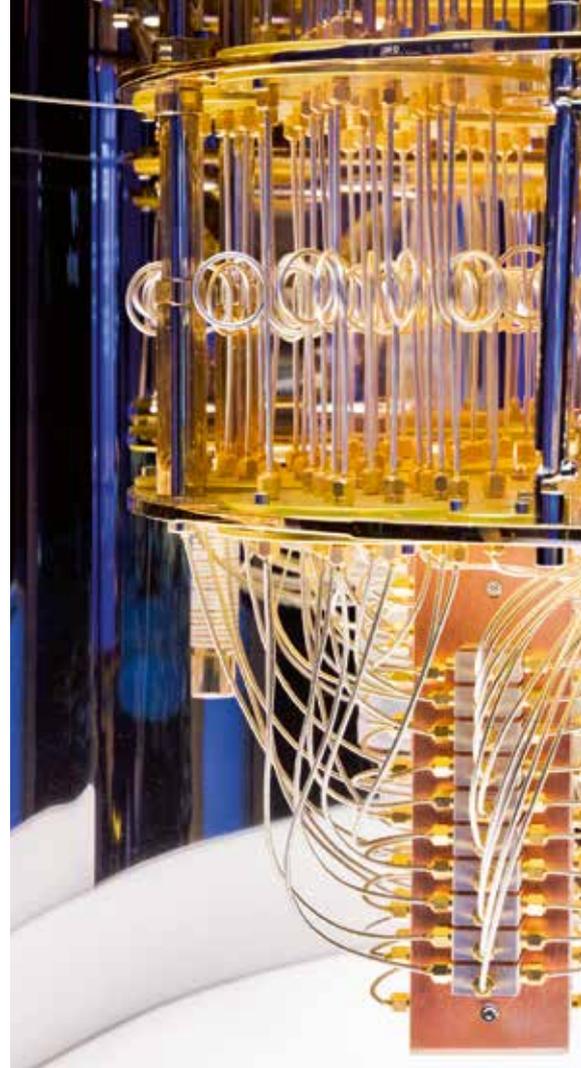
#### Approche multitechnologique

Depuis la formalisation de l'informatique quantique et les premières réalisations de portes quantiques, plusieurs types de dispositifs physiques ont été proposés →02–03. Aujourd'hui, les ions piégés et les supraconducteurs sont les deux technologies les plus au point pour réaliser des ordinateurs quantiques →05.

Les processeurs de démonstration les plus perfectionnés, à base de supraconducteurs, ont 53 qubits, chacun étant raccordé aux 4 qubits voisins pour effectuer des calculs quantiques universels. L'ordinateur quantique d'IBM utilise des câbles hyperfréquences pour transmettre les signaux de commande au processeur →04. Les processeurs à ions piégés, de leur côté, atteignent 11 qubits intégralement interconnectés. Les différentes technologies de réalisation physique des qubits ont

### De réelles percées technologiques seront nécessaires pour arriver à dépasser quelques milliers de qubits.

chacune leurs avantages et leurs inconvénients en fonction de l'application visée. Pour exécuter un algorithme quantique, les qubits peuvent interagir via plusieurs sortes de portes logiques, caractérisées par leur disposition et leur mode de fonctionnement. Ces propriétés, associées à celles des qubits eux-mêmes, sont déterminantes pour la performance des algorithmes quantiques. Les qubits, et donc l'information qui y est stockée, sont très sensibles au bruit, qu'il provienne de l'extérieur ou du fonctionnement de la porte elle-même ; il est donc extrêmement compliqué de garantir l'exécution fiable des algorithmes. Pour réduire ces perturbations, les ordinateurs quantiques actuels doivent fonctionner soit à des températures proches du zéro absolu, soit sous un vide poussé →06. Le calculateur quantique universel devra donc disposer de puissants algorithmes de correction d'erreurs pour contrecarrer les effets du bruit. Si plusieurs stratégies s'y emploient, toutes ont l'inconvénient de consommer des qubits et donc de réduire la puissance allouée au calcul lui-même.

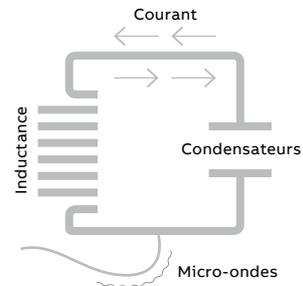


04

Résultat : les puces quantiques actuelles plafonnent à quelques dizaines de qubits et leurs calculs sont encore entachés d'un grand nombre d'erreurs. Quelle évolution peut-on attendre à moyen et long terme ? Certains ont proposé de transposer à l'informatique quantique la célèbre loi de Moore, qui annonce un doublement de la puissance de calcul, ou « volume quantique », chaque année [1]. Il faudra toutefois accomplir de réelles percées technologiques pour arriver à dépasser quelques milliers de qubits. En attendant que le progrès technique nous permette d'accéder à la pleine puissance du calcul quantique, quels bénéfices peut-on en espérer à moyen terme ?

#### Puissance algorithmique

Quand on évoque l'informatique quantique, on songe surtout à la menace théorique qu'elle fait peser sur les systèmes de chiffrement actuels. Or la factorisation de grands nombres exige près d'un million de qubits de haute qualité, soit bien plus que ce dont disposent les plus gros processeurs quantiques. « Casser » un cryptosystème n'est donc pas encore pour demain ! Côté prouesse, on attend beaucoup des algorithmes quantiques de type « mission vers Mars », qui promettent une accélération inégalée dans de multiples domaines, sous réserve de grands progrès au niveau de l'architecture

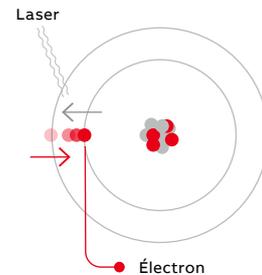


**Supraconducteurs**

Un courant électrique d'impédance nulle oscille dans un circuit de résonance microscopique : la boucle supraconductrice. L'envoi de micro-ondes permet de piloter les niveaux d'énergie.

- +** Opérations rapides  
Procédé de fabrication assez proche de celui des puces à semi-conducteurs
- Durée de vie de l'information dans le qubit assez courte  
Nécessité d'un refroidissement très poussé (enceinte cryogénisée)

05a

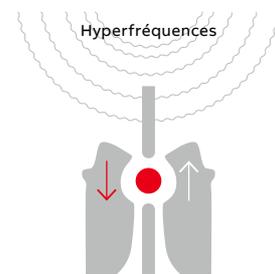


**Ions piégés**

Les ions sont piégés par refroidissement laser et par ondes radio, tandis que d'autres lasers permettent de manipuler leur état électronique.

- +** Qubits très stables  
Très faible taux d'erreur
- Fonctionnement lent  
Nécessité d'un accès pour les faisceaux laser et d'un vide très poussé

05b



**Spins d'électrons dans le silicium**

Des « atomes artificiels » à un seul électron sont intégrés dans une structure à semi-conducteurs à base de silicium. Des impulsions hyperfréquences contrôlent l'état quantique de l'électron.

- +** Stabilité  
Procédé de fabrication déjà utilisé par l'industrie des semi-conducteurs
- Technologie encore peu mature  
Nécessité d'un refroidissement très poussé (enceinte cryogénisée)

05c

— 04 Intérieur d'un ordinateur quantique IBM : le processeur est le petit carré noir au milieu en bas de l'image.

— 05 Panorama des différentes technologies utilisées en informatique quantique. La manipulation des qubits s'effectue généralement au moyen de technologies laser ou hyperfréquences.

05a Supraconducteurs

05b Ions piégés

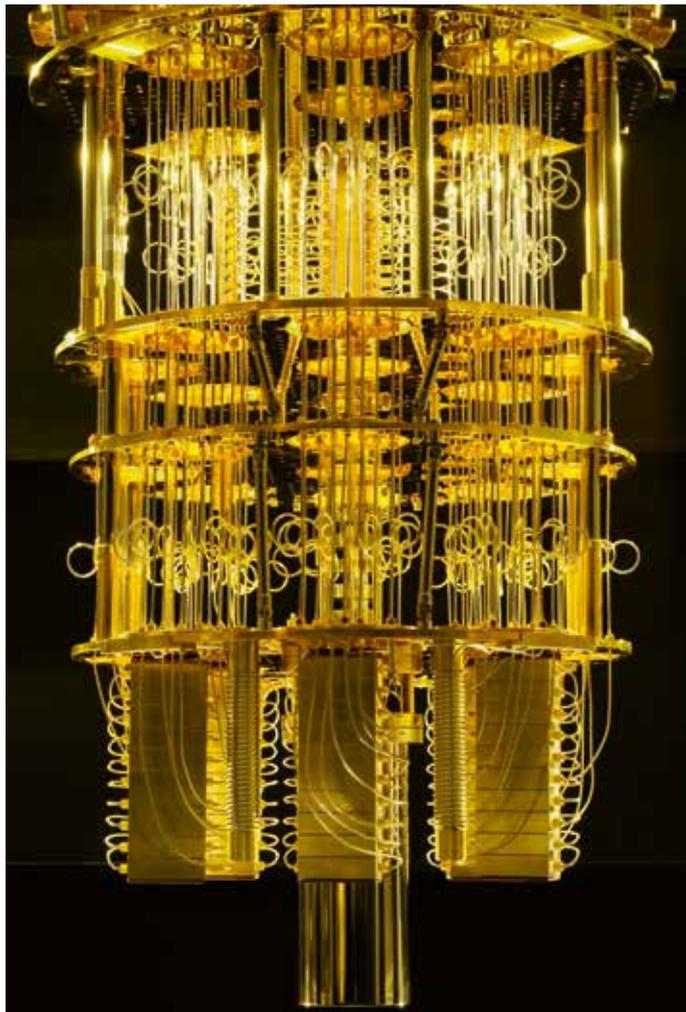
05c Spins d'électrons dans le silicium

physique des ordinateurs. La catégorie « vol vers la Lune » annonce pour sa part une accélération moins impressionnante mais plus facilement concrétisable.

Évidemment, un tel décalage entre la réalité et les exigences théoriques nourrit le doute : les gains promis par l'informatique quantique sont-ils à la hauteur des efforts de développement consentis ? En 2011, en réponse aux critiques, le physicien américain John Preskill a théorisé un nouvel horizon pour la discipline : la suprématie quantique. Concrètement,

**L'informatique quantique promet des avancées dans bien des domaines. Mais le jeu en vaut-il la chandelle ?**

pour atteindre ce cap, un ordinateur quantique devrait pouvoir effectuer n'importe quelle tâche non triviale (mais pas forcément utile) bien plus vite que le plus rapide des ordinateurs classiques... C'est le défi qu'a relevé Google en octobre 2019 [2].



06

Ses chercheurs ont utilisé un problème informatique d'échantillonnage de circuits quantiques : une succession de portes a été générée de façon complètement aléatoire, c'est-à-dire sans la moindre intention de créer une suite algorithmique. L'ordinateur quantique devait ensuite renvoyer le résultat de son « calcul » sous forme de nombre binaire (0101..., par exemple). Du fait de la nature quantique des portes, les valeurs de sortie de chaque séquence présentent des variations statistiques inévitables. L'algorithme relance le calcul et établit une distribution en vue d'échantillonner les chaînes binaires correspondant à chaque circuit quantique, et ce le plus rapidement possible. Trouver l'issue la plus probable d'un circuit quantique aléatoire est une tâche dont la difficulté augmente de manière exponentielle avec le nombre de qubits et de portes quantiques mises en œuvre. D'après les chercheurs, un ordinateur classique aurait besoin de 10 000 années là où quelques minutes ont suffi à l'ordinateur quantique.

La tâche qui a permis de démontrer la suprématie quantique n'a aucun usage concret et rien ne nous dit que les processeurs quantiques actuels pourront sous peu réaliser des tâches utiles. La démonstration visait simplement à prouver qu'un ordinateur quantique, même petit, pouvait effectuer une tâche non triviale donnée mieux qu'un ordinateur classique. Pour être tout à fait exact, le terme « avantage » serait d'ailleurs plus approprié que « suprématie » quantique.

Preuve est toutefois faite que même un ordinateur quantique intermédiaire et bruité (NISQ) doté de quelques centaines ou milliers de qubits est en mesure de résoudre un problème d'optimisation combinatoire complexe en faisant appel à l'heuristique quantique, avec par exemple le recuit quantique ou un algorithme d'approximation d'optimisation quantique (QAOA) →07. Les problèmes

—  
**Même les ordinateurs NISQ de quelques centaines ou milliers de qubits peuvent contribuer à résoudre des problèmes d'optimisation complexes.**

d'optimisation combinatoire ont un vaste champ d'application ; des processeurs quantiques assez puissants pour effectuer ce type de calcul sont dans le viseur de tous les acteurs du domaine à court et moyen terme. Dans sa feuille de route pour l'informatique quantique publiée en septembre 2020, IBM prévoit la sortie d'un ordinateur de plus d'un milliard de qubits, baptisé Quantum Condor, à l'horizon 2023 [3]. Les progrès de l'informatique quantique pourraient bénéficier à des domaines aussi variés que la finance ou l'automobile [4-5].

#### **Le quantique, futur de l'industrie ?**

Si ABB s'intéresse à l'informatique quantique, c'est pour son potentiel d'optimisation des grands parcs de dispositifs autonomes, des réseaux énergétiques, des chaînes logistiques ou encore des procédés industriels. Sont souvent en jeu des problèmes d'optimisation extrêmement complexes, que l'informatique actuelle n'arrive pas à résoudre efficacement, voire pas du tout. L'informatique quantique permettra-t-elle de lever ces barrières ?

Au-delà du battage médiatique qui entoure cette nouvelle technologie, il ne faut pas oublier que le matériel n'est pas le seul aspect de l'informatique susceptible de révolutionner le monde des systèmes autonomes. Les innovations en matière d'algorithmes

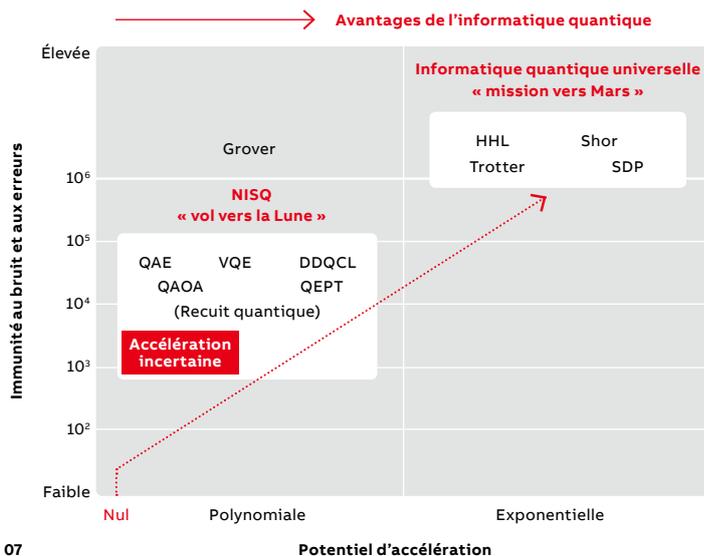
—  
06 Réfrigérateur à dilution de l'ordinateur quantique IBM Q : la faible température de fonctionnement minimise le bruit et donc les erreurs de calcul.

—  
07 On peut répartir les algorithmes quantiques en deux catégories : ceux qui, couplés à des accélérateurs NISQ, assureront des « vols vers la Lune » à court et moyen terme, et ceux qui conviendront mieux aux calculs quantiques universels de type « mission vers Mars ».

d'optimisation pourraient au final offrir un meilleur retour sur investissement, même avec le bon vieux matériel classique. Quelques-unes se sont néanmoins inspirées de l'informatique quantique et ont radicalement raccourci le temps de résolution de certains problèmes. Si ces progrès algorithmiques ne font pas les gros titres comme chaque nouvelle prouesse de l'ordinateur quantique, leur impact à court terme pourrait être plus important.

—  
L'algorithmique quantique pourrait elle aussi révolutionner le monde des systèmes autonomes.

ABB cherche à incorporer ces innovations à de nouvelles applications industrielles. Alors que l'informatique quantique progresse, tant sur le plan matériel qu'algorithmique, seules les entreprises ayant amorcé ce virage technologique pourront dessiner le futur de l'automatisation industrielle. •



07

- Grover : algorithme quantique servant à trouver, avec une probabilité élevée, la seule valeur en entrée d'une boîte noire permettant d'obtenir une valeur donnée en sortie.
- QAE : estimation d'amplitude quantique pour échantillonnage par méthode de Monte Carlo
- VQE : eigensolver quantique variationnel
- DDQCL : apprentissage de circuit quantique à base de données
- QAOA : algorithme d'optimisation quantique approximative
- QEPT : transfert de population accru par effet quantique
- HHL : algorithme quantique utilisé pour résoudre des systèmes d'équations linéaires
- Shor : algorithme de factorisation quantique de nombres entiers en temps polynomial
- Trotter : algorithme de permutation avec des applications dans la simulation en chimie
- SDP : programmation semi-définie utilisée en optimisation combinatoire

#### Bibliographie

[1] Gambetta, J., Sheldon, S., « Cramming More Power Into a Quantum Device », *IBM Research Blog*, disponible sur : <https://www.ibm.com/blogs/research/2019/03/power-quantum-device/>, 4 mars 2019.

[2] Arute, F., *et al.*, « Quantum supremacy using a programmable superconducting processor », *Nature*, vol. 574, p. 505–510, 2019.

[3] Gambetta, J., « IBM's Roadmap For Scaling Quantum Technology », *IBM Research Blog*, disponible sur : <https://www.ibm.com/blogs/research/2020/09/ibm-quantum-roadmap/>, 15 septembre 2020.

[4] Neukart, F., *et al.*, « Traffic Flow Optimization Using a Quantum Annealer », *Frontiers in ICT*, disponible sur : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fict.2017.00029/full>, 20 décembre 2017.

[5] Kühn, M., *et al.*, « Accuracy and Resource Estimations for Quantum Chemistry on a Near-Term Quantum Computer », *Journal of Chemical Theory and Computation*, vol. 15, n° 9, p. 4764–4780, 2019.

[6] Montanaro, A., « Quantum algorithms: an overview », *npj Quantum Information*, vol. 2, article n° 15023, 2016.

[7] Kühn, M., *et al.*, « Accuracy and Resource Estimations for Quantum Chemistry on a Near-Term Quantum Computer », *Journal of Chemical Theory and Computation*, vol. 15, n° 9, p. 4764–4780, 2019.



# Productivité





Des procédés plus rapides, plus efficaces et plus fiables sont la clé d'une croissance forte et durable. Quand l'automatisation, la robotique et la commande avancée travaillent à l'unisson, ABB est le chef d'orchestre qui leur permet d'exprimer leur plein potentiel.

- 50 Suivi d'état amélioré grâce à la thermographie infrarouge et à l'intelligence artificielle
- 54 ABB repousse les limites de la mesure
- 60 Automatiser le génie des procédés
- 66 MPC : une nouvelle commande prédictive ABB pour doper la vitesse variable
- 74 Automobile : les robots, jusqu'en bout de chaîne



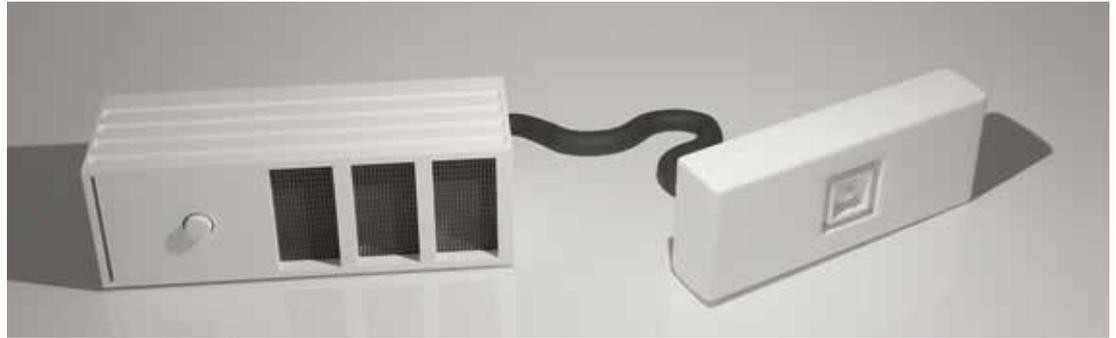
PRODUCTIVITÉ

# Suivi d'état amélioré grâce à la thermographie infrarouge et à l'intelligence artificielle

Le poids croissant des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique ainsi que la multiplication des véhicules électriques mettent à rude épreuve le réseau de distribution et ses équipements. Une solution ABB de maintenance conditionnelle associe caméras à infrarouge et intelligence artificielle pour anticiper les défaillances.



—  
01 Le consortium FLEMING étudie les technologies qui contribueront à améliorer la fiabilité du matériel électrique, comme cet appareillage moyenne tension UniGear ZS1 d'ABB.



02

—  
02 La solution ABB associe capteurs innovants et intelligence artificielle.

—  
03 Les progrès en instrumentation et en intelligence artificielle font du suivi d'état une solution économique à la portée de tous les industriels.

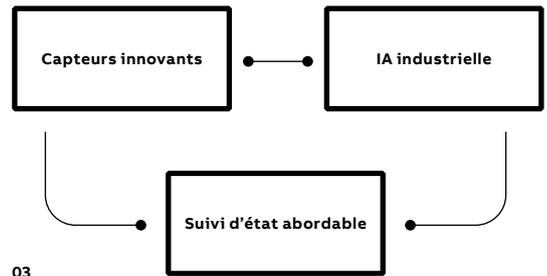
Réduire son bilan carbone – un objectif partagé par de nombreux pays – passe par une réflexion sur nos modes de déplacement et de production d'énergie. Deux aspects centraux de notre vie moderne qui connaissent de profondes mutations technologiques : côté production, l'énergie d'origine solaire et éolienne gagne en importance ; côté transport, les combustibles fossiles cèdent peu à peu le pas à une électricité implicitement « verte », c'est-à-dire d'origine renouvelable.

Mettre en relation énergies renouvelables (EnR) et véhicules électriques fait peser une contrainte supplémentaire à un réseau de distribution déjà bien sollicité. À l'intermittence de la production EnR s'ajoute le parc grandissant de véhicules électriques

## Les caméras à infrarouge s'associent à l'intelligence artificielle pour détecter les défauts dans les appareillages moyenne tension.

qui induit de nouveaux pics de charge et une augmentation globale de la consommation. Pour les gestionnaires de réseaux, il devient impératif de flexibiliser l'exploitation et d'être en mesure de faire face à des instabilités et des manœuvres plus fréquentes. En corollaire, il leur faut aussi opter pour une maintenance conditionnelle, désormais incontournable pour maîtriser le budget de fonctionnement.

L'utilisation de caméras à infrarouge (IR) tirant parti de l'intelligence artificielle (IA) pour détecter les défauts en cours dans les appareillages moyenne tension (MT) œuvre en ce sens →01-03. Une innovation développée dans le cadre du projet de recherche FLEMING sur le déploiement des capteurs dans la distribution électrique et les avancées de l'IA dans ce domaine, qui associe pour l'occasion ABB, chef de file du consortium, et nombre de chercheurs



03

et d'industriels : Software Innovation Campus de l'université de Paderborn, institut de recherche en gestion industrielle de l'université technique de Rhénanie-Westphalie à Aix-la-Chapelle, département des systèmes de production d'énergie électrique et de technologie à haute tension de l'Institut de technologie de Karlsruhe, ainsi que fabricant de capteurs IR haute résolution Heimann.

Figurent également au rang des partenaires l'énergéticien Städtische Werke Überlandwerke Coburg et l'exploitant de fermes éoliennes WestfalenWIND, installé à proximité de Paderborn. Tous ont pour objectif d'accélérer la transition énergétique et l'électromobilité en Allemagne... et ailleurs !

### Surveillance thermique

Surveiller la température d'un réseau électrique est un bon moyen d'en détecter les dysfonctionnements. L'idée repose sur un principe simple, utilisé couramment pour nos bouilloires ou appareils de chauffage d'appoint.

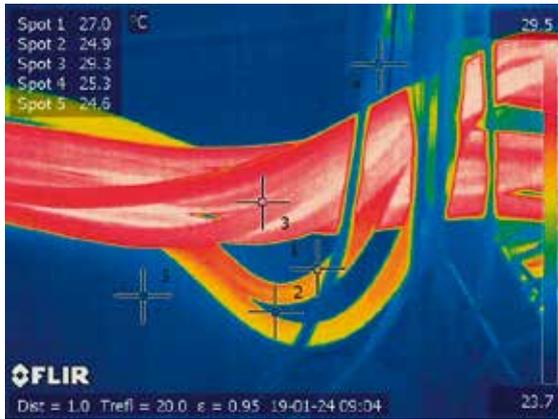
Le passage d'un courant dans des conducteurs électriques provoque un échauffement par effet Joule, proportionnel à la quantité de courant mais aussi à la résistance du matériau. Toute augmentation de cette résistance, en raison par exemple de la corrosion, de jeux de barres mal boulonnés ou desserrés (problème fréquemment rencontré sur les navires), engendre un point chaud localisé. L'imagerie par thermographie infrarouge (TIR) [1-3] permet de détecter ce défaut et donc de localiser les signes réels ou avant-coureurs

—  
**Ralf Gitzel**  
**Holger Kaul**  
**Aydin Boyaci**  
**Jörg Gebhardt**  
**Ido Amihai**  
**Martin W Hoffmann**  
**Stephan Wildermuth**  
ABB Industrial Automation, Corporate Research  
Ladenbourg (Allemagne)

ralf.gitzel@de.abb.com  
holger.kaul@de.abb.com  
aydin.boyaci@de.abb.com  
joerg.gebhardt@de.abb.com  
ido.amihai@de.abb.com  
martin.w.hoffmann@de.abb.com  
stephan.wildermuth@de.abb.com

—  
**Callisto Gatti**  
ABB ELDS  
Dalmine (Italie)

callisto.gatti@it.abb.com



04

de défaillance. À titre d'exemple, les images →04–05 révèlent un échauffement causé par le passage, récent ou en cours, du courant dans les câbles. Des températures trop élevées pendant une longue période risquant d'endommager le matériel, il est éminemment souhaitable de les détecter au plus tôt.

#### Instrumentation

Certes, il existe des méthodes de mesure thermique par contact, mais elles ne sont pas sans danger :

- Elles présentent un risque pour l'intégrité du diélectrique et la sécurité de l'appareil [1] ;
- L'installation du dispositif de surveillance dans une zone soumise à des champs électriques ou magnétiques de forte intensité peut fausser la mesure [4–5].

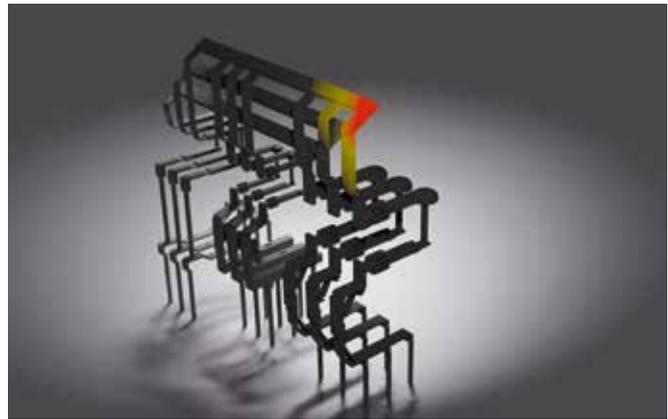
Des problèmes que ne connaissent pas les caméras IR. De plus, la thermographie IR ne se limite pas à une mesure ponctuelle mais peut couvrir une grande surface, ce qui réduit nettement le coût de l'instrumentation [4–6].

Les capteurs de suivi d'état embarqués dans les appareillages électriques doivent faire preuve d'une grande précision sur une large plage de températures ambiantes, afficher une longue durée de vie et fournir des mesures fiables et stables dans le temps, avec un minimum de dérive. Parmi les différentes méthodes de mesure de la température IR (bolométrie et pyroélectricité essentiellement), les sondes de type thermopiles sont de loin les plus performantes.

Elles rassemblent généralement plusieurs thermocouples sur une fine membrane ; lorsque le rayonnement IR incident élève la température de cette membrane, le capteur délivre en sortie une tension proportionnelle au rayonnement IR détecté. En regroupant dans un même plan plusieurs capteurs, on obtient une image IR. La longévité de ces capteurs s'explique entre autres par l'absence de pièces mobiles (obturateurs, par exemple).

#### Algorithmes

L'imagerie TIR cartographie les points chauds qui se forment à l'emplacement où un défaut technique modifie la résistance du conducteur. Si l'opérateur



05

n'a aucun mal à repérer ce problème à l'écran, le système a lui besoin d'un algorithme pour être guidé en l'absence d'intervention humaine.

Pour commencer, un nettoyage des données s'impose. L'image IR est en effet connue pour son très faible contraste : il faut donc la débruiter en tout ou partie pour éviter de biaiser l'analyse statistique.

Ce n'est qu'après ce prétraitement qu'on peut envisager d'appliquer divers types d'algorithmes à l'image. Classiquement, cela se fait au moyen d'un système expert qui utilise une base de règles définies par les spécialistes du métier afin de

—  
La thermographie IR ne se limite pas à une mesure ponctuelle mais peut couvrir une zone conséquente.

déterminer si une situation est normale ou problématique. Il est possible d'affiner la performance du système expert en s'appuyant sur des simulations physiques décrivant les caractéristiques des anomalies. La difficulté est de trouver un juste milieu entre un modèle sophistiqué presque parfait, donc trop coûteux, et un modèle simplifié à l'extrême, trop éloigné de la réalité.

Une autre méthode consiste à utiliser des algorithmes d'apprentissage machine : en s'appuyant sur l'IA, ils peuvent automatiquement déceler et identifier des modèles au sein de grands jeux de données. Cette approche statistique ne les empêche pas de tirer profit d'une connaissance experte. L'expert, par exemple, sait que la température maximale d'une image IR, de même que les écarts thermiques entre différentes zones, sont des informations cruciales. Correctement entraîné, l'algorithme peut évaluer, à partir d'une analyse statistique, les combinaisons de températures et d'écarts acceptables ou non. Les algorithmes

—  
04 L'imagerie infrarouge permet de visualiser la circulation du courant dans les câbles.

—  
05 La présence d'un point chaud (en haut à droite) signale une défaillance.

développés dans le cadre du projet FLEMING couvrent tout l'univers des possibles, du simple système expert aux réseaux de neurones à convolution, qui imitent le cortex cérébral.

#### Maintenance prédictive et conditionnelle

Les modèles et algorithmes évoqués ci-dessus permettent d'identifier les problèmes dès qu'ils se produisent et d'enclencher les interventions de maintenance sans délai. Pour utiles qu'ils soient, l'idéal serait évidemment d'anticiper la défaillance. Connaissances expertes et analyse statistique peuvent se combiner pour identifier les signes annonciateurs d'une défaillance ou les événements sources de dommages. Se dégagent ainsi plusieurs types d'algorithmes susceptibles d'être appliqués à la maintenance prédictive ou conditionnelle.

Au premier niveau, un algorithme signale une entrée en défaut, au sein d'un environnement par ailleurs normal. En croisant cette information avec

—  
**La durée de vie résiduelle est un paramètre très précieux pour programmer les interventions de maintenance.**

une connaissance des mécanismes de dégradation des équipements, il est possible d'affiner l'algorithme pour décrire l'évolution future du défaut. On obtient ainsi un indice de santé de l'actif, ou indice de prédiction de défaillance. Grâce à ces données plus riches et à une compréhension plus fine de l'évolution des défaillances, il est possible

d'en prédire la survenue et le délai d'apparition ; ce qui revient à connaître la durée de vie résiduelle de l'appareil. Ce dernier paramètre est très précieux pour l'exploitant, qui peut ainsi programmer les interventions de maintenance lors des arrêts planifiés. Mais c'est aussi le plus complexe à calculer puisqu'il exige d'une part de connaître finement les mécanismes de défaillance, d'autre part d'en prédire les profils d'usage, ce qui n'est pas toujours possible.

Tous ces algorithmes se contentent de fournir l'information ; c'est à un système intelligent qu'il revient de l'exploiter pour préconiser, programmer et instruire la maintenance.

#### La plus-value FLEMING

Le réseau électrique fait face à des mutations radicales qui soumettent tous ses composants à des contraintes inédites. Même les équipements les plus robustes, comme les appareillages de coupure, voient leur état se dégrader plus rapidement. FLEMING vise à améliorer les solutions actuelles de suivi d'état pour leur permettre de relever ces nouveaux défis. Il ne s'agit certes pas de la première tentative de détection automatique des défaillances, mais FLEMING va plus loin en s'intéressant à la prédiction étendue et au calcul de la durée de vie résiduelle. Objectif : associer des technologies de capteur réputées pour leur fiabilité (comme la TIR) à l'IA pour fournir des prédictions permettant de minimiser les arrêts de production intempestifs.

La solution de surveillance des équipements MT critiques décrite ici, à base d'imagerie IR, pourra probablement s'adapter à d'autres types d'appareillages, mais aussi s'enrichir de modes de défaillance supplémentaires et de solutions de surveillance vibratoire, par exemple. •

#### Bibliographie

[1] Nianchang, H., « The infrared thermography diagnostic technique of high-voltage electrical equipments with internal faults », *POWERCON '98, 1998 International Conference on Power System Technology*, Beijing (Chine), vol. 1, p. 110–115, 1998.

[2] Craig, T., « Condition monitoring in low-voltage circuit-breaker technology », *IET International Conference on Resilience of Transmission and Distribution Networks (RTDN 2017)*, Birmingham (Royaume-Uni), p. 1–6, septembre 2017.

[3] Huda, A. S. N., Taib, S., « Application of infrared thermography for predictive/preventive maintenance of thermal defect in electrical equipment », *Applied Thermal Engineering*, vol. 61, n° 2, p. 220–227, novembre 2013.

[4] Jadin, M. S., Taib, S., « Recent progress in diagnosing the reliability of electrical equipment by using infrared thermography », *Infrared Physics and Technology*, vol. 55, n° 4, p. 236–245, juillet 2012.

[5] Li, B., et al., « HV Power equipment diagnosis based on infrared imaging analyzing », *2006 International Conference on Power System Technology*, p. 1–4, octobre 2006.

[6] Chou, Y., Yao, L., « Automatic diagnostic system of electrical equipment using infrared thermography », *2009 International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition*, p. 155–160, décembre 2009.

---

PRODUCTIVITÉ

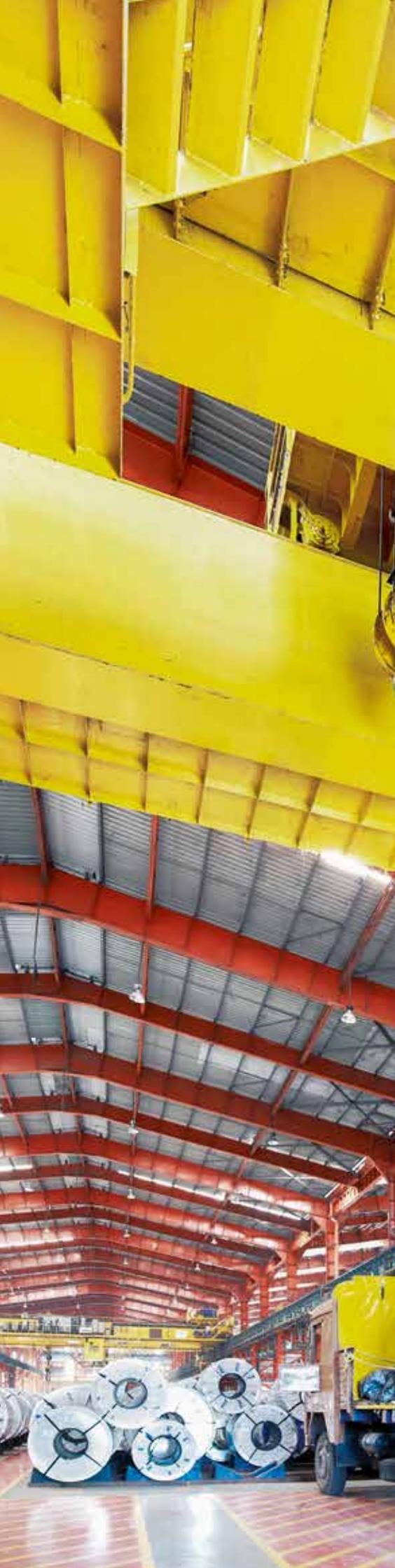
# ABB repousse les limites de la mesure

Sur les trains de laminage d'aluminium, il faut impérativement contrôler avec précision l'épaisseur de la bande de métal pour obtenir un produit de qualité. Les jauges micrométriques MTG d'ABB sont justement conçues pour fiabiliser et optimiser cette mesure. Dotées d'une nouvelle fonction dénommée « High-pass Mode », elles permettent de lire les variations d'épaisseur hautes fréquences de fines tôles d'aluminium (entre 0,6 et 0,1 mm) aux fins de régulation prédictive.



01





—  
01 La tête de jauge sans écart, ou « gapless », peut se loger sous la table de laminage pour être protégée des engagements, dégagements et ruptures de bande.

Grâce à sa légèreté, sa résistance, son haut pouvoir réflecteur et sa recyclabilité, l'aluminium est aujourd'hui le matériau incontournable de nombreux usages grand public et industriels visant à réduire les coûts énergétiques et les émissions carbone. Rien d'étonnant à ce que la demande soit en forte progression, notamment dans l'emballage alimentaire (canettes) et l'automobile (carrosserie du pick-up Ford F150, par exemple). En Amérique du Nord, l'aluminium devrait connaître une croissance exponentielle d'ici à 2025 et s'accaparer la part du lion sur le marché très lucratif des matériaux légers [1]. Seule ombre au tableau : l'obtention d'un produit répondant au strict cahier des charges du client oblige les lamineurs à contrôler très finement la composition chimique, l'écroissage et les traitements thermiques appliqués à l'aluminium ou ses alliages, ainsi que son épaisseur.

D'où l'importance d'une instrumentation fiable, sûre, robuste, compacte et ultraprécise, capable de fonctionner dans l'environnement difficile et contraint du laminoir. L'aptitude à minimiser les dérives d'épaisseur pendant le laminage est donc cruciale. Simple sur le papier, l'opération est en fait un vrai casse-tête !

C'est dans cette optique qu'ABB a mis au point un remarquable système de mesure sans écart, ou « gapless », MTG Box →01, qui tire parti de la technique des courants de Foucault pulsés (CFP) →03

—  
En laminage à froid, le respect de tolérances d'épaisseur très serrées signifie plus de rendements et plus de débouchés.

pour déterminer la résistivité (entre 27 et 65 nΩm) et l'épaisseur réelle de la bande (0,5-8 mm) destinée à la fabrication de tôles et de plaques d'aluminium [2]. Pour autant, l'innovation ABB ne s'arrête pas là.

Avec la nouvelle option « High-pass Mode », les lamineurs seront désormais capables de mesurer de rapides variations d'épaisseur sur de minces bandes d'aluminium (0,6-0,1 mm), qui serviront, dans certaines conditions, à la régulation prédictive.

#### Contraintes de laminage et mesures en ligne

Le laminage consiste à écraser une bande métallique par passages successifs entre des cylindres jusqu'à obtenir les dimensions et l'épaisseur souhaitées. Au cours du processus, la matière subit d'intenses

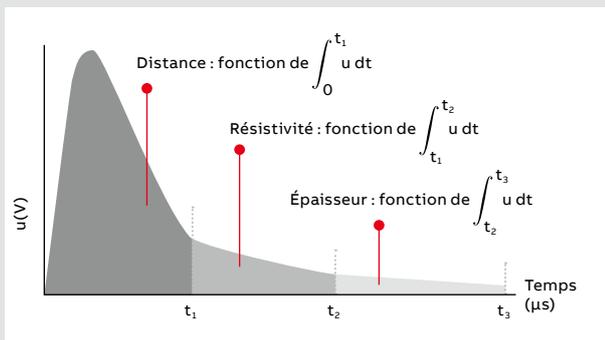
—  
**Eva Wadman**  
**Jarl Sobel**  
**Anders Eidenvall**  
Industrial Automation  
Measurement & Analytics  
Västerås (Suède)

eva.k.wadman@  
se.abb.com  
jarl.r.sobel@  
se.abb.com  
anders.eidenvall@  
se.abb.com



02

### LES COURANTS DE FOUCAULT PULSÉS, AU FONDEMENT DE LA MESURE MTG D'ABB



La technique brevetée ABB des courants de Foucault pulsés (CFP) se fonde sur un principe révolutionnaire qui fait tout le succès du système MTG. Elle consiste à déterminer l'épaisseur, la résistivité et la distance entre la jauge et le matériau à mesurer, à différents moments [2]. Pour cela, des bobines électriques insérées dans la tête de jauge, protégée par un couvercle, créent un faible champ magnétique pulsé. Après coupure brutale du courant d'excitation constant alimentant la bobine, le champ magnétique produit par les courants de Foucault dans la tôle est mesuré par la tension induite dans la bobine. Le suivi de toute la séquence de pénétration du courant dans le substrat par le biais de cette tension permet d'en déduire trois paramètres fondamentaux, à trois instants  $t$  : la distance, la résistivité et l'épaisseur. La jauge MTG mesure ainsi de manière sûre, fiable et précise, avec une faible dérive du signal, l'épaisseur réelle de la tôle d'aluminium, indépendamment de sa teneur en éléments d'alliage.

03

efforts de pression et de traction, dans des conditions extrêmes (présence de poussière, de vapeur, d'émulsions lubrifiantes ou autres fluides). Au fil du laminage, la vitesse de rotation des cylindres augmente pour compenser les changements d'épaisseur. Trouver le bon équilibre entre la réduction d'épaisseur due à la force de laminage et celle due à la poussée du matériau entre les cylindres est primordial ; en effet, le moindre déséquilibre peut avoir des conséquences irréversibles (vrillage ou rupture de la bande). À mesure que la matière avance dans le laminoir et que sa vitesse varie, les jauges d'épaisseur doivent donc respecter des tolérances de mesure étroites pour éviter les coûts de non-conformité, augmenter la productivité et améliorer la qualité. Une exigence encore plus forte sur les laminoirs à froid produisant en continu des tôles rigoureusement conformes aux spécifications du client, seul moyen pour l'industriel d'accroître ses rendements et d'élargir ses débouchés. La production en masse de canettes alu par emboutissage profond, par exemple, impose des tolérances extrêmement réduites ; pour une épaisseur de 200 micromètres, l'écart toléré ne dépasse pas quelques micromètres sur toute la longueur et la largeur de bande.

C'est dans ce contexte particulièrement exigeant qu'ABB a développé son système de mesure d'épaisseur micrométrique MTG à technologie CFP.

#### Des atouts à foison

Les jauges MTG d'ABB jouissent de nombreux avantages concurrentiels sur les outils radiométriques, ce qui leur vaut un déploiement mondial :

- **Robustesse et compacité**

La MTG Box d'ABB est constituée d'un boîtier en aluminium bronze, dont les excellentes

—  
02 La mesure étant indépendante de l'environnement de travail, la jauge MTG peut être installée à proximité de l'écart entre cylindres, même entre cages. Recouverte d'une plaque époxy renforcée de fibres de verre, la bobine électrique insérée dans la tête de jauge est protégée des chocs provoqués par le passage de la bande.

—  
03 La réponse des courants de Foucault pulsés à l'application d'un faible champ magnétique n'est influencée que par deux paramètres : l'épaisseur et la résistivité. La jauge MTG peut ainsi mesurer l'épaisseur réelle, indépendamment des conditions ambiantes.

—  
04 Schéma de principe de la mesure « High-pass »

propriétés chimiques et mécaniques lui confèrent une grande résistance aux conditions ambiantes du laminoir.

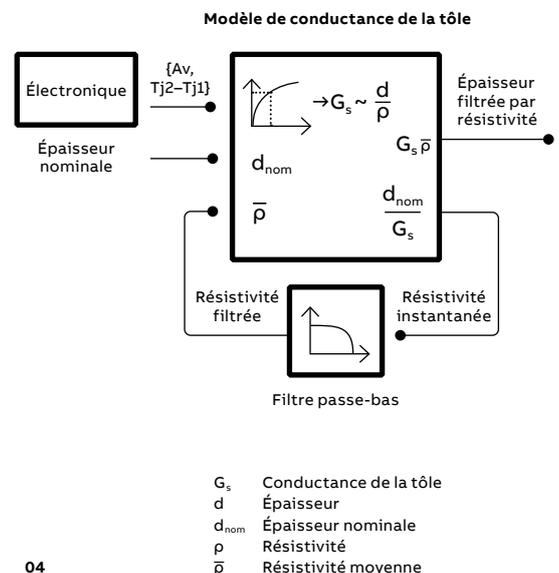
- **Mesure *gapless***  
La MTG Box étant sans écart, rien au-dessus de la ligne de passe ne risque d'obstruer le passage de la bande → 02. Constituée d'un seul élément sensible, la tête de la jauge peut être installée sous la table de laminage ; elle bénéficie d'une protection optimale lors des engagements, dégagements et ruptures de bande.
- **Insensibilité aux variations de composition**  
La technologie CFP mesure l'épaisseur réelle de la bande, indépendamment de la composition du matériau : inutile de compenser la teneur en alliage.
- **Protection tout terrain**  
La jauge est insensible à l'environnement de production (huiles de laminage, vapeur, saleté, etc.), exception faite de la bande de métal dans la zone de mesure. Elle convient parfaitement aux applications intercages.
- **Tolérances serrées**  
Ni les variations chimiques de l'alliage ni les contraintes physiques du milieu (présence de lubrifiants, par exemple) n'ont d'incidence sur la mesure MTG. Avec une précision de  $+1,5 \mu\text{m} \pm 0,05 \%$  dans le laminoir, les producteurs de métal en bandes peuvent obtenir l'épaisseur requise dans les tolérances exigées.
- **Santé et environnement préservés**  
Contrairement aux techniques radiométriques, sources de rayonnements ionisants, les jauges MTG ne présentent aucun danger pour le personnel ou l'environnement. Inutile d'aménager des zones d'accès limité ou d'éliminer les déchets radioactifs ; le lieu de travail est sécurisé.
- **Rapidité et faible périodicité d'étalonnage**  
La fourniture MTG d'ABB comprend 12 plaques d'étalonnage. En exploitation, les jauges sont étalonnées tous les six mois, en une vingtaine de minutes. Les plaques garantissent des mesures d'épaisseur absolue et de dérive conformes aux normes en vigueur.
- **Économies de maintenance**  
Dépourvue de composants fragiles ou sujets au vieillissement, de sources ou détecteurs à rayons, de transformateurs haute tension ou d'organes mécaniques de précision, la jauge MTG est pratiquement sans entretien.
- **Temps de production en hausse**  
La mesure MTG étant indépendante du matériau, la production est moins souvent arrêtée pour causes d'étalonnage et de maintenance.
- **Rentabilité élevée et accélérée**  
En réduisant les temps d'immobilisation du laminoir, les non-conformités du matériau, la maintenance, le changement de pièces, la fréquence d'étalonnage, ainsi que les contraintes sécuritaires propres aux jauges à rayons X, la MTG est une alternative économique à la mesure radiométrique.

## Toujours mieux

Depuis plus de 15 ans, le système de mesure ABB à courants de Foucault pulsés permet aux industriels de l'aluminium en bande de respecter des tolérances serrées et de s'affranchir des outils radiométriques ou à contact pour améliorer leur compétitivité. Mais peut-on utiliser les signaux de la jauge MTG pour mesurer l'épaisseur de tôles encore plus fines (0,1 mm) ? À l'heure actuelle, les méthodes capables de fonctionner dans cette gamme de mesure, en combinant grande vitesse et faible bruit, sont la

—  
La jauge MTG Box s'appuie sur la technique brevetée ABB des courants de Foucault pulsés pour calculer la résistivité et l'épaisseur réelle de la bande d'aluminium.

fluorescence X et la rétrodiffusion  $\beta$ . Les capteurs à contact et la jauge MTG à cadre en C, avec un écart relativement faible, ont également cette capacité, cette précision et cette étendue de mesure, mais seulement sur les rives de la bande ; au milieu, aucune mesure n'est possible. Qui plus est, les coûts sécuritaires et environnementaux induits par les jauges radiométriques et la faible praticité des jauges à contact sont des inconvénients supplémentaires, peu appréciés des producteurs d'aluminium.



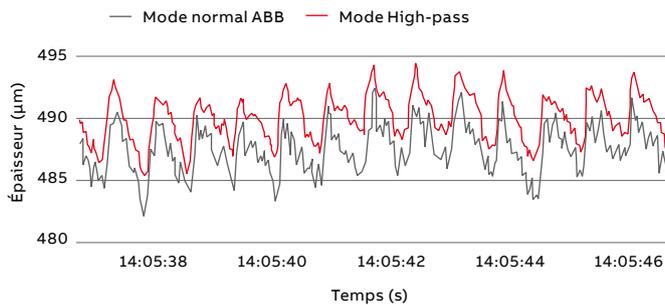
### La solution ABB

Toujours en quête de nouvelles pistes de progrès pour satisfaire le marché, les chercheurs d'ABB se sont penchés en 2019 sur une fonction de mesure MTG pour les bandes d'aluminium de faible épaisseur.

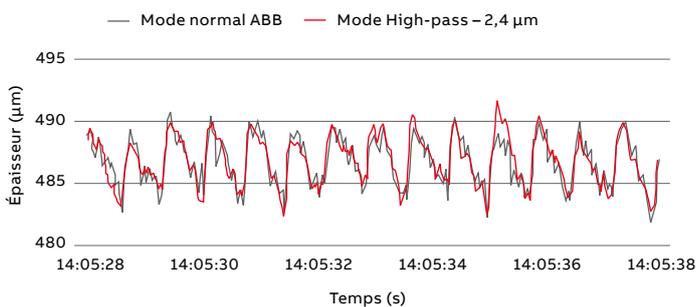
Sachant qu'il est impossible de mesurer l'épaisseur absolue directement sur une tôle mince, ABB a imaginé une solution capable, dans des conditions bien précises, de déterminer les variations hautes fréquences (supérieures à 0,024 Hz) de valeurs d'épaisseur comprises entre 0,1 et 0,6 mm, avec un rapport signal/bruit élevé [4] : le mode « High-pass ».

Pour autant, le calcul de cette valeur filtrée par passe-haut doit observer certains prérequis :

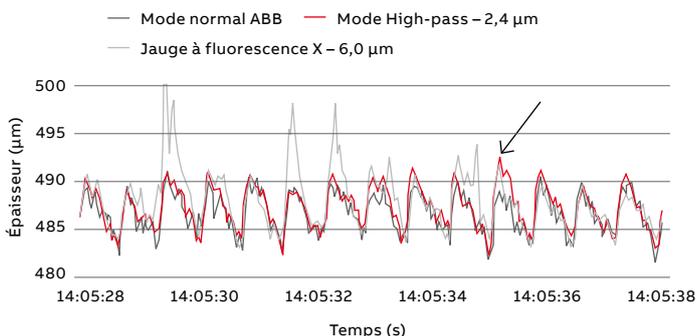
- Les modifications d'épaisseur persistantes (de durée supérieure à 10 secondes) étant mises à 0, cette fonction n'est possible que pour la commande prédictive (en intercage ou en entrée) ;
- La variation relative de la résistivité du matériau doit être inférieure à celle de l'épaisseur, puisqu'en mode High-pass, c'est la conductance (réciproque de la résistivité) qui reflète l'épaisseur →04 ;



05a



05b



05c

- Si l'on veut un signal indiquant fidèlement les variations d'épaisseur, il faut que l'épaisseur nominale soit proche de l'épaisseur réelle moyenne ;
- La mesure ne portant que sur des variations rapides d'épaisseur, aucune variation lente ne sera détectée.

### Régime minceur

Cette innovation ABB fournit aux métallurgistes une solution pratique de mesure *gapless* de variations d'épaisseur de fines bandes d'aluminium, avec des signaux insensibles aux conditions ambiantes (lubrifiants, saletés ou autres matériaux non conducteurs). Un socle théorique solide et des essais rigoureux ont prouvé que de petites variations de teneur en éléments d'alliage n'avaient qu'un effet négligeable sur la mesure.

ABB a comparé les variations mesurées par MTG Box en fonctionnement normal à celles mesurées en mode High-pass sur une bande de 490 µm d'épaisseur →05. Même si la jauge MTG mesure l'épaisseur réelle indépendamment de la composition de l'alliage, l'opération se complique à mesure que la bande s'amincit sous l'effet des lois de l'électromagnétisme. Dans notre cas, il s'avère que la mesure par méthode MTG s'approche de sa limite basse (un peu moins de 0,5 mm), et donc fluctue beaucoup plus que des mesures comparables réalisées en mode High-pass →05a.

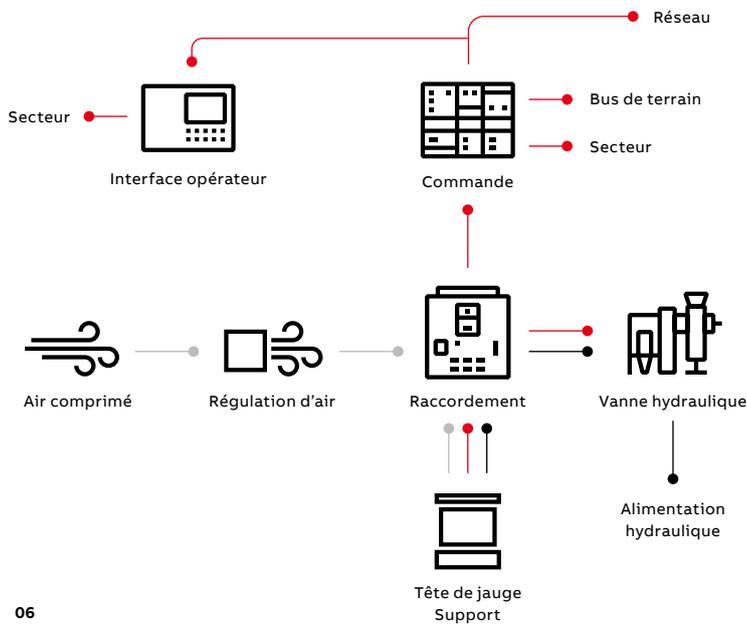
Au demeurant, le mode High-pass ne mesure pas l'épaisseur absolue ; les variations du signal sont centrées autour de l'épaisseur nominale de la bande. Il existe néanmoins une corrélation étroite entre les

Le mode « High-pass » permet de déterminer des variations hautes fréquences sur des bandes de faible épaisseur (0,1-0,6 mm).

variations d'épaisseur High-pass et la sortie normale MTG Box lorsque la résistivité moyenne est filtrée sur une moyenne glissante de 10 s. Par contre, des variations de résistivité plus rapides contribueront à une dérive d'épaisseur en mode High-pass.

On constate ainsi une baisse de 0,4 nΩm (0,7 %) de la résistivité, pendant seulement 0,5 s, entraînant une augmentation erronée de l'épaisseur mesurée en mode High-pass, soit 3,5 µm (0,7 %), comme annoncé en théorie →05b.

Enfin, la comparaison des mesures d'épaisseur de bande réalisées par jauge MTG avec celles obtenues par jauge à fluorescence X indique que de faibles changements locaux dans la



06

05 Comparaison de l'efficacité de la mesure High-pass à celles du système MTG Box et d'une jauge à fluorescence X

05a Mesure d'épaisseur en entrée de laminoir d'une bande de 490  $\mu\text{m}$  d'épaisseur nominale (pendant 10 s) et signaux de sortie. Précisons que l'épaisseur réelle n'est que de quelques micromètres inférieure à l'épaisseur nominale.

05b Baisse de la résistivité (0,4 n $\Omega\text{m}$ ) entraînant une augmentation erronée de la mesure d'épaisseur en mode High-pass (3,5  $\mu\text{m}$ , 0,7 %). Pour faciliter la comparaison, la différence en grandeur absolue du signal High-pass est compensée.

05c La faible modification de résistivité mesurée en mode High-pass affecte également la mesure d'épaisseur d'une jauge à fluorescence X. Notons que l'épaisseur mesurée par la jauge ABB en mode normal est indépendante de l'alliage, ce qui n'est pas le cas en mode High-pass.

06 La nouvelle instrumentation MTG Box d'ABB a vocation à optimiser la mise en service, l'exploitation et la maintenance.

composition de l'alliage faussent également les mesures radiométriques →05c.

Ces résultats encourageants ne font pas que corroborer la théorie ; ils démontrent que les variations d'épaisseur filtrées en mode High-pass sont comparables à celles obtenues avec MTG Box et les jauges radiométriques tant que l'on remplit des conditions précises.

### Fiabilité et durabilité

Le système MTG tout entier →06 a été conçu dans un souci de facilité d'emploi, de fonctionnalité, de fiabilité, de connectivité et de capacité d'intégration. Il peut se raccorder à des systèmes de contrôle automatique d'épaisseur dans les laminoirs pour une commande anticipatrice, rétroactive et régulatrice du débit massique. Ses multiples coupleurs réseau (Profibus DP, communication via VIP, OPC DA et Modbus TCP), son panneau de configuration, de réglage d'épaisseur et d'informations d'état, son interface opérateur (affichage des dérives sous forme de données

temps réel et de tendances), ses diagnostics d'erreurs et ses fonctions de maintenance (étalonnage, commande manuelle, cas d'usage) lui confèrent tout à la fois souplesse, convivialité et performance.

Monté sur un cadre réglable en hauteur, l'instrument s'ajuste automatiquement à la bonne distance de mesure, grâce à un système de positionnement hydraulique ; la mesure démarre presque instantanément, dès la mise sous tension. Cela permet de maximiser la longueur de la bande de métal contrôlée en épaisseur. Les modifications de distance dues à de petites variations de vitesse ou de traction sont automatiquement corrigées.

La solution ABB embarque des dispositifs et unités hautes performances qui permettent aux producteurs d'aluminium d'obtenir en continu l'épaisseur spécifiée, dans les tolérances exigées. La mesure se fait en toute sécurité, sans grands frais de maintenance.

Les producteurs d'aluminium seront en mesure de contrôler par commande prédictive les dérives d'épaisseur sur les tôles minces.

Le système MTG à jauge *gapless* et technologie CFP autorise des mesures précises d'épaisseur réelle, indépendantes du matériau. Écologique, sûr, rapide à mettre en œuvre... des avantages débouchant sur plus de productivité, de rendement et de durabilité [2,4].

Grâce à l'option High-pass Mode, les métallurgistes seront dorénavant capables de contrôler en prédictif les dérives d'épaisseur de fines bandes d'aluminium. C'est la garantie de satisfaire à des normes de tolérance toujours plus serrées et d'accéder à de nouveaux marchés. •

### Bibliographie

[1] « What are the key market trends impacting the growth of the automotive lightweight material market? », *Market Watch*, disponible sur : <https://www.marketwatch.com/press-release/what-are-the-key-market-trends-impacting-the-growth-of-the-automotive->

lightweight-material-market-2020-07-16, juillet 2020.

[2] Thegel, L., Wadman, E., « Mesure d'épaisseur à courants de Foucault pour métaux non ferreux », *ABB Review*, 1/2017, p. 40–45.

[3] Brochure ABB Automation Technologies AB, *Measure™ Pulsed Eddy Current technology: Operating Principle*, disponible sur : [https://library.e.abb.com/public/def9f9dc9353f561c-1256fe90044617e/3BSE023469R0101\\_001.pdf](https://library.e.abb.com/public/def9f9dc9353f561c-1256fe90044617e/3BSE023469R0101_001.pdf), 2004-05.

[4] Brochure ABB AB Industrial Automation, ABB, Millmate thickness gauging systems - Imagine outstanding dependability, disponible sur : [www.abb.com/thicknessgauging](http://www.abb.com/thicknessgauging), 2018.

PRODUCTIVITÉ

# Automatiser le génie des procédés

Encore aujourd'hui, les ingénieurs spécialistes du *process* doivent créer la logique de commande et les schémas de procédé en grande partie à la main. Mais plus pour longtemps... Le protocole d'échange de données DEXPI XML les aide désormais à automatiser ces tâches avec des « modèles topologiques » standardisés. La recherche ABB lui emboîte le pas en démontrant les apports de cette technologie en matière de coût et de qualité.

01



Concevoir la logique automate et les graphiques de procédé pour des systèmes de contrôle-commande comme ABB 800xA, ABB Ability™ Symphony Plus ou ABB Freelance reste une tâche en grande partie manuelle et fastidieuse. Certes, les automaticiens disposent aujourd'hui d'un catalogue de bibliothèques réutilisables et d'outils de développement génériques pour traiter automatiquement les listes d'entrées/sorties, mais il leur faut encore traduire les spécifications du client à la main. C'est pour leur venir en aide que l'initiative DEXPI (Data EXchange in the Process Industry), portée par de grands industriels comme BASF, Equinor et Bayer, œuvre à la normalisation de topologies d'usine [1]. La recherche ABB lui emboîte le pas en démontrant les apports de cette technologie en matière de coût et de qualité dans le cadre de quatre récents projets d'automatisation 800xA.

#### Ingénierie des installations : l'état de l'art

Pour automatiser une installation, les ingénieurs en génie des procédés doivent encore en spécifier manuellement tous les éléments et caractéristiques constructives : appareils, gaines, canalisations, etc. →01. Il en résulte des schémas de tuyauterie et d'instrumentation (TI) qui décrivent les équipements (réservoirs, pompes, moteurs, vannes) et instruments (sondes de température, capteurs de niveau, de pression, débitmètres) indispensables à la production. Si cette représentation graphique du procédé obéit aux conventions de nommage et normes du dessin industriel, force est d'admettre que les outils de conception assistée par ordinateur (CAO) offrent davantage de latitude pour créer ses propres formes, ajouter du texte, tracer volontairement des conduites non raccordées... Une liberté de manœuvre très appréciée des ingénieurs, mais qui complique l'analyse algorithmique et entrave le traitement automatique des informations codées.

Conséquence : les schémas TI sont souvent transmis en PDF (quand ce n'est pas sur papier) aux spécialistes de l'automatisation de procédé, qui peuvent alors corriger quelques ambiguïtés sémantiques (non-respect de formes normalisées, par exemple), mais aussi buter sur des incohérences ou des lacunes par rapport aux autres documents de spécification. Ce qui donne lieu à de fastidieux allers-retours avec les ingénieurs de production.

Certes, il existe d'ores et déjà quelques outils de CAO capables d'infuser de l'« intelligence » dans ces schémas TI, mais ils sont encore rares dans l'industrie. En général, cette ingénierie schématique repose sur une base de données constituée de tables organisant méthodiquement les informations codées (nomenclatures, par exemple) et de métadonnées caractérisant les éléments dessinés (diamètre de conduite, seuils d'alarme, etc.). Les algorithmes traitent l'information ainsi structurée beaucoup plus facilement que des schémas à base de boîtes, de lignes et de cercles génériques. En outre, les schémas TI sont habituellement stockés dans des formats spécifiques à la CAO utilisée, compliquant par là-même la construction de plates-formes logicielles.

#### Topologie

Depuis 2011, l'initiative DEXPI travaille sur une norme commune de description de schémas TI orientée objet, au format XML. Il s'agit en fait d'une version normalisée des schémas TI « intelligents ». Cette spécification reprend les informations de dessin proprement dites (coordonnées graphiques, instructions de tracé, par exemple) et les combine à des représentations abstraites de l'équipement, de l'instrumentation et de leurs interactions sous forme de réseau, à l'image d'un circuit électronique ou d'une configuration informatique [2] : d'où le terme de « modèles topologiques ». Menée par des industriels friands d'automatismes comme BASF, Bayer, Covestro, Equinor, Evonik et Merck, l'initiative rallie également tous les grands fournisseurs d'outils CAO, tels Autodesk, Aveva, Hexagon et Siemens →02.

—  
**Quelques outils de CAO proposent d'ores et déjà des schémas de tuyauterie et d'instrumentation « intelligents ».**

La norme DEXPI n'a cessé d'évoluer ces dernières années (sa version 1.2 date de 2020) et il n'est pas rare de voir les fournisseurs de CAO participer à des marathons de programmation pour tester les fonctions d'importation et d'exportation XML qui se retrouveront dans la prochaine mouture.

—  
 01 La création automatique, et non plus manuelle, de la logique de commande et des graphiques de procédé promet d'économiser du temps et de l'argent tout en améliorant la qualité.

—  
**Heiko Koziolk**  
**Andreas Burger**  
**Hadil Abukwaik**  
**Julius Rückert**  
**Marie Platenius-Mohr**  
 ABB Industrial Automation, Corporate Research  
 Ladenbourg (Allemagne)

heiko.koziolk@de.abb.com  
 andreas.burger@de.abb.com  
 hadil.abukwaik@de.abb.com  
 julius.rueckert@de.abb.com  
 marie.platenius-mohr@de.abb.com



02

Les modèles de topologie au format DEXPI XML sont au centre de cette « ingénierie topologique » qui vise à faciliter la tâche des développeurs en automatisant des opérations jusqu'ici manuelles :

- Génération de la logique de commande : dans une certaine mesure, la logique d'interverrouillage et la commande par retour d'état peuvent être déduites des modèles topologiques de l'installation [3] ;
- Conception graphique : l'implantation des composants sur un schéma TI peut être codée dans un modèle topologique et servir de patron pour concevoir les interfaces opérateur ;
- Simulation : les modèles topologiques peuvent être mis en correspondance avec des types d'objets sur des plates-formes de simulation, comme Modelica, afin de créer des simulateurs basse fidélité destinés aux recettes usine et à l'entraînement des opérateurs ;
- Analyse des causes de défaillance : l'opérateur peut interroger ces modèles pour rechercher les causes de dysfonctionnement du process [2] ;
- Gestion des alarmes : les modèles topologiques limitent le risque d'« avalanches » qui inondent l'opérateur sous un flot de messages et d'alertes en cascade.

#### Un éditeur dédié

ABB a récemment mis au point un prototype logiciel pour tester l'automatisation des tâches de développement à l'aide de modèles topologiques d'usine.

L'outil, dénommé CAYENNE, crée ces modèles à partir de fichiers DEXPI XML, de schémas TI conçus dans Microsoft Visio et de fichiers importés de schémas TI intelligents SmartPlant P&ID →03. Dans les projets de modernisation d'usine, ces modèles peuvent aussi être tirés de graphiques de procédé 800xA contenant des informations topologiques de faible résolution. L'utilisateur est alors en mesure d'inspecter et de modifier *de visu* les modèles importés.

L'éditeur CAYENNE fournit un générateur de logique de commande qui synthétise la logique d'interverrouillage à partir des modèles topologiques. Le générateur est assisté d'un moteur de règles qui applique aux modèles des consignes « métier » prédéfinies : sur un réservoir, par exemple, une alarme basse émise par un indicateur de niveau commandera l'arrêt d'une pompe d'évacuation. Le cas échéant, le moteur de règles parcourt le modèle topologique à la recherche de la consigne codée

L'éditeur CAYENNE fournit un générateur de logique de commande qui synthétise la logique d'interverrouillage à partir des modèles topologiques.

dans la règle. Lorsqu'il y a concordance, il retrouve les noms des variables apparentées et génère la logique de commande en établissant un lien de causalité entre le signal d'état de l'alarme et le signal de commande associé. CAYENNE aide à construire des graphiques de traitement de type 800xA Control Builder M (configurateur d'automatismes ABB), des blocs de fonctions (langage graphique FBD), de même que des textes structurés (langage ST normalisé CEI 61131-11) et des matrices de cause-effet.

#### Conception graphique

CAYENNE est aussi un éditeur graphique qui met en correspondance l'implantation importée d'un schéma TI et les formes contenues dans une bibliothèque de développement 800xA. Le logiciel crée ainsi une première ébauche de graphique de procédé 800xA (représentant l'équipement, l'instrumentation et la tuyauterie) qu'un automaticien peut ensuite compléter à la main. Les emplacements et dimensions des formes étant préservés, cela revient à transposer le système de coordonnées graphiques du modèle topologique dans le graphique de procédé. Ce mapping est personnalisable de façon à pouvoir afficher les formes spécifiques de différentes bibliothèques

—  
02 Principaux acteurs de l'initiative DEXPI

—  
03 Les trois étapes de l'ingénierie topologique : extraction du schéma TI, construction du modèle topologique, création de la logique de commande et des graphiques de procédé

de développement 800xA sur les graphiques de procédé. Une procédure qui a fait ses preuves pour la bibliothèque « standard » 800xA et la bibliothèque « réutilisable » dédiée pétrole & gaz.

**Ingénierie coopérative avec AUCOTEC**

Un prototype CAYENNE a été intégré à la plateforme Engineering Base (EB) d'AUCOTEC utilisée pour les nouveaux projets ABB. Actuellement, AUCOTEC met en œuvre un importateur DEXPI XML qui permettra de combiner le logiciel ABB de traitement de données industrielles PDP (Plant Data Processing) à un modèle topologique.

**ABB a mené quatre études rétrospectives sur des spécifications de projet d'automatisation.**

CAYENNE peut ainsi créer des graphiques de procédé à partir de la plate-forme EB, mais aussi bâtir la logique d'interverrouillage qui « soude » les blocs de fonctions générés par l'outil.

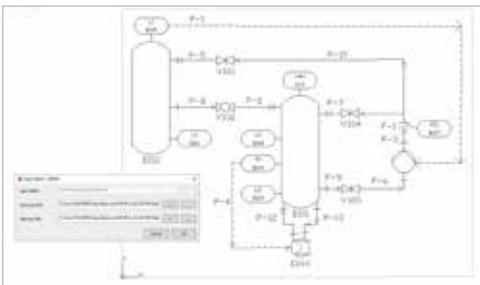
**Applications pratiques**

Pour évaluer cette technologie et la capacité de l'éditeur de topologie CAYENNE à accélérer le développement, ABB a mené quatre études rétrospectives sur les spécifications d'installations industrielles déjà construites et automatisées [4] :

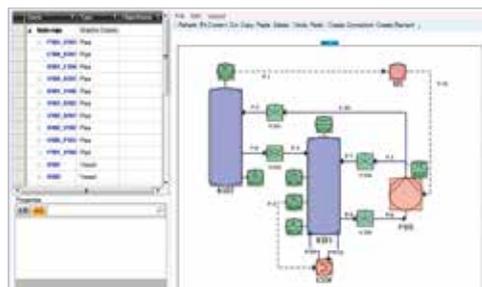
- Une usine d'engrais de moyenne envergure (environ 1000 E/S), en Amérique du Sud →04, où l'étude ABB a porté sur un atelier abritant 18 cuves, 8 pompes et 1 réacteur ;
- Une raffinerie de pétrole (4000 E/S), également en Amérique du Sud ;
- Un séparateur d'hydrocarbures (400 E/S) au Moyen-Orient, avec ses cuves, instruments et tuyauteries complexes ;
- Une plate-forme de production de pétrole en mer (7000 E/S), là encore en Amérique du Sud →05. Le procédé incluant une multitude de canalisations et d'appareils parallèles tous identiques, l'étude ABB s'est limitée à une sélection d'équipements.

Dans chaque cas, une équipe de recherche a analysé le cahier des charges du contrat d'ingénierie, de fourniture et de construction (EPC) du site et n'a retenu qu'un segment représentatif de la production (soit 10 à 20 schémas TI par installation). Elle a ensuite créé les modèles topologiques destinés à l'éditeur CAYENNE. Les schémas TI n'étant disponibles

AutoCAD Plant3D

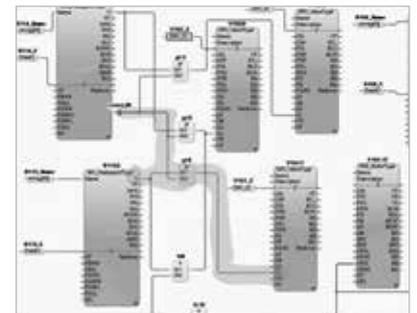


DEXPI

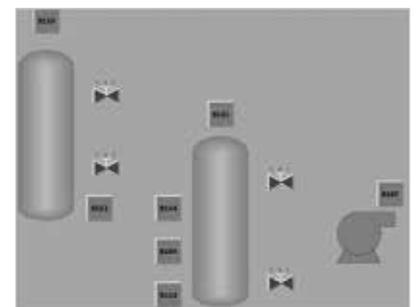


Modèle topologique

Configurateur 800xA Control Builder



Interverrouillages



Graphiques de procédé 800xA PG2

Création



04

qu'en PDF, il a fallu les redessiner dans les formats acceptés par CAYENNE, sous Visio par exemple, ce qui a demandé à chaque fois une bonne journée de travail. Une étape que l'on pourra éluder lorsque les ingénieristes exporteront leurs schémas TI au format DEXPI XML. L'importation dans CAYENNE des fichiers ainsi créés permet de construire le modèle topologique requis.

Pour chaque cas, les chercheurs ABB ont analysé entre une cinquantaine et une centaine d'interverrouillages spécifiés dans des matrices de cause-effet, puis, pour chaque paire cause-effet, étudié le parcours topologique des raccordements.

---

### Les études de cas ABB annoncent 50 % d'économies sur la création des graphiques de procédé.

En comparant cette partie au parcours d'autres paires cause-effet, ils ont pu identifier des principes d'interverrouillage génériques et les coder sous forme de règles. Cela vaut pour un comportement récurrent du process, comme par exemple l'émission d'une alarme haute par un capteur de pression, qui oblige à fermer une vanne amont. Pour de nombreux interverrouillages, il n'a

fallu définir la règle générique qu'une fois pour pouvoir ensuite la répéter à l'envi. Si l'on avait disposé de ces règles avant le projet, les matrices de cause-effet auraient pu être générées en grande partie par l'éditeur de topologie CAYENNE.

Au total, 91 % des interverrouillages observés ont pu être générés à l'aide de 92 règles, dont 73 % ont été classées « génériques », donc applicables à d'autres sites. Les 27 % restantes présentaient des caractéristiques « métier » ne pouvant convenir qu'à des usines de nature très similaire ; dans ces conditions, l'effort de développement ne se justifie que pour un grand nombre d'occurrences.

Seuls 7 % des règles ont pu s'appliquer aux quatre études ABB. Un faible pourcentage imputable à l'hétérogénéité des sites et, donc, de l'instrumentation prépondérante : usine d'engrais et mesurage de niveau, plate-forme de pétrole et mesurage de pression, etc. Le choix de cas présentant davantage de similitudes (cinq usines d'engrais, par exemple) permettrait certainement de mutualiser ces règles « multisites ».

L'économie réalisée par la génération d'interverrouillages ainsi que par la suppression du codage et des essais manuels s'estime à environ 15 % de l'effort global de développement de la logique de commande. Sont également éliminées les sources d'erreur humaine. Pour la création des graphiques de procédé, l'économie pourrait même avoisiner 50 %.



05

—  
04 Les spécifications d'une usine d'engrais ont servi à tester le projet d'automatisation ABB à l'aide de modèles topologiques.

—  
05 Dans la production de pétrole et de gaz, les modèles topologiques ont permis de créer de nombreux interverrouillages de commande.

### Un bond technologique

Les modèles topologiques joueront un rôle décisif dans l'automatisation de tâches d'ingénierie supplémentaires pour les plates-formes de contrôle-commande 800xA, Symphony Plus Operations et Freelance. Tous les grands fournisseurs de CAO travaillent à la standardisation DEXPI XML des schémas TI. Les modèles topologiques extraits de ces schémas permettent de générer en partie la logique de commande et les graphiques de procédé. Ils ont d'ores et déjà servi à la réalisation de simulateurs d'entraînement opérateur. Multiplier le nombre d'études de cas contribuera à améliorer l'outil et le

—  
Les modèles topologiques sont essentiels pour automatiser l'ingénierie industrielle.

concept, au plus grand bénéfice des industriels, qui pourront réutiliser les logiciels et les intégrer dans d'autres outils de développement. C'est ainsi que l'ingénierie industrielle prendra le virage de l'automatisation. •

### Bibliographie

[1] <https://dexpi.org/>

[2] Arroyo, E., *et al.*, « Vers le papier connecté », *ABB Review*, 1/2016, p. 65-69.

[3] Schleburg, M., *et al.*, « A combined analysis of plant connectivity and alarm logs to reduce the number of alerts in an automation system », *Journal of Process Control*, vol. 23, n° 6, p. 839-851, juillet 2013.

[4] Drath, R., *et al.*, « Computer-aided design and implementation of interlock control code », *2006 IEEE Conference on Computer Aided Control System Design, 2006 IEEE International Conference on Control Applications, 2006 IEEE International Symposium on Intelligent Control*, p. 2653-2658, octobre 2006.



## PRODUCTIVITÉ

# MP<sup>3</sup>C : une nouvelle commande prédictive ABB pour doper la vitesse variable

Les entraînements électriques de puissance utilisés dans l'industrie minière, la métallurgie, la propulsion marine, les procédés continus et hybrides bénéficient désormais d'une technologie ABB révolutionnaire : la régulation prédictive à modèle d'impulsions maximise les rendements et les performances des moteurs tout en préservant la dynamique et la robustesse du contrôle direct de couple.

—  
01 Le système Azipod® d'ABB s'appuie sur une régulation fine et rapide de la propulsion pour réduire la consommation d'énergie, accroître la souplesse de manœuvre et accélérer les réglages de puissance.

—  
02 Nouveau variateur moyenne tension ACS 6080 à commande prédictive MP<sup>3</sup>C

—  
**Tobias Geyer**  
ABB Medium Voltage Drives  
Turgi (Suisse)

tobias.geyer@ch.abb.com

—  
**Wim van der Merwe**  
ABB Medium Voltage Drives  
Lodz (Pologne)

wim.van-der-merwe@pl.abb.com

—  
**Vedrana Spudic**  
ABB Process Industries  
Baden-Dättwil (Suisse)

vedrana.spudic@ch.abb.com

—  
**Jess Galang**  
**Ester Guidi**  
**Gerald Scheuer**  
ABB Medium Voltage Drives  
Turgi (Suisse)

jess.galang@ch.abb.com  
ester.guidi@ch.abb.com  
gerald-a.scheuer@ch.abb.com

De nos jours, le transport maritime a besoin de navires ultraperformants et sûrs, à même d'affronter les mers et océans du monde entier, mais aussi d'économiser le carburant et de réduire les émissions polluantes [1]. Les propulseurs Azipod® d'ABB →01 s'y emploient à merveille : ils font baisser la consommation énergétique tout en améliorant la souplesse de manœuvre et la vitesse de réglage de puissance, garante d'une navigation plus économique et écologique [2], y compris dans les glaces. La solution ABB s'appuie pour cela sur

un solide socle technologique : l'Azipod est un système de propulsion azimuthale sans engrenage, entraîné par un moteur électrique logé dans une nacelle, sous la coque. Orientable à 360°, il fournit la poussée requise dans toutes les directions, pour une manœuvrabilité optimale. Mais ce bijou de technologie ne serait rien sans une commande en vitesse variable rapide et précise, capable de minimiser les contraintes thermiques, acoustiques et vibratoires du moteur pour offrir une dynamique inégalée (même en cas de perturbations sur le





03

réseau), de fortes puissances à basses fréquences de commutation et des rendements maximisés. Une révolution ABB baptisée « MP<sup>3</sup>C » (Model Predictive Pulse Pattern Control) →02.

#### **Cumuler puissance et rendement**

Sur l'Azipod, la propulsion est gérée par le convertisseur électronique de puissance qui règle la vitesse de rotation du moteur en jouant sur la fréquence et la tension appliquées. Dans les cas (fréquents) de réseau perturbé, la commande doit maintenir la tension du bus commun continu (CC)

---

**Le système de propulsion électrique Azipod exige une commande en vitesse variable rapide et précise.**

afin de garantir un fonctionnement sûr de l'entraînement. Pour accroître le rendement, il faut limiter le nombre de commutations par période de fondamental. De plus, l'énergie stockée dans les condensateurs du bus CC est réduite au minimum afin de parer en sécurité aux défauts moyenne tension (MT).

La commutation induit par ailleurs des ondulations de courant et de couple, à l'origine de vibrations

mécaniques qui tendent à s'accroître à basses fréquences. Autre contrainte réglementaire imposée notamment aux brise-glaces naviguant dans les eaux polaires : le respect des seuils d'émissions acoustiques visant à préserver la faune aquatique. Les techniques usuelles de commande de la conversion de puissance exigent pour cela de hautes fréquences de commutation, qui entraînent de fortes pertes. Si ces conditions aux limites sont essentielles, elles n'en restent pas moins difficilement réalisables avec les méthodes traditionnelles. ABB lève ce dilemme avec sa nouvelle stratégie universelle de régulation prédictive à modèle d'impulsions, MP<sup>3</sup>C.

#### **Hautes performances dynamiques**

Économies d'énergie, sécurité, rapidité, précision et robustesse de la commande sont des critères essentiels pour les procédés de transformation. Dans l'extraction minière et la métallurgie, les laminoirs à chaud et à froid doivent être pilotés en vitesse et en couple afin de répondre aux impératifs de qualité de la production. Or la vitesse à laquelle la matière s'engage et se désengage des cylindres de laminage provoque des changements soudains et rapides de charge, qui compliquent la régulation de couple →03.

À ces contraintes s'ajoute la présence d'harmoniques, sources de pertes qui obligent à prévoir un refroidissement supplémentaire et à surdimensionner les machines. Pour ces applications exigeantes, trouver le bon entraînement et la bonne commande induisant le minimum de pollution harmonique est la priorité de la recherche-développement ABB afin

—  
03 L'ACS 6080 associé à la commande MP<sup>3</sup>C diminue les pertes harmoniques, améliorant d'autant le rendement et la longévité des laminoirs à chaud et à froid.

—  
04 Seule la commande MP<sup>3</sup>C offre une exceptionnelle dynamique, à l'instar de la technologie DTC, et un très faible contenu harmonique, comparable à celui des séquences optimisées OPP en régime permanent.

d'offrir un meilleur rendement et, partant, de prolonger la durée de vie de l'équipement. C'est là qu'entre en jeu l'innovation ABB avec son variateur ACS 6080 et sa commande révolutionnaire de semi-conducteurs de puissance MP<sup>3</sup>C. Développée au cours de la précédente décennie, cette technique de régulation maximise les performances dynamiques et les rendements tout en minimisant les distorsions harmoniques pour un fonctionnement optimal du moteur à tous les régimes de marche.

#### Stratégies de commande et de modulation

Concilier une très grande qualité harmonique (faible taux de distorsions harmoniques TDH par fréquence de commutation) et une excellente dynamique a longtemps relevé de la gageure.

La technologie ABB de contrôle direct de couple (DTC), développée dans les années 1980, de même que le contrôle vectoriel à flux orienté (FOC) illustrent ce dilemme →04. La commande DTC s'appuyant sur une fréquence d'échantillonnage (environ 40 kHz) et sur des contrôleurs d'hystérésis associés à une table de commutation pour réguler le couple électromagnétique et la magnétisation de la machine électrique, la réponse en régulation de couple est rapide et précise. L'entraînement gagne en dynamique, et le système en robustesse pour parer aux fluctuations du bus CC et autres perturbations.

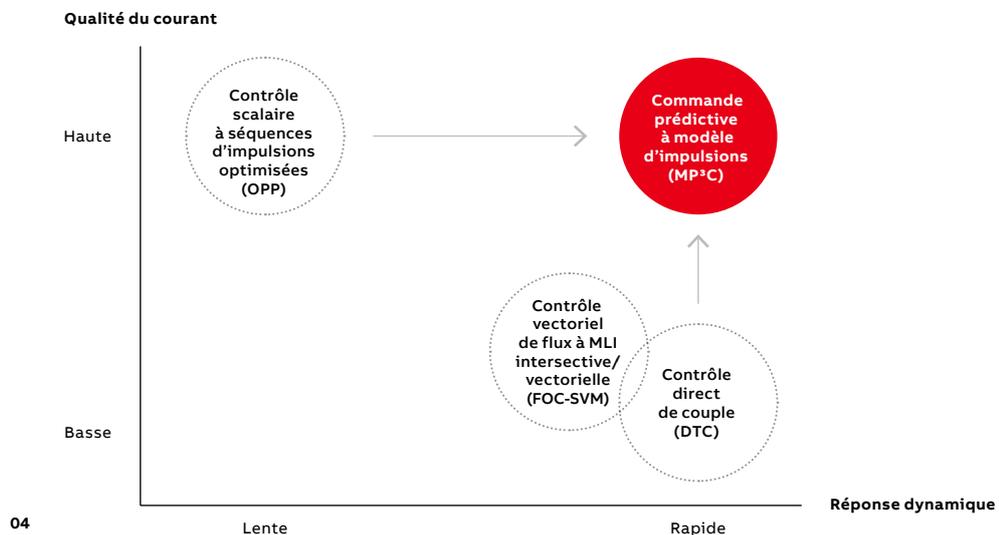
La commande vectorielle, représentée dans un repère orthogonal tournant, utilise des contrôleurs linéaires pour fournir des références de tension à un modulateur de largeur d'impulsions (MLI) intersective ou vectorielle.

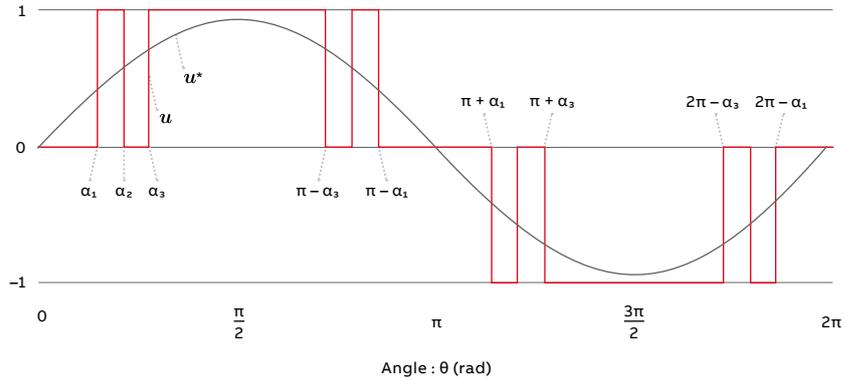
Les convertisseurs MT fonctionnant à de basses fréquences de commutation (quelques centaines de hertz), le nombre d'impulsions dans une période (fréquence de commutation sur fondamentale) est inférieur à 10, ce qui engendre une forte pollution

—  
La commande MP<sup>3</sup>C est la réponse ABB à la quête d'efficacité et d'économie, sans sacrifier la performance dynamique.

harmonique. Qui plus est, la fréquence d'échantillonnage du contrôle à flux orienté linéaire est quatre fois supérieure à la fréquence de commutation, avoisinant ici 1 kHz. La commande pâtit alors d'une bande passante limitée, qui la ralentit, d'une faible dynamique et d'un mauvais rejet des perturbations.

On peut éviter ces inconvénients avec des séquences d'impulsions optimisées (OPP) qui minimisent les déformations de l'onde de courant à une fréquence de commutation donnée ; c'est la technique de prédilection des convertisseurs MT →05. Reste qu'il est foncièrement difficile de réguler une large bande passante à l'aide de contrôleurs linéaires et de séquences OPP, car de fortes ondulations de courant altèrent la commande. Si l'on peut, en théorie, recourir à une boucle de commande lente, par exemple en U/f pour les séquences OPP, cette solution est en pratique irréalisable dans la plupart des applications d'entraînement MT. Lors de changements de





05

référence de couple ou de transitions entre séquences d'impulsions, la commande ne réagit pas assez vite, provoquant des courants transitoires excessifs qui dégradent les performances dynamiques.

Dans les systèmes MT, la faible quantité d'énergie stockée par le bus CC (moins de 5 ms) exige une inversion de couple rapide en cas de perturbations réseau pour éviter les surtensions ou sous-tensions du bus. C'est pourquoi les méthodes DTC ou FOC ont longtemps été préférées à l'approche OPP.

ABB cumule 45 années d'innovation continue en variation électronique de vitesse. Sa technologie DTC, qui adapte la vitesse et le couple moteur aux besoins réels de la charge entraînée, a beaucoup fait progresser les moteurs électriques en matière de performance et de sobriété énergétique. C'est ce souci d'efficacité et d'économie, sans sacrifier la performance dynamique, qui a conduit ABB à développer la régulation prédictive par modèle MP<sup>3</sup>C : le *nec plus ultra* pour piloter les applications contraignantes.

**Question d'équilibre**

Avec MP<sup>3</sup>C, ABB a trouvé le bon compromis entre dynamique élevée et faible pollution harmonique, à l'image de la commande OPP en régime permanent →04.

La solution ABB repose sur la méthode bien connue de régulation prédictive, dans laquelle un modèle mathématique de l'entraînement piloté calcule son évolution sur un horizon de prédiction et choisit la meilleure entrée de commande en résolvant un problème d'optimisation mathématique. Après quoi, le système obtient de nouvelles mesures et replanifie son évolution sur un horizon de temps glissant [3].

**Stratégie remarquable**

L'approche MP<sup>3</sup>C se fonde sur le principe d'une régulation prédictive par modèles associée à des séquences optimisées OPP ; celles-ci garantissent un minimum d'harmoniques par fréquence de commu-

tation, tandis que la commande prédictive suit la trajectoire idéale du flux statorique OPP en minimisant une fonction de coût et en jouant sur les instants de commutation OPP [4]. L'utilisation d'une fréquence d'échantillonnage élevée (40 kHz) sur un horizon glissant assure une réponse dynamique rapide et un excellent rejet des perturbations.

La méthode OPP retenue abandonne l'intervalle de modulation fixe de la MLI classique (deux changements d'état de commutation par phase et intervalle de modulation) au profit d'un calcul des séquences hors ligne : sont déterminés les angles et changements d'état de commutation optimaux pour minimiser les distorsions de courant à une fréquence de

—  
MP<sup>3</sup>C offre une dynamique inégalée pour un rendement maximal.

commutation donnée. En général, une symétrie quart-d'onde ou demi-onde s'impose. Supposant une charge inductive, les déformations du courant sont proportionnelles à la somme des tensions harmoniques de mode différentiel mises au carré, divisée par le rang harmonique. Les angles de commutation  $\alpha_i$  et les changements d'état de commutation  $\Delta u_i$  optimaux peuvent alors être calculés pour un indice de modulation  $m$  et un nombre d'impulsions  $d$  donnés, minimisant les distorsions de courant :

$$\min_{\alpha_i} \sum_{n=5,7,\dots} \left( \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^d \Delta u_i \cos(n\alpha_i) \right)^2$$

avec  $\frac{4}{\pi} \sum_{i=1}^d \Delta u_i \cos(\alpha_i) = m$

$$0 \leq \alpha_1 \leq \alpha_2 \leq \dots \leq \alpha_d \leq \frac{\pi}{2}$$

— 05 La forme d'onde de la commutation OPP (donnée par le nombre d'impulsions  $d$  et les changements d'état de commutation par phase et quart d'onde) illustre les très faibles déformations de l'onde de courant à une fréquence de commutation donnée (cas d'une charge inductive).

— 06 Principe de commande MP<sup>3</sup>C avec trajectoire du flux statorique, correction du flux statorique et suivi de la trajectoire. Les vecteurs des flux rotorique  $\psi_{r,\alpha\beta}$ , statorique de référence  $\psi_{s,\alpha\beta}^*$  et l'erreur de flux statorique  $\psi_{s,\alpha\beta, err}$  sont donnés dans un ensemble de coordonnées orthogonales stationnaires.

06a Calcul de la trajectoire optimale du flux statorique (TDH minimal) par intégration OPP

06b Modification du vecteur de flux statorique par action sur les instants de changements d'état de commutation (ici en phase a); on obtient une commande en boucle fermée rapide.

06c Poursuite de trajectoire MP<sup>3</sup>C par régulation du flux statorique le long de la trajectoire (intégrale de l'OPP); on minimise la distorsion moyenne totale (TDD) du courant.

L'indice  $m$  correspond à la tension de sortie et le nombre  $d$  se rapporte à la fréquence de commutation.

La trajectoire de référence du vecteur flux statorique résulte des intégrations de la tension statorique de l'OPP sur le temps →06. Cette trajectoire est par définition optimale; en la suivant de près, on minimise la distorsion moyenne totale (TDD) des courants statoriques en modifiant les instants des changements d'état de commutation. Cela est particulièrement important en présence de perturbations de grande ampleur, comme une forte ondulation de tension du bus CC. En régulation MP<sup>3</sup>C, la poursuite serrée de cette trajectoire permet d'obtenir un spectre harmonique quasi optimal et de minimiser l'incidence négative de l'ondulation de tension du bus CC sur la TDD des courants statoriques.

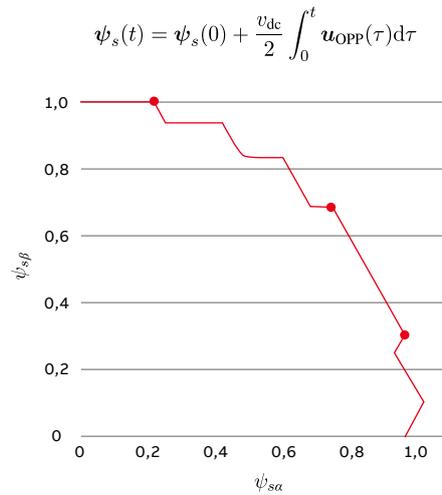
**Performances et bénéfices tangibles**

Les résultats obtenus en simulation, en laboratoire et en expérimentation prouvent la supériorité de la commande prédictive MP<sup>3</sup>C sur les méthodes traditionnelles. Si l'on met en balance, par exemple, les pertes onduleur et les pertes machine dues aux harmoniques lors des variations de la fréquence

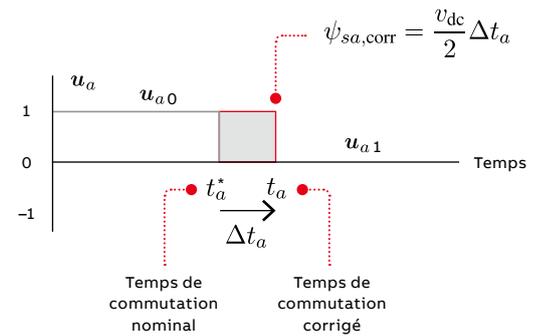
**Le variateur ACS 6080 à commande prédictive MP<sup>3</sup>C, lancé en 2019, optimise les entraînements électriques de puissance.**

de commutation, il est clair que la régulation MP<sup>3</sup>C surpasse le contrôle vectoriel FOC-SVM →07a : avec un nombre d'impulsions  $d=3$ , elle autorise une réduction totale des pertes de 25 kW comparée à la modulation vectorielle (rapport fréquence de commutation/fondamentale = 9). Ce sont autant d'investissements et de dépenses de fonctionnement en moins, qui se retrouvent sur la facture d'électricité (économie annuelle de 17 500 euros à un prix du MWh de 80 euros).

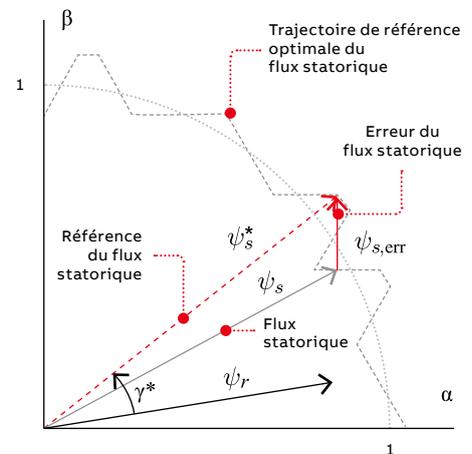
Ces résultats se confirment pour la distorsion moyenne totale (TDD) →07b. Sachant qu'une baisse des distorsions de courant statorique se répercute sur les distorsions de couple, la MP<sup>3</sup>C peut réduire la TDD du couple électromagnétique, pour des pertes onduleur similaires. L'allègement des sollicitations mécaniques et thermiques de la machine électrique permet d'allonger sa durée de



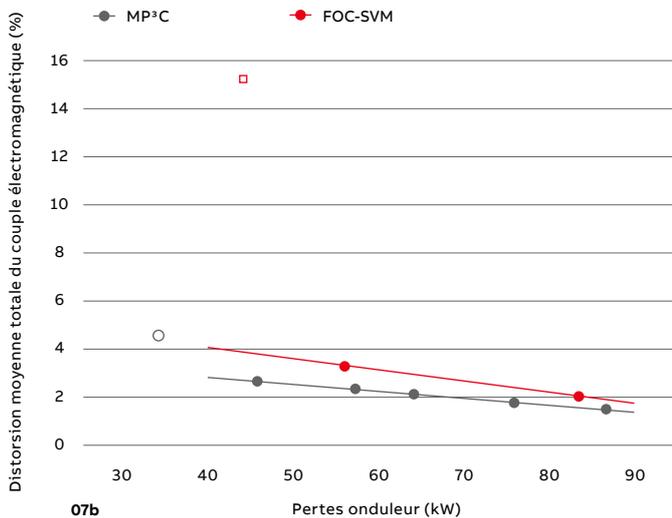
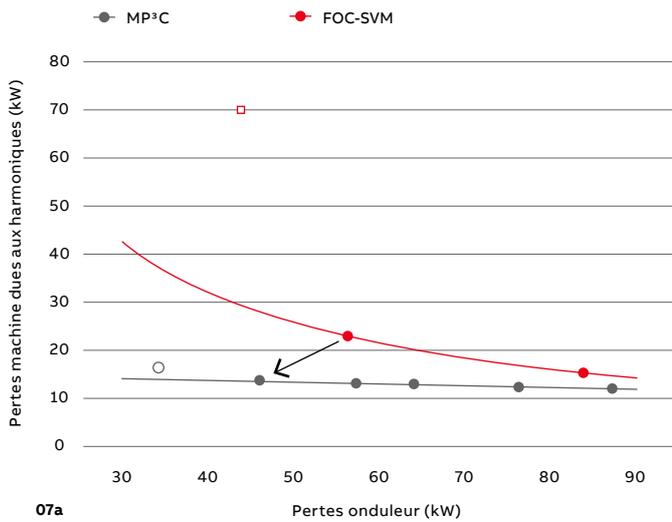
06a



06b



06c



08

vie et d'espacer la maintenance, diminuant d'autant les charges d'exploitation.

Les résultats obtenus sur une machine asynchrone de 3,3 kV calibrée à 1140 kVA donnent visiblement l'avantage à la technologie MP<sup>3</sup>C → 08 ; le taux de distorsion harmonique en courant (TDHi) par fréquence de commutation en régime permanent est ici proche de l'optimum. De plus, en phase transitoire, la MP<sup>3</sup>C présente de très courts temps de réponse en courant et en couple, qui peuvent atteindre ceux de la commande DTC en insérant au besoin des impulsions supplémentaires [5].

Les faibles distorsions harmoniques avec un petit nombre d'impulsions permettent d'accroître la fréquence fondamentale. De quoi offrir plus de liberté aux concepteurs d'applications de type compresseurs, qui nécessitent des moteurs à grande vitesse. Augmenter la vitesse de sortie de l'entraînement permet de réduire l'encombrement et la masse d'un engrenage supplémentaire, voire de l'éviter. L'investissement est donc moindre.

#### La preuve par l'usage

Des variateurs de vitesse moyenne tension ACS 6000 d'ABB ont permis de réaliser sur banc moteur des conditions d'essai pleinement pilotables. ABB a notamment étudié la problématique des

—  
**ABB a équipé une station de transfert d'énergie par pompage du premier variateur ACS 6080 à commande prédictive MP<sup>3</sup>C.**

échauffements excessifs observés sur les machines raccordées à l'ACS 6000, qui limitaient la puissance atteinte par le banc. La régulation MP<sup>3</sup>C a fait chuter la température (de 65 à 40 °C, par exemple) et la distorsion harmonique des courants moteur. Les essais ont pu alors monter en puissance : banco !

ABB a également équipé une station de transfert d'énergie par pompage du premier variateur ACS 6080 à commande MP<sup>3</sup>C. En cumulant haut rendement et fréquence de sortie accrue, la solution offre aux clients de nouvelles pistes pour moderniser leur système de conversion de fréquence.

#### Le summum de la vitesse variable

Le variateur ACS 6080 à commande prédictive MP<sup>3</sup>C, lancé en 2019, est le duo gagnant pour optimiser les entraînements électriques de puissance. Dans

— 07 Les résultats de simulation confirment la supériorité de la commande MP<sup>3</sup>C sur le contrôle vectoriel FOC-SVM en termes de pertes onduleur et de distorsions du couple.

07a La régulation MP<sup>3</sup>C surpasse le contrôle vectoriel en termes de pertes onduleur lorsque la fréquence de commutation varie. Pour les deux techniques, une ligne de régression sert de guide (nota : les points vides sont considérés comme des valeurs aberrantes).

07b MP<sup>3</sup>C diminue la TDD du couple (ici, de 33 %). La comparaison de la modulation vectorielle SVM (rapport fréquence de commutation/fondamentale = 9) et de la commande MP<sup>3</sup>C (nombre d'impulsions = 4) donne une TDD du couple réduite (de 3,3 à 2,2 %).

— 08 MP<sup>3</sup>C atteint un TDHi par fréquence de commutation en régime permanent quasi optimal. On voit ici les formes d'onde de courant statorique en régime permanent, à une fréquence fondamentale de 30 Hz et à 60 % du couple machine nominal. Pour un nombre d'impulsions  $d = 5$ , la fréquence de commutation  $f_c = 150$  Hz et la TDD du courant = 8,7 %.

— 09 Les machines tournantes utilisées dans les secteurs minier, maritime, métallurgique, ainsi que les procédés continus et hybrides ont tout à gagner de l'innovation ABB en vitesse variable.

#### Bibliographie

[1] Communiqué de presse ABB, *ABB Azipod® electric propulsion can save \$1.7 million in fuel costs annually, study shows*, disponible sur : <https://new.abb.com/news/detail/24879/abb-azipodr-electric-propulsion-can-save-17-million-in-fuel-costs-annually-study-shows>, 6 juin 2019.

[2] *ABB Azipod® takes marine propulsion to the North Pole and beyond*, disponible sur :

plusieurs cas d'importance, il garantit des rendements accrus et une puissance de sortie moteur supérieure à celle des systèmes conventionnels à de hautes fréquences fondamentales. Avec, à la clé, des économies sur les budgets investissement, exploitation et maintenance.

En combinant la commande prédictive par modèle et des séquences d'impulsions optimisées, le tandem ACS 6080-MP<sup>3</sup>C répond aux impératifs industriels de faibles distorsions de courant et de

## La technologie MP<sup>3</sup>C repousse les limites physiques du rendement et de l'optimisation des moteurs.

hautes performances dynamiques. De quoi ouvrir de nouvelles perspectives en matière d'essais sur banc aux industriels de la métallurgie, de l'extraction minière →09 et du transport maritime. La technologie MP<sup>3</sup>C repousse les limites physiques du rendement et de l'optimisation des moteurs, tout en conservant la dynamique et la robustesse de la commande DTC. •

<https://new.abb.com/news/detail/30623/abb-azipodr-takes-marine-propulsion-to-the-north-pole-and-beyond>, 23 août 2019.

[3] Rawlings, J. B., Mayne, D. Q., *Model Predictive Control: Theory, Computation and Design*, Nob Hill Publishing, Madison (Wisconsin, États-Unis), 2009.

[4] Geyer, T., et al., « Model Predictive Pulse Pattern Control »,

*IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 48, n° 2, p. 663-676, mars-avril 2012.

[5] Geyer, T., Oikonomou, N., « Model predictive pulse pattern control with very fast transient responses », *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, Pittsburgh* (Pennsylvanie, États-Unis), septembre 2014.





01

---

PRODUCTIVITÉ

# Automobile : les robots, jusqu'en bout de chaîne

En l'espace de quelques décennies, l'automatisation est devenue monnaie courante dans l'industrie automobile, notamment pour l'emboutissage, le soudage et la peinture des carrosseries, ou encore l'assemblage du moteur et de la transmission. Mais lui échappent encore les dernières étapes, aussi délicates que complexes, de la construction automobile : câblage, montage des roues, installation de nombreux autres composants, etc.

—  
01 Démonstrateur ABB d'une chaîne d'assemblage automobile robotisée

—  
02 L'asservissement visuel compliant s'appuie sur les retours des capteurs de vision pour compenser les mouvements et vibrations de la cible.

Les progrès de la recherche ABB en robotique et en vision industrielle se concrétisent dans des projets pilotes →01 qui ouvrent la voie à de nouvelles applications. Cet article présente des technologies

## L'asservissement visuel ABB utilise les retours d'un capteur de vision pour compenser les mouvements et les vibrations.

qui, initialement développées pour l'automobile, n'en profiteraient pas moins à d'autres secteurs où se rencontrent des cibles mouvantes. C'est notamment le cas de la logistique, qui fait grand usage de véhicules autoguidés (AGV).

Traditionnellement, l'industrie automobile tenait pour acquis qu'automatiser l'assemblage final d'un véhicule relevait de l'impossible. Elle ne s'est donc jamais préoccupée de rendre les composants associés compatibles avec les automatismes modernes. Résultat : les dernières étapes de la construction automobile font encore majoritairement appel à la dextérité humaine.

Sur une chaîne entièrement automatisée, comme un atelier de soudage, les pièces automobiles passent successivement d'un poste à l'autre. À l'inverse, en production manuelle, les éléments du châssis se déplacent à un rythme lent et continu sur des convoyeurs ou, dans les usines ou entrepôts les plus modernes, sur des AGV guidés par des câbles ou marquages au sol, par des signaux radio, ou encore par des caméras, aimants ou lasers. Sur bande transporteuse ou AGV, la vitesse de déplacement est d'environ 100 mm par seconde, ce qui est suffisamment lent pour que l'opérateur effectue l'assemblage en conditions sécuritaires.

Ce parcours est néanmoins semé d'embûches pour les robots, à commencer par l'irrégularité des systèmes de déplacement ainsi que des sols, source de vibrations et de secousses. Pour être à la hauteur de la performance humaine dans cet environnement, le robot doit disposer d'un système de vision artificielle. Or cette technologie se base aujourd'hui sur des positions de référence statiques, à partir desquelles sont calculées les positions cibles d'assemblage : une solution qui ne permet pas de gérer les secousses et vibrations subies par les châssis tout au long de la chaîne. Avec la fonction ABB de *tracking* visuel, le robot adapte en continu son mouvement en fonction des images de référence, captées 20 à 50 fois par seconde.

Cette fonctionnalité s'appuie sur la technique d'asservissement visuel →02, qui compense les mouvements et vibrations à l'aide des retours fournis par un capteur de vision. Au lieu de suivre un chemin programmé à l'avance, le robot se déplace en fonction des informations remontées par un ou plusieurs capteurs. Le protocole EGM (*External Guided Motion*) d'ABB peut rafraîchir les données de guidage toutes les 4 millisecondes, garantissant des délais de réponse très brefs.

Les robots ABB intègrent également un capteur de couple-force (*Integrated Force Control*), généralement placé entre l'outil et le poignet →02. Les retours de couple et de force issus des interactions avec la carrosserie (degré de compliance) aident le robot à adapter ses mouvements. L'association de ces deux techniques, asservissement visuel et guidage compliant, est un parfait exemple de la plus-value apportée par la combinaison en temps réel des informations issues de différents capteurs.

Au fur et à mesure que ces technologies gagnent en maturité, voyons ce à quoi ressemblerait un assemblage final entièrement automatisé. Schématiquement, il pourrait se décomposer en trois volets →03.

—  
**Josep Vilarrasa**  
**Jorge Vidal-Ribas**  
Robotics, Final Trim & Assembly  
Barcelone (Espagne)

josep.vilarrasa@es.abb.com  
jorge.vidal-ribas@es.abb.com

**Jordi Artigas**  
Robotics, Consumer Segment & Service Robotics  
Barcelone (Espagne)

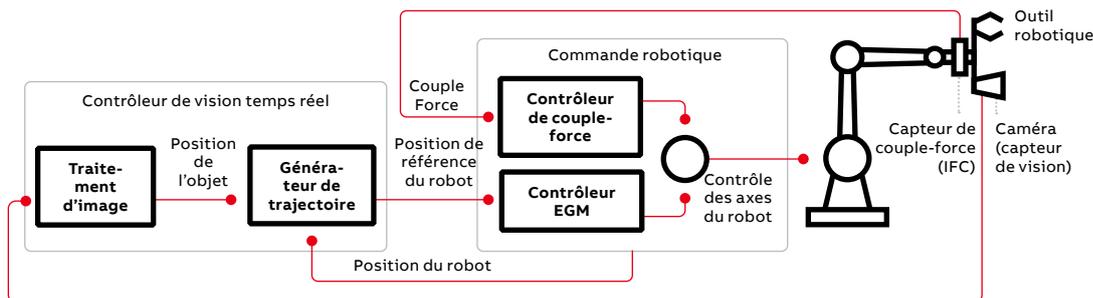
jordi.artigas@es.abb.com

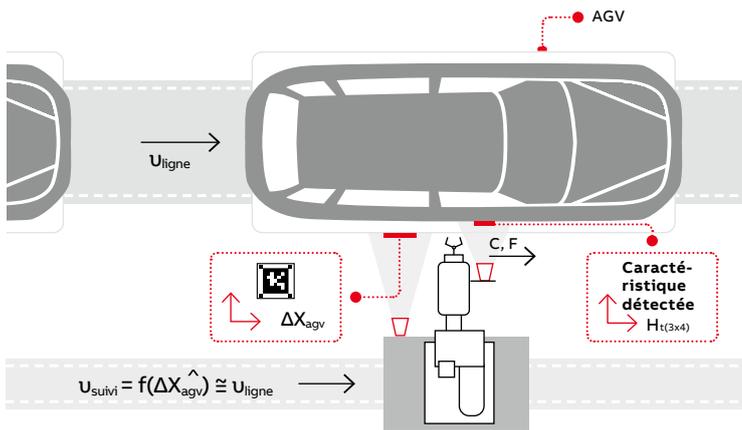
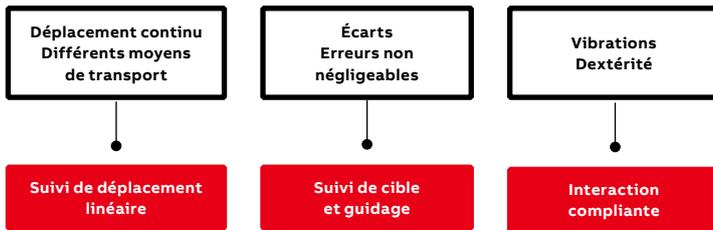
**Tomas Groth**  
Robotics & Discrete Automation Technology  
Västerås (Suède)

tomas.groth@se.abb.com

**Biao Zhang**  
ABB Robotics  
Raleigh (Caroline du Nord, États-Unis)

biao.zhang@us.abb.com



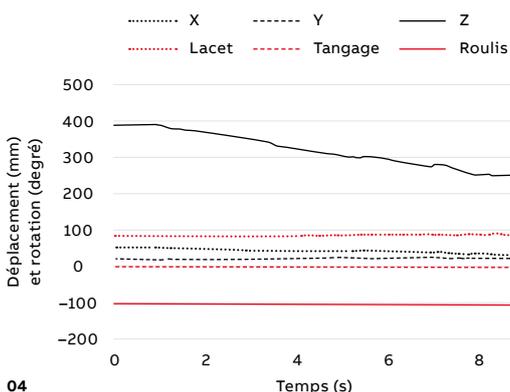


03

**Suivi de déplacement linéaire**

Le robot conçoit un environnement pseudo-statique à partir du déplacement principal d'une chaîne de montage. Généralement, les robots suivent les pièces progressant sur la chaîne à l'aide d'un codeur accouplé au déplacement du convoyeur. Or cette fonction n'est guère facile à mettre en œuvre pour des pièces de carrosserie transportées par AGV, car elle requiert des adaptations mécaniques.

C'est là que l'asservissement visuel d'ABB apporte son plus : le suivi de l'AGV s'effectue au moyen soit d'une balise 2D à longue portée « AprilTag », soit des caractéristiques visuelles du véhicule. L'AprilTag, développée par l'université du Michigan,



04

a l'avantage d'être facile à installer et robuste. Son principe de fonctionnement s'apparente à celui du code QR, mais sur une plus faible quantité de données. Cela la rend plus robuste et plus facile à détecter, avec à la clé une localisation plus précise et un traitement informatique accéléré.

Le tracking visuel s'appuie sur des caméras installées au sol ou sur le socle du robot quand ce dernier est lui-même monté sur un axe linéaire. Dans l'offre produits d'ABB, ce mouvement de translation (*Track Motion*) est mis en œuvre au moyen d'une servocommande linéaire qui étend le rayon d'action du robot. Ce type de déplacement est indispensable dans les procédés où le temps de contact entre la pièce ou le composant à monter et la carrosserie automobile est important.

Outre les AGV, la technologie Track Motion est compatible avec les convoyeurs classiques.

**Suivi de cible et guidage**

Une fois que le robot se trouve dans un environnement pseudo-statique, des vibrations, irrégularités et tolérances résiduelles viennent encore compliquer son parcours jusqu'à la cible d'assemblage. Il embarque une caméra, dont il connaît

— La fusion des retours des capteurs de vision, de couple et de force permet de garantir un assemblage optimal.

la position relative par rapport à la commande de couple-force, ce qui permet à la caméra d'effectuer la mise au point sur la position cible. Elle acquiert une image réelle →03 d'un point de la carrosserie du véhicule, dont elle connaît la position relative par rapport à la cible d'assemblage.

Comparativement à une balise AprilTag qui doit être installée puis déposée successivement à différents emplacements de la chaîne, cette solution a l'avantage de limiter les manipulations. Pour autant, le tracking visuel de cibles se déplaçant à grande vitesse reste une opération délicate, notamment quand il s'agit de gérer la diversité des couleurs et des conditions d'éclairage. La figure →04 décrit les différents mouvements d'un robot essayant de suivre une cible en temps réel.

**Interaction compliante**

Une fois la cible identifiée et le contact physique établi, le robot s'appuie sur les retours des capteurs de vision, de couple et de force pour procéder au montage →05. Cela implique de

—  
03 Les trois volets de l'automatisation de l'assemblage final dans l'automobile

—  
04 Suivi et correction en temps réel : le robot réagit aux informations renvoyées par les capteurs de vision et ajuste ses mouvements en conséquence.

—  
05 Montage de la porte et du poste de conduite

## ABB propose des applications pilotes comme l'assemblage du poste de conduite, le positionnement des tapis, des sièges ou encore le montage des portes.

conserver un contact visuel et de répondre avec souplesse aux informations renvoyées par le capteur de force monté entre l'outil et le poignet. Ce n'est qu'en « fusionnant » les données de vision, de couple et de force que l'assemblage est optimal.

Selon l'application, les deux exigences de suivi de cible et de compliance ne sont pas forcément nécessaires. Par exemple, si l'opération aval se fait en manuel, le robot n'a pas besoin de faire preuve d'une précision parfaite. De même, l'utilisation d'un convoyeur classique peut rendre superflu le suivi de déplacement.

### Et demain ?

On peut imaginer que de nouveaux concepts d'assemblage en statique verront le jour, rendant

caduques les technologies d'assemblage sur des chaînes en mouvement. Par exemple, les cellules facilement automatisables pourraient être regroupées en une seule fraction de chaîne entièrement automatisée, avançant de poste en poste. Autre possibilité : des cellules d'assemblage statiques qui gèreraient à la fois la logistique des composants et des véhicules au fur et à mesure de leur avancement sur la chaîne.

Pour autant, l'assemblage automatisé au fil de la chaîne n'a pas dit son dernier mot et la demande n'est pas près de s'éteindre. Si l'assemblage automobile en bout de ligne reste l'instigateur de ce type de technologies, une fois arrivées à maturité, celles-ci trouveront sans aucun doute des applications dans bien d'autres secteurs industriels. Citons par exemple les opérations logistiques avec cibles mouvantes de type AGV.

Pour le moment, ABB se concentre sur les constructeurs automobiles auxquels il propose déjà des applications pilotes comme l'assemblage du poste de conduite (bientôt en production), le positionnement des tapis, des sièges ou encore le montage des portes, entre autres. Les retours d'expérience de ces premières réalisations permettront d'affiner la compréhension d'autres processus similaires et, partant, d'améliorer encore la performance de l'industrie automobile. •





01

## LE MOT DU MOMENT

# Les procédés *batch* en quête d'optimum

S'il est un secteur dans lequel le Big data promet d'immenses progrès, c'est bien l'industrie des procédés semi-continus ou *batch*. En partenariat avec des clients spécialistes du domaine, ABB a conçu une solution dédiée : ABB Ability™ BatchInsight.



**Martin Hollender**  
ABB Industrial Automation,  
Corporate Research  
Ladenbourg (Allemagne)

[martin.hollender@de.abb.com](mailto:martin.hollender@de.abb.com)

ABB Ability™ BatchInsight exploite les données massives de la fabrication pour aider l'opérateur à déceler les lots défectueux et à y remédier, que ce soit hors ligne, a posteriori ou en temps réel.

Les procédés batch sont aussi dynamiques et agiles que non linéaires et complexes. Pour lisser la production et parer à tout défaut, BatchInsight se charge de détecter et de corriger en amont les problèmes pouvant altérer le lot en fabrication.

À partir des données historiques, il apprend le comportement attendu du procédé en conditions nominales de fonctionnement et bâtit un modèle statistique de lot de référence remplissant tous les objectifs de qualité et de productivité, ou « *golden batch* ». Tout écart par rapport à cet optimum déclenche une alarme opérateur.

La solution ABB a été testée au sein d'une usine chimique à l'aide d'historiques de production émulant une approche « en ligne », autrement dit

01 L'exploitation des données massives dans les procédés semi-continus promet des gains de productivité et d'efficacité énergétique.

02 Histogramme : contributions à l'écart de production par variable. Courbes du haut : écart dans le temps observé sur une variable particulière du procédé (en noir) par rapport à toutes les autres (en vert). Courbes du bas : contribution d'une variable sélectionnée dans le lot analysé (en bleu) par rapport au lot de référence (en gris).



02



avec des données de lot disponibles uniquement pour l'étape en cours. En l'occurrence, un modèle d'analyse en composantes principales particulière (*ACP multiway*) a permis de détecter la formation de mousse sur une fraction des lots. Sachant que l'entraînement du modèle s'était fait uniquement

**ABB Ability™ BatchInsight** participe au lissage et à l'exécution optimale de la fabrication par lots.

avec des lots dépourvus de mousse, BatchInsight a été capable dans 83 % des cas de prédire le défaut au moins 5 minutes avant son apparition, voire des heures à l'avance ! Restent quelque 20 % des prédictions qui se sont avérées fausses mais qui n'en sont pas moins très utiles pour aider l'opérateur à cibler les lots suspects. •

#### Recevoir *ABB Review*

##### S'abonner

Contactez votre correspondant ABB ou souscrivez en ligne sur [www.abb.com/abbreview](http://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](http://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 Schoenrock**  
Technology and Innovation

**Andreas Moglestue**  
Chief Editor, *ABB Review*  
[andreas.moglestue@ch.abb.com](mailto:andreas.moglestue@ch.abb.com)

##### Éditeur

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

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

Konica Minolta  
Marketing Services  
Londres  
(Royaume-Uni)

##### Traduction française

Cléa Blanchard  
[clea.blanchard@gmail.com](mailto:clea.blanchard@gmail.com)

##### Avertissement

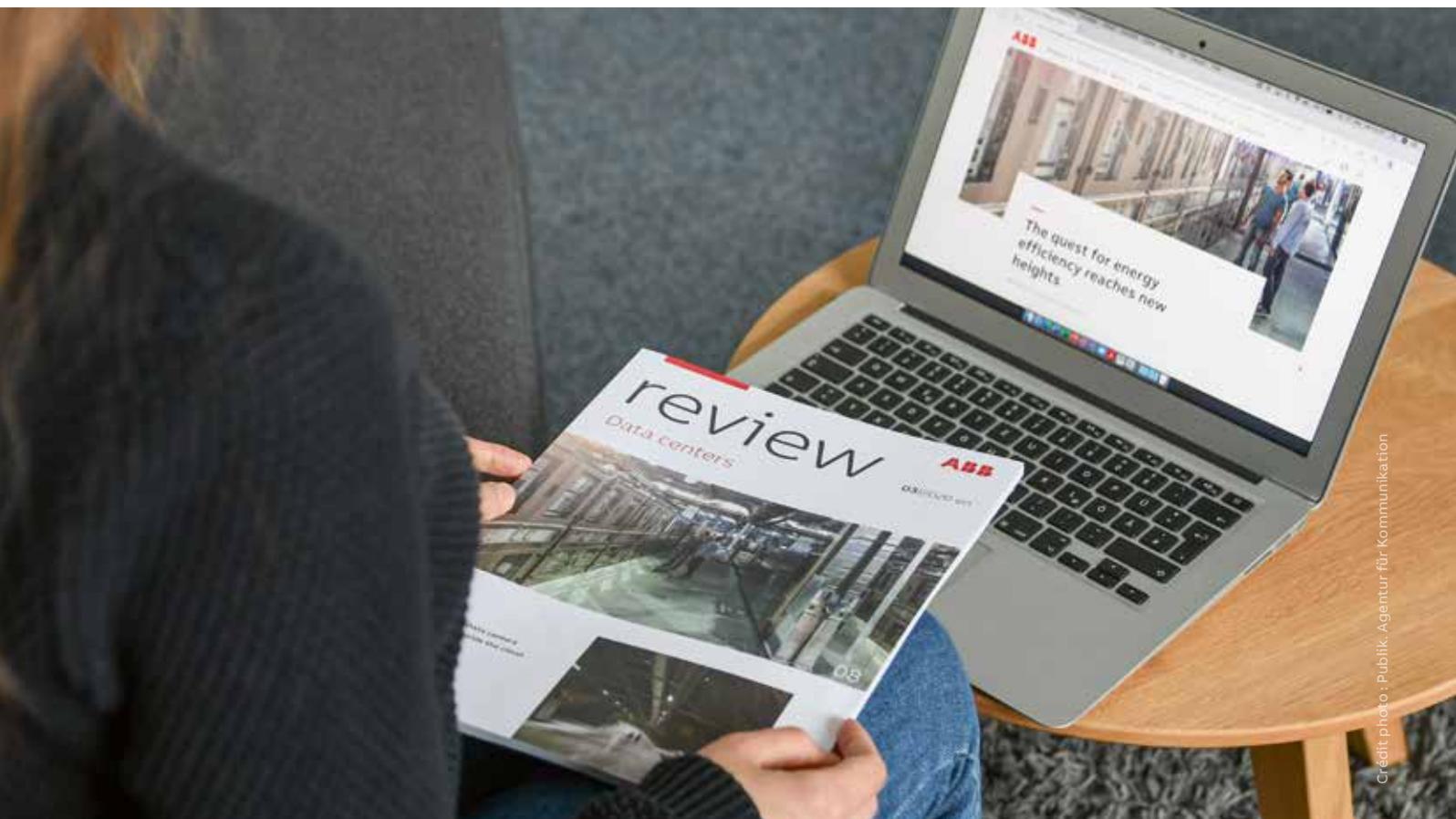
Les avis exprimés dans la présente publication n'engagent que leurs auteurs et sont donnés uniquement pour information. Le lecteur ne devra en aucun cas agir sur la base de ces écrits sans consulter un professionnel. Il est entendu que les auteurs ne fournissent aucun conseil ou point de vue technique 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](http://abb.com/abbreview)





Credit photo : Publik, Agentur für Kommunikation

---

# S'abonner et garder le contact

Peur de manquer un numéro ? Abonnez-vous à la version PDF ou papier sur notre site pour être informé par e-mail des nouvelles publications ou recevoir directement *ABB Review* dans votre boîte aux lettres.

Sur ce même site, retrouvez des extraits des dernières éditions, ainsi que l'intégralité des numéros depuis 1996 et une sélection d'articles remontant jusqu'à la naissance du magazine en 1914.



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

