

review

04|2018 fr

Autonomie collaborative



44



54

-
- 06 – 33 **Collaboration autonome**
 - 34 – 41 **Partenariats**
 - 42 – 61 **Mesure et contrôle**
 - 62 – 75 **Puissance**



Inspection des rouleaux de convoyeurs



Solutions intégrées pour le bâtiment

Protection contre les courts-circuits



Jumeau numérique et Industrie 4.0



L'avenir du capteur électrique

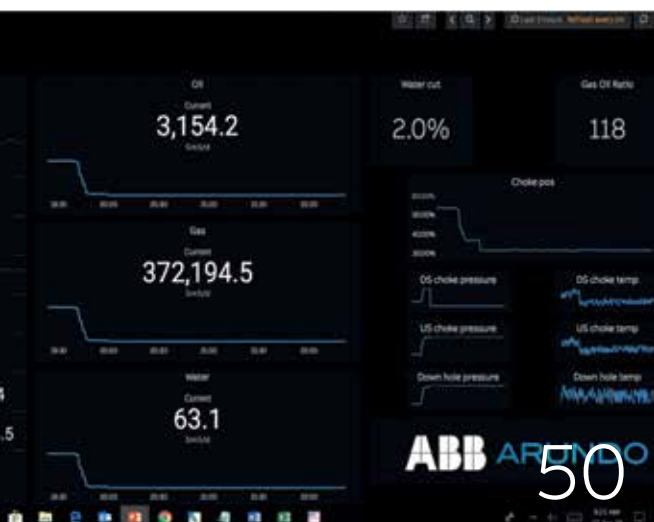




**Collaborations
université-entreprise**



**Personnalisation
à la chaîne**



Débitmètre multiphasique dans le Cloud

05 **Éditorial**

Collaboration autonome

- 08 **Systèmes autonomes**
- 12 **Personnalisation à la chaîne**
- 20 **Solutions intégrées pour le bâtiment**
- 27 **Jumeau numérique et Industrie 4.0**

Partenariats

- 36 **Collaborations université-entreprise**

Mesure et contrôle

- 44 **Inspection des rouleaux de convoyeurs**
- 50 **Débitmètre multiphasique dans le Cloud**
- 54 **L'avenir du capteur électrique**

Puissance

- 64 **Conversion CA-CCHT**
- 70 **Protection contre les courts-circuits**

Le mot du moment

- 76 ***Text mining***

- 77 **Publication ABB**

- 78 **Index 2018**

—
Si une montre peut fonctionner en totale autonomie des années durant, elle encaisse difficilement les changements de température, de latitude ou de fuseau horaire... Une variabilité qu'un système vraiment autonome est, à l'inverse, capable de prendre en compte pour évoluer avec son environnement. Ce numéro d'*ABB Review* explore les tenants et aboutissants de cette nouvelle dimension au service de l'industrie.

**Des remarques, des suggestions ?
abb.com/abbreview**

ÉDITORIAL

Autonomie collaborative



Chers lecteurs,

Si l'intelligence est la faculté de s'adapter au changement, elle reste pour l'instant largement propre à l'humain. En effet, le plus puissant des programmes de jeu d'échecs peut anticiper de nombreux coups et surclasser les meilleurs joueurs, mais est complètement perdu si on lui change la donne.

Faire émerger des systèmes autonomes dans les secteurs de l'industrie et de l'énergie ne se résume donc pas à augmenter la puissance de calcul pour gérer la complexité ; il s'agit de créer des systèmes capables de s'adapter au changement et d'apprendre de leur environnement. Le champ d'action des systèmes d'automatismes s'élargira au fur et à mesure de leur « autonomisation ».

Puisse ce numéro d'*ABB Review* vous éclairer sur les vastes potentialités de cette transition.

Bonne lecture,

A stylized, handwritten signature in red ink, appearing to read 'Bazmi Husain'.

Bazmi Husain
Directeur des technologies

Collabora autonomous





20

ation

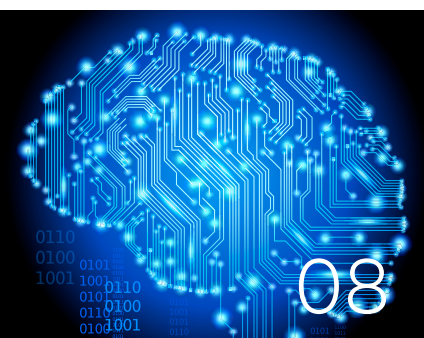
e

Un outil de production capable de se reconfigurer à chaque nouveau produit, sans intervention humaine ? Des modèles d'information unifiés spécifiant les caractéristiques du produit et les procédés mis en œuvre à toutes les étapes de son cycle de vie ? La collaboration autonome promet de révolutionner l'édifice industriel. ABB en est l'un des grands architectes.

- 08 Systèmes autonomes
- 12 Personnalisation à la chaîne
- 20 Intégrer les automatismes du bâtiment
- 27 Le jumeau numérique, artisan logiciel de l'industrie du futur



27



08

COLLABORATION AUTONOME

Systemes autonomes

Le terme « système autonome » est fréquemment employé (souvent à tort) pour désigner un système capable de moduler son comportement, sans intervention humaine, en réaction à un événement inattendu survenant en cours de fonctionnement [1]. Nous proposons dans cet article une définition plus large, dont l'objectif est de contribuer au débat sur le futur de l'automatisation industrielle.



Thomas Gamer
ABB Corporate Research,
Ladenbourg (Allemagne)

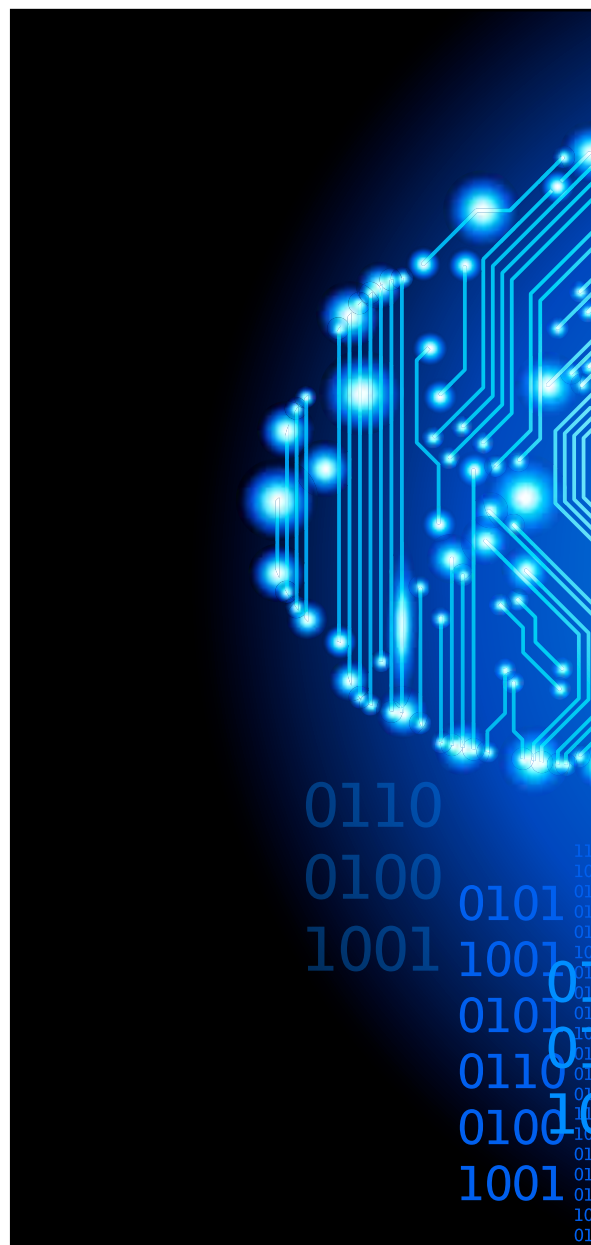
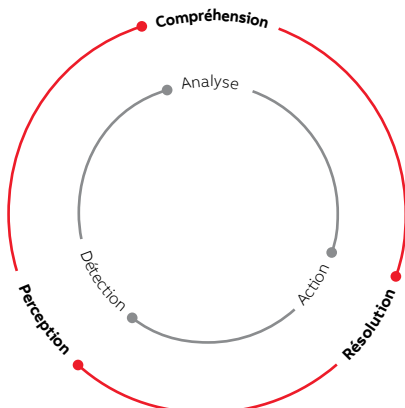
thomas.gamer@de.abb.com



Alf Isaksson
ABB Corporate Research,
Västerås (Suède)

alf.isaksson@se.abb.com

Un système qui réagit en temps réel à des variables d'entrée ? Rien de nouveau sous le soleil : c'est par exemple le cas de nombreuses fonctions d'aide à la conduite automobile, comme le contrôle électronique de stabilité (ESC) ou l'antiblocage de sécurité (ABS). Si les algorithmes sont capables de jongler avec de multiples entrées, non sans difficulté, ces données sont bien cadrées, et la palette d'actions est limitée. Une voiture sans conducteur doit par contre gérer des informations nettement moins structurées, et réagir à un plus large éventail de situations. Son algorithme saura ainsi anticiper le comportement de n'importe quel véhicule ou piéton, souvent imprévisible, en tenant compte du tracé de la route, de la météo et de toute condition que les programmeurs n'auront pas forcément prévue.



—
01 Boucles de commande
d'un système classique
(en gris) et autonome
(en rouge)

En temps normal, un système d'automatisation n'a pas besoin de l'homme pour piloter un procédé, mais il lui faut sa validation pour exécuter les

L'IA est un moyen d'atteindre une certaine autonomie, le système autonome en est le résultat.

tâches complexes. Accroître l'autonomie d'un automatisme consiste donc à lui déléguer de plus en plus de tâches.

Qu'est-ce qu'un système autonome ?

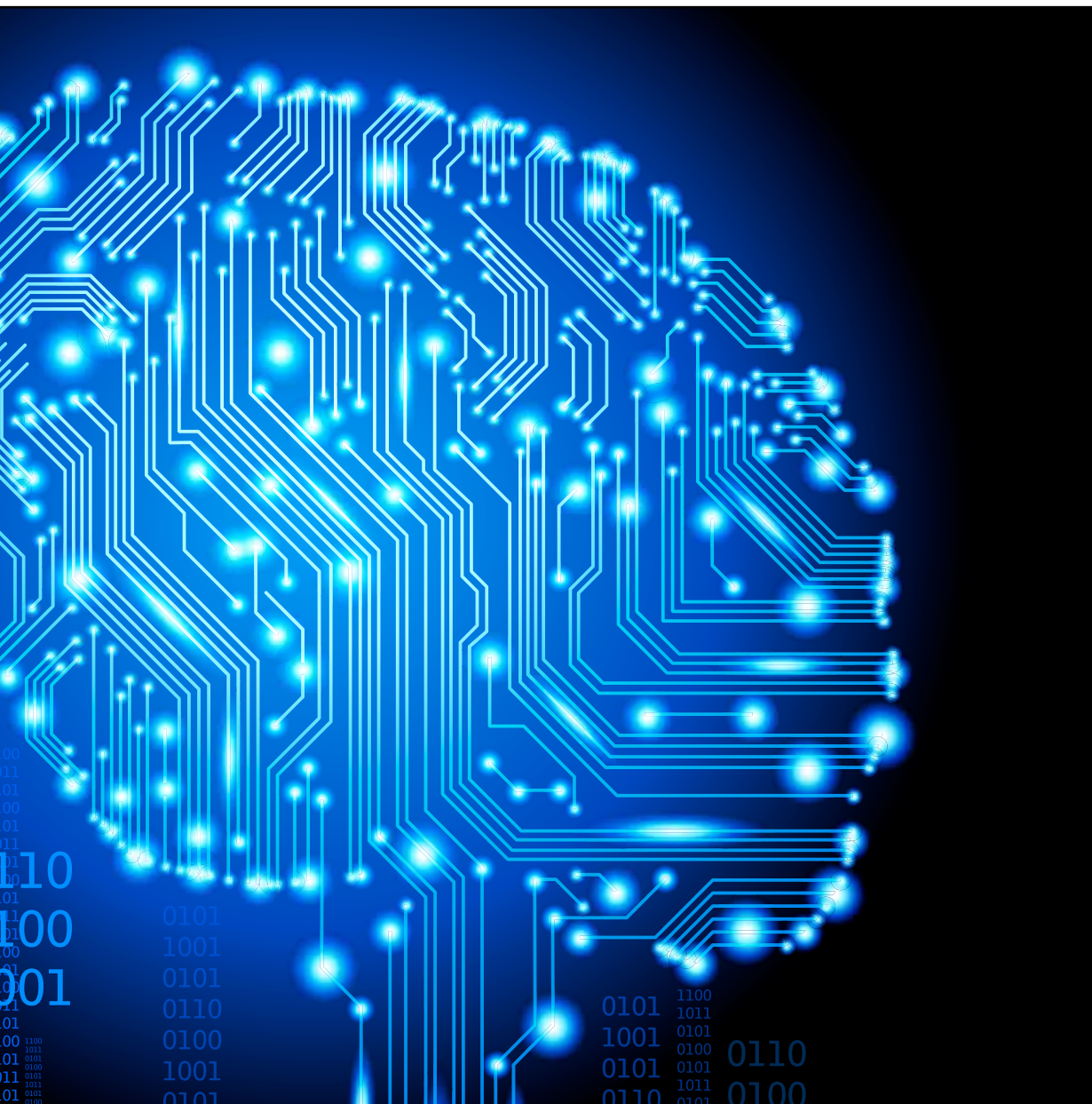
Bon nombre des informations nécessaires à une plus grande autonomie sont déjà disponibles et numérisées : les données remontées du procédé et des capteurs en automatisation classique, mais aussi celles fournies par la vidéosurveillance, la veille météorologique ou encore le marché.

L'intelligence artificielle (IA) est un outil précieux à cet égard. On confond souvent IA et système autonome : l'IA est un moyen d'atteindre une

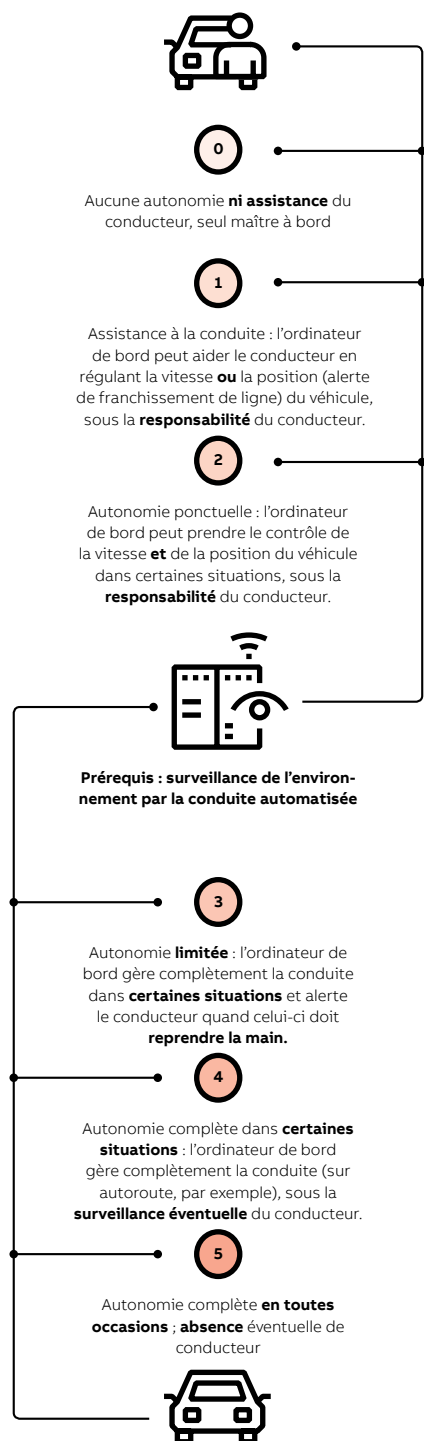
certaine autonomie, le système autonome en est le résultat.

Nombre de données nécessaires à une plus grande autonomie sont déjà disponibles en numérique.

Un système d'automatisation se contente habituellement d'exécuter des instructions précises, avec un champ d'action limité. La boucle de contrôle-commande se décompose en trois étapes : détection, analyse, action. Par exemple, si un moteur tourne trop vite (détection), la commande décide de réduire la vitesse (analyse) et diminue le courant alimentant le moteur (action). La boucle de rétroaction d'un système autonome reprend le même principe mais lui ajoute une complexité supplémentaire afin de gérer l'inconnu ou l'imprévu. Exemple : une voiture autonome voit un obstacle (perception), identifie ce danger potentiel (compréhension) et modifie en conséquence sa vitesse et sa trajectoire (résolution) →1.



02



Sur la voie de l'autonomisation

Si l'on veut définir les différentes étapes de la transition vers les systèmes autonomes, il faut une classification qui permette aux fournisseurs d'automatismes comme aux clients de savoir où ils en sont et quels sont leurs objectifs à court, moyen et long terme. Nous proposons ici six niveaux d'autonomie, inspirés de l'industrie automobile →2,3, qui s'appuient sur le périmètre d'automatisation et le rôle de l'humain.

La boucle de rétroaction d'un système autonome ajoute un niveau de complexité supplémentaire.

Le niveau 0 correspond à l'absence d'autonomie (mais n'exclut pas la présence d'automatismes de base) tandis que le niveau 5 équivaut à un fonctionnement entièrement automatisé, le système décidant et s'acquittant de sa tâche tout seul.

Au niveau 1, le système fournit une aide à la décision ou assiste l'opérateur à distance. C'est par exemple le cas des logiciels de géolocalisation de véhicules miniers souterrains ou des outils d'aide à la navigation maritime (radars, lasers) →4.

Au niveau 2, le système intervient dans certaines situations, à la demande de l'opérateur et pour une durée limitée. L'homme demeure très présent, surveillant le fonctionnement du système et fixant les limites des situations d'autonomie. C'est l'exemple d'un pilote automatique qui gère la vitesse du navire et tient le cap, mais toujours sous l'œil vigilant du capitaine.

Au niveau 3, le système prend les rênes dans certaines situations, en « autonomie limitée » : l'opérateur lui passe les commandes et se contente de confirmer ses propositions ou de reprendre la main en secours. Condition indispensable : a surveillance complète et automatisée de l'environnement. Le forage et le suivi du placement de charges explosives dans une mine souterraine →5 constituent un exemple de séquence d'actions autonomes. L'opérateur (distant) peut toujours

0	Aucune autonomie du procédé ni assistance de l'opérateur, qui garde la main
1	Assistance à la commande ou exécution de tâches secondaires, sous la responsabilité de l'opérateur qui fixe les consignes
2	Autonomie ponctuelle dans certaines tâches, sous la responsabilité de l'opérateur qui fixe les objectifs
Prérequis : surveillance de l'environnement par le système automatisé	
3	Autonomie limitée dans certaines situations : en cas de problème, le système avertit l'opérateur, qui valide la solution proposée ou reprend la main
4	Autonomie complète dans certaines situations, sous la surveillance éventuelle de l'opérateur
5	Autonomie complète en toutes occasions ; absence éventuelle d'opérateur

03

—
02 Niveaux d'autonomie
d'une voiture sans
conducteur

—
03 Niveaux d'autonomie
en automatisation
industrielle

—
04 Solution d'aide à la
navigation maritime
ABB Ability™ Marine
Pilot Vision

—
05 Robot de
chargement dans une
mine souterraine (photo :
projet européen SIMS)

—
Bibliographie
[1] Watson, D. P., Scheidt,
D. H., *Autonomous
Systems*, Johns Hopkins
Applied Physics
Laboratory Technical
Digest, vol. 26, n° 4, 2005.

reprandre la main en cas d'alerte ou confirmer la stratégie suggérée par le système.

Au niveau 4, le système gère intégralement une situation donnée et est capable de tirer les leçons de l'expérience pour améliorer ses prédictions et résoudre certains problèmes. C'est le cas d'un navire qui accosterait tout seul, le capitaine se contentant de superviser la manœuvre.

ABB propose une classification à six niveaux.

Le niveau 5 correspond à un fonctionnement 100 % autonome en toutes circonstances, sans intervention ni même présence humaine. Si le scénario relève encore de la science-fiction, on peut entrevoir les gains de sécurité et de productivité qu'offrirait un engin minier chargeant et remontant le minerai à la surface, en parfaite autonomie.

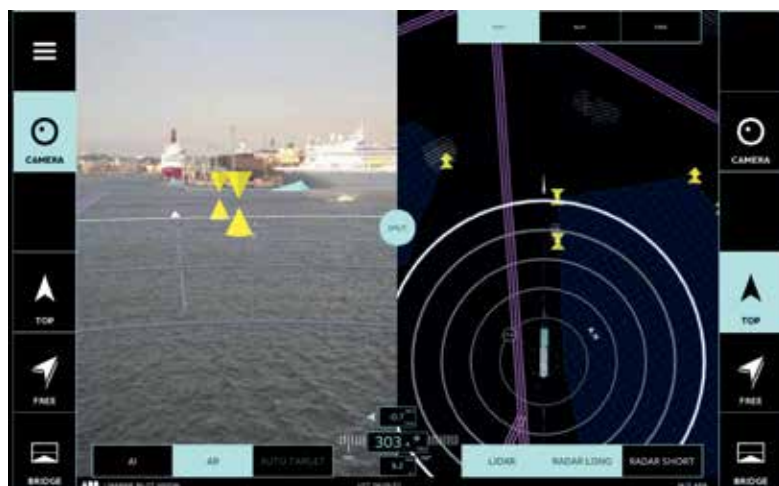
Il existe une démarcation nette entre le groupe des niveaux 0 à 2 et celui des niveaux 3 à 5 : dans le premier, l'autonomie est possible mais limitée, l'opérateur gardant le contrôle en permanence ; dans le second, c'est le système qui est aux commandes, l'opérateur étant le plus souvent passif.

Cela étant, les questions juridiques (qui est responsable en cas d'accident impliquant une voiture sans conducteur ?) restent entières. La réglementation comme l'opinion publique devront évoluer pour accepter cette nouvelle donne.

Pour l'heure, qui dit « autonomie » évoque d'emblée la voiture autonome ; pour un industriel comme ABB, ce sont des navires, des robots mobiles, des grues portuaires et des engins miniers, etc., qui sont visés. Le Groupe anticipe également une percée de l'autonomie dans d'autres pans d'activités : process, réseau électrique, bâtiment, etc.

Les questions juridiques soulevées par les systèmes autonomes restent entières.

La classification des niveaux d'autonomie →3 a vocation à être précisée suivant l'application cible. Outre l'intérêt taxonomique, disposer d'une classification détaillée peut aider les entreprises à se situer sur cette échelle, à identifier le niveau à atteindre et à repérer les obstacles pour y parvenir. Le niveau visé dépendra de l'acceptabilité sociale de chaque solution, notamment le rapport risques/bénéfices, des problématiques de responsabilité et de la maturité des technologies à l'œuvre. ●



04



05

COLLABORATION AUTONOME

Personnalisation à la chaîne

Après la personnalisation de masse, la fabrication en séries limitées à un seul produit est la dernière tendance du secteur manufacturier. Mais pour être efficace et rentable, ce mode de production doit s'adapter automatiquement à n'importe quelle demande spécifique du client, sans intervention humaine, et livrer en bout de chaîne un produit de qualité irréprochable. Comment concilier ce double défi ?



Dirk Schulz
ABB Corporate Research
Ladenbourg (Allemagne)
dirk.schulz@de.abb.com



Lars Simora
Busch-Jaeger Elektro
Ladenbourg (Allemagne)
lars.simora@de.abb.com

Dans l'automobile comme dans la grande consommation, la fabrication à la demande de produits sur mesure, à l'unité, est l'un des leviers de croissance de l'usine automatisée et connectée.

L'élément de commande « intelligente » du bâtiment KNX ABB-tacteo®, dont le client peut façonner le design à son goût et les fonctionnalités à ses usages [1], en est une bonne illustration. Sous réserve toutefois de remplir deux conditions : pour être rentable, la production doit s'adapter automatiquement à n'importe quel produit conçu à l'unité ; de même, en l'absence de fabrication de pièces détachées, la qualité doit être sans faille. Autre obstacle : lorsqu'il s'agit de concevoir la chaîne de fabrication ad hoc, force est de constater que les grands principes de l'intégration industrielle n'offrent ni la flexibilité ni le contrôle qualité désirés. Les nouveaux concepts de l'industrie du futur, tels que le jumeau numérique et la communication entre machines (M2M), notamment sous protocole OPC UA1 →1, viennent à la rescousse des concepteurs ABB et de leur partenaire intégrateur neogramm GmbH.

Fabrication à la demande : pari réussi pour ABB-tacteo

ABB-tacteo est un élément de commande capacitif →2 destiné à la gestion automatisée des bâtiments de l'hôtellerie de luxe, du résidentiel et du tertiaire haut de gamme.

La personnalisation de masse est la grande tendance de l'industrie manufacturière.

Au-delà de son design moderne et soigné, ce capteur en verre se distingue par un confort et une facilité d'emploi exceptionnels : la commande des volets, de l'éclairage, du chauffage, des fonctions multimédia et des contrôles d'accès est un jeu d'enfant.





01

—
01 Étape de fabrication de la commande personnalisable KNX ABB-tacteo pour automatismes du bâtiment : si la chaîne traditionnelle peine à produire des lots de taille réduite, l'usine 4.0 et ses concepts fondamentaux, comme le jumeau numérique et la communication entre machines, ont la souplesse requise pour fabriquer en masse des articles à l'unité.

—
Note
1) OPC UA (*Unified Architecture*) est la dernière génération de protocole de communication industrielle. Établi par la Fondation OPC, ce modèle unifié, ouvert et normalisé se distingue des autres standards d'échange d'informations entre machines par la puissance et l'universalité de ses fonctions de modélisation (de la scrutation périodique à l'interrogation événementielle, des connexions point à point aux transferts en mode publication / souscription, etc.) ainsi que par la richesse de ses descriptions structurales et sémantiques.

Le nombre de fonctionnalités disponibles s'adapte aux souhaits et besoins spécifiques du client. Personnalisable en ligne, chaque capteur est unique dans son exécution comme dans sa programmation.

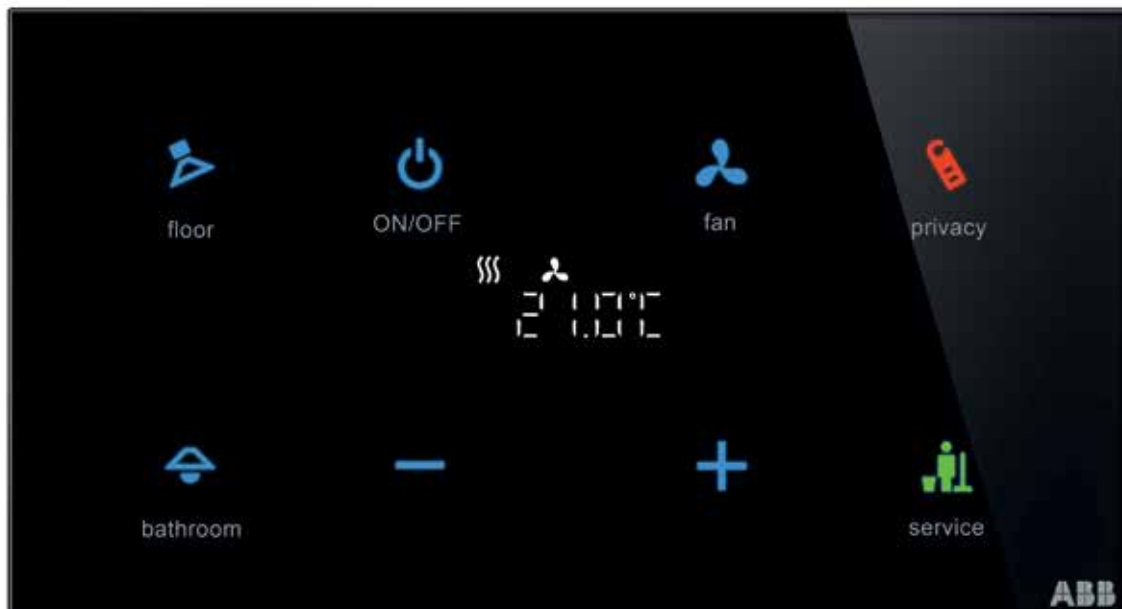
L'utilisateur final est libre de concevoir son appareil sur mesure tout en continuant à s'appuyer sur la chaîne de valeur traditionnelle →3, que ce soient les grossistes qui distribuent le produit ou les spécialistes de l'immobilier qui installent et intègrent les automatismes du bâtiment au gré des besoins.

ABB-tacteo se compose d'un verre de haute qualité, revêtu d'une surface opaque sur laquelle s'affichent les symboles des fonctions choisies, et d'une électronique de commande KNX. La fabrication se déroule en trois temps : après avoir installé les panneaux de verre sur un

plateau, une machine de découpe laser proche de l'infrarouge (PIR) grave les symboles de l'application dans le revêtement opaque, puis une imprimante 3D y applique une couche translucide →4a,b. Après séchage →4c, les composants électroniques sont assemblés et montés au dos →4d-f. Enfin, le produit fini est testé avant expédition au grossiste.

—
L'utilisateur est libre de concevoir son produit sur mesure tout en tirant parti de la chaîne de valeur traditionnelle.

Toutes les caractéristiques physiques, électromécaniques et logicielles de la commande KNX sont ainsi entièrement personnalisables.



02

Qualité sur toute la ligne

Nombreuses sont les innovations portées par l'initiative Industrie 4.0, comme les machines autonomes, capables de « s'entendre » sur le planning de production, ou les produits communicants qui savent se diriger d'eux-mêmes d'un poste à l'autre de la chaîne. Reste à déterminer les concepts utiles à un environnement de production donné.

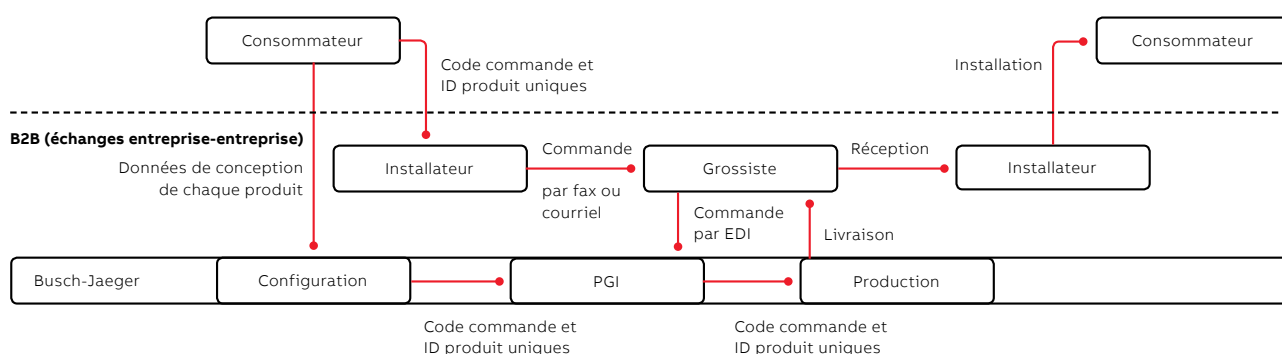
La production personnalisée oblige à détecter les défauts de fabrication le plus en amont possible, voire à les éviter !

Compte tenu de la liberté de conception dont jouit ici l'utilisateur, chaque élément de commande est potentiellement unique. La qualité se hisse au premier rang des priorités mais aussi des difficultés : en cas d'anomalie, il faut refabriquer de A à Z l'article défectueux, ce qui retarde l'exécution de la commande client.

De nos jours, l'absence de numérisation est un important facteur de non-qualité : les matériaux sont livrés et transportés manuellement, suivant des ordres consignés sur bordereaux papier. Les erreurs sont légion et difficiles à détecter. Certes, les données de conception sont numérisées, mais elles sont encore transmises manuellement aux machines, sur supports amovibles. À défaut d'être saisies, les données qualité (étalonnage des machines, par exemple) échappent à l'audit lorsqu'un contrôle final révèle une non-conformité.

Or la production personnalisée oblige à détecter ces défauts le plus tôt possible, voire carrément à les éviter. D'où l'impératif d'adaptabilité mais aussi de résilience, dans un contexte permanent de collaboration étroite, transparente et rétroactive homme-machine.

B2C (échanges entreprise-consommateur)



03

—
02 Capteur KNX
ABB-tacteo

—
03 Chaîne de valeur
intégrée : tous les
maillons sont liés et leurs
opérations tracées par un
même identifiant produit
et code commande.

—
04 Étapes de la
fabrication
04a Installation des
panneaux de verre sur
plateau
04b Découpe laser des
symboles
04c Séchage après
impression 3D
04d Assemblage
manuel des composants
électroniques
04e Montage de
l'électronique
04f Capteur assemblé

Doubles numériques

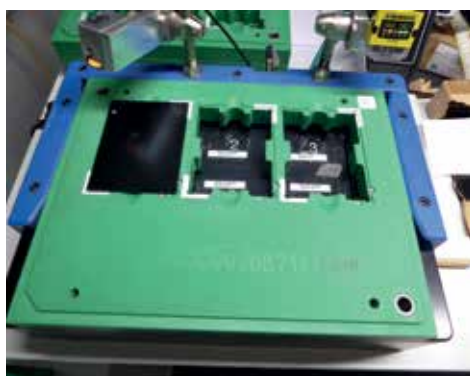
Le sur-mesure repose sur des machines de production à la fois adaptatives et interopérables. Si des technologies comme la découpe au laser PIR ou l'impression 3D sont opérationnelles, les machines doivent encore apprendre à travailler ensemble pour atteindre les niveaux de performance et de qualité exigés.

Les machines industrielles sont aujourd'hui câblées ou couplées à l'aide de programmes d'automatisme : cette intégration étroite se fait au prix de gros efforts, sans pour autant procurer la flexibilité suffisante pour traiter de nouvelles variantes produit, sauf à les prendre en compte dès le départ. Qui dit production réellement adaptative implique un couplage beaucoup plus souple des machines de façon à pouvoir reconfigurer sans peine l'ensemble de la chaîne.

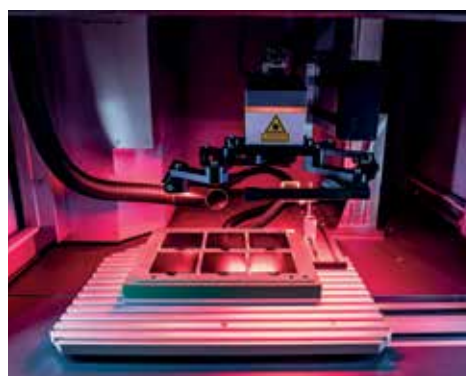
C'est là qu'entre en jeu le jumeau numérique [2] qui reproduit toutes les spécificités de chaque machine, dans un format commun à l'ensemble du réseau de connexions, câblées ou logiques. On évite ainsi une rupture du « fil numérique » puisque les données de conception, de commande et de qualité sont représentées à l'identique.

**Les reconfigurations logicielles
sont directement transposées
dans l'atelier et les données
qualité reproduites dans
le logiciel.**

En orchestrant ces doubles virtuels, basés sur la conception du produit commandé, les reconfigurations logicielles sont directement transposées dans l'atelier, et les données qualité reproduites dans le logiciel.



04a



04b



04c



04d



04e



04f

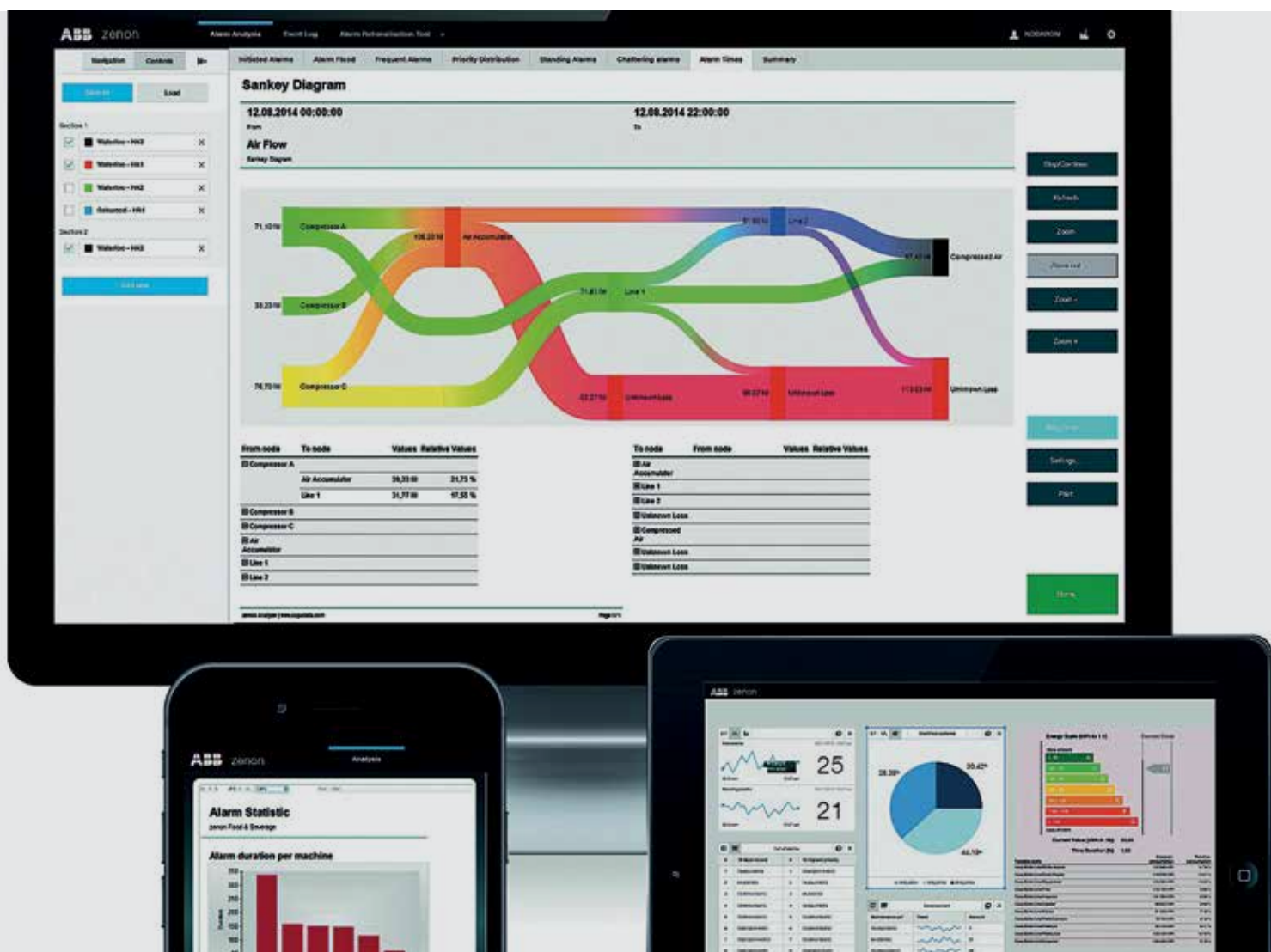
La commande KNX ABB-tactéo applique ce principe à chaque étape de sa fabrication. Dès son arrivée, le panneau de verre est automatiquement scanné et identifié : ce « sésame » autorise son

Réaliser un jumeau numérique passe d'abord par la création d'un modèle de données OPC UA, à partir des étapes de production requises.

passage à l'étape suivante avec les données de conception et les paramètres du procédé. La machine se met alors en relation avec le service de gestion des données opérationnelles ABB Ability™ zenon →5a, qui renvoie automatiquement la recette du produit fournie par le progiciel de gestion intégré (PGI) et conserve l'historique de production du panneau.

Une fois le verre découpé et traité, l'information est renvoyée au gestionnaire avec les données utiles au suivi qualité. Le panneau passe alors à l'étape suivante, selon les instructions d'ABB zenon, également transmises à l'interface homme-machine. En temps normal, les opérateurs postés interagissent avec la machine sur écrans Automation Panel 900 de B&R2 →5c. Les opérations manuelles (transport, etc.) sont guidées et supervisées par électronique.

Par exemple, un panneau de verre introduit dans l'imprimante 3D avant d'être découpé au laser est automatiquement rejeté, et l'opérateur invité à repasser par la machine laser. Si des panneaux arrivent sur une imprimante hors service, l'imprimante en ordre de marche reçoit obligatoirement les données matricielles correspondant bien aux symboles gravés dans le verre. Avant de quitter ce poste, l'étalonnage de l'imprimante utilisée est enregistré. Il en va de même en phase d'essais automatiques pour



—
05 Produits et solutions
ABB associés au capteur
KNX ABB-tacteo

—
Note
2) L'Allemand B&R, qui
a intégré le giron d'ABB
en juillet 2017, est le
premier constructeur
indépendant de machines
et d'automatismes
industriels au monde,
spécialisé dans les
architectures matérielles
et logicielles ouvertes. Ce
partenariat stratégique
fait du Groupe le seul
offreur de solutions
d'automatisation
pour le process et le
manufacturier couvrant
tout l'éventail des
matériels et logiciels de
mesure, de contrôle-
commande, de robotique,
de numérisation et
d'électrification.

réglér la luminosité du symbole sur le produit.
Cette traçabilité permet de remonter aux causes
potentielles d'une anomalie (machines, paramètres
de fabrication, etc.), de repérer instantanément
la non-qualité, de retirer automatiquement les
produits défectueux de la chaîne et de relancer la
production sur de bonnes bases.

—
Grâce à ABB Ability™ zenon,
la non-qualité est tout de
suite repérée et le produit
défectueux automatiquement
retiré de la production.

Pour faciliter ce travail collaboratif entre outils de
production, services et opérateurs, les machines
et leurs jumeaux numériques sont conçus sur un
modèle commun →6, qui facilite leur ajout ou leur
remplacement, puisqu'ils se greffent naturellement
à l'existant.

Au niveau de la fabrication, ABB-tacteo a tout d'un
produit intelligent : l'identifiant de chaque verre
est le fil pilote de sa production, mais aussi la
mémoire globale du produit qui, par rétroaction,
permet de boucler le cycle de la qualité.

Le gestionnaire de données
ABB Ability™ zenon orchestre
en toute sécurité la
supervision, la conduite,
l'acquisition des données,
l'ordonnancement et le suivi
de performances des actifs
industriels, de la machine
individuelle à la ligne de
production complète. Dans le
projet KNX ABB-tacteo, zenon
pilote la chaîne de fabrication
grâce à ses fonctions de
supervision et de contrôle-
commande, et à sa
connectivité OPC UA.



La gamme de commandes
programmables AC500 d'ABB
est une puissante plate-forme
éprouvée de conception et de
déploiement de solutions
d'automatisation souples,
économiques et évolutives.
Au sein du projet ABB-tacteo,
l'API fournit le jumeau
numérique de machines
comme le laser PIR, qu'il
« encapsule » derrière une
passerelle OPC UA.

05b



B&R Automation Panel 900
est une gamme d'écrans
opérateur répondant aux plus
grandes exigences de la
communication industrielle.
Installée sur tous les
principaux postes de la ligne
de production, c'est l'interface
homme-machine par
excellence de la solution
ABB-tacteo.

05c

—
06 Éléments constitutifs du modèle de données de la machine physique et de son jumeau numérique sur OPC UA

—
07 Flux matières et communication M2M orientée services, par l'intermédiaire de jumeaux numériques : l'idée est de faire dialoguer et interagir logiciels et matériels sur un réseau « intranet des objets », via leurs doubles numériques, avec les mêmes techniques que celles employées par leurs équivalents physiques.

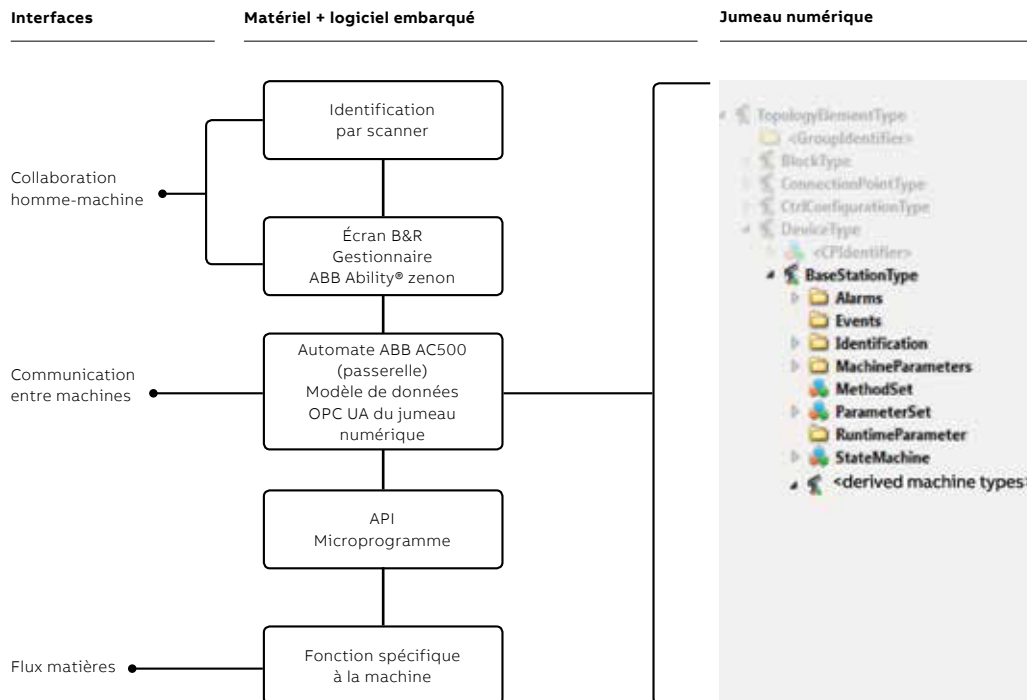
Conception des jumeaux numériques

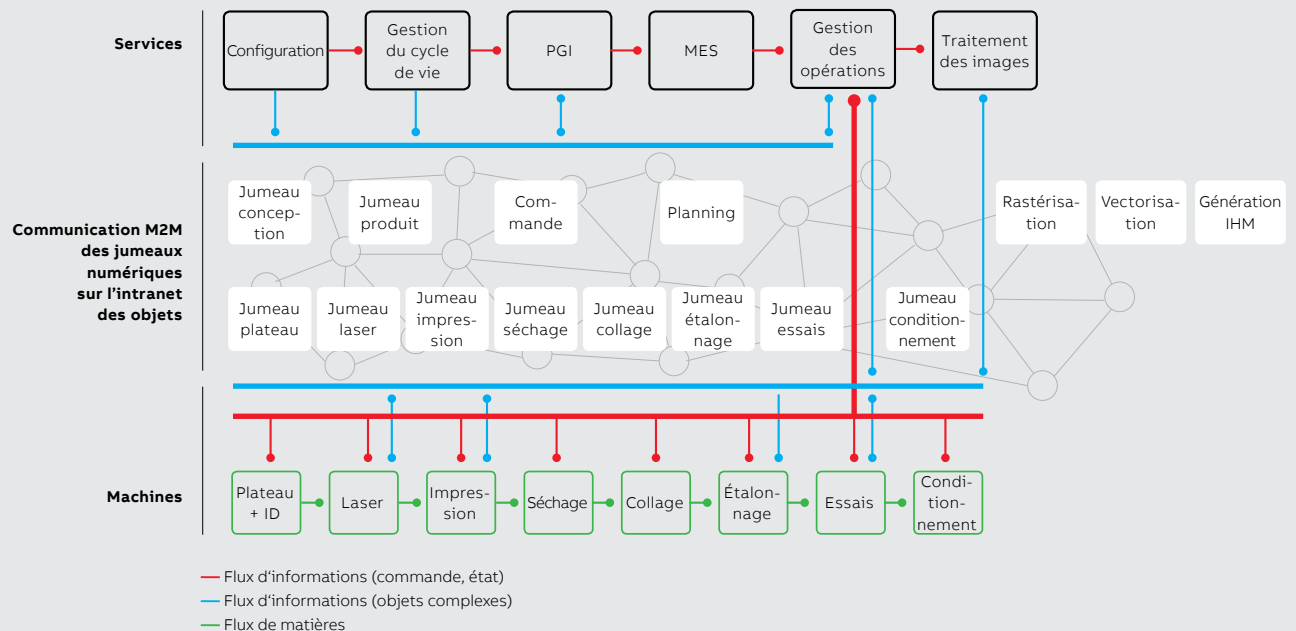
La fabrication s'appuie sur des données très hétérogènes. Certaines se rapportent à la conception du produit, d'autres au produit fini, ou encore à une machine spécifique ; il peut aussi s'agir de descriptions communes à tous les éléments de la chaîne.

—
Les machines spécialisées doivent apprendre tout naturellement à travailler ensemble.

À chaque conception de produit correspondent, par exemple, des caractéristiques indépendantes de la machine (agencement des symboles de commande), des propriétés génériques de la machine (état de marche), de même que des données machine indépendantes du produit (étalonnage de l'imprimante). Cette conception est traduite en objets numériques propres à la machine, comme les symboles pixelisés. Chaque fabrication s'accompagne de résultats d'essais.

La meilleure méthode pour créer de tels doubles numériques est encore de commencer par bâtir un modèle de données OPC UA, selon une approche descendante, en partant des étapes de production requises (centre de →7). Ce n'est qu'à l'étape suivante que le modèle se scinde et que ses éléments se répartissent entre les différentes ressources de l'usine (machines et services logiciels). Pour moderniser l'existant avec ce modèle, le mieux est d'encapsuler ces données, à l'aide d'un automate ABB AC500 →5b faisant office de passerelle OPC UA embarquée. Une collaboration étroite entre concepteurs, intégrateur et constructeurs de machines est alors primordiale pour s'assurer que l'ensemble s'interconnecte facilement dans l'atelier en vue de former le système de production souhaité.





Bibliographie

[1] Site web « Capteur ABB-tacteo® », disponible sur : <https://new.abb.com/low-voltage/fr-ch/produits/home-and-building-automation/product-range/abb-i-bus-knx/produits/fonctionnement-utilisateur/sensor-knx-abb-tacteo>

[2] « Le jumeau numérique, artisan logiciel de l'industrie du futur », *ABB Review*, 4/2018, p. 27-33.

Le virage de l'Industrie 4.0

La conception de la ligne de production ABB-tacteo a permis de mieux cerner les besoins des constructeurs de machines et des concepteurs en route pour l'usine 4.0. La fabrication personnalisée en particulier exige de la solution d'automatisation un contrôle qualité sans concession et une reconfiguration automatique. Des défis que peuvent relever les concepts fondamentaux de l'industrie du futur comme les jumeaux numériques, les objets communicants et l'interopérabilité M2M avec OPC UA.

Si ce nouveau mode de production nécessite pour l'instant d'importantes mises de fonds, les solutions futures doivent s'adosser à des budgets d'investissement annuels pour asseoir leur compétitivité.

Il est à cette fin impératif que les machines spécialisées apprennent tout naturellement à travailler ensemble. Les fournisseurs d'automatismes doivent proposer des processus, outils et standards facilitant la tâche des concepteurs, fabricants et intégrateurs pour leur permettre de réaliser leurs jumeaux numériques en autonomie, puis d'exécuter des tests d'intégration virtuels avant même de fabriquer et de mettre en service les machines réelles.

L'objectif n'est pas de faire de l'usine 4.0 un bastion de l'innovation high-tech mais une solution largement déployée et ouverte à toutes les échelles.

Des produits haut de gamme comme la commande KNX ABB-tacteo sont aujourd'hui les catalyseurs de cette démarche de progrès. L'objectif, pour autant, n'est pas de faire de l'usine 4.0 un bastion de l'innovation high-tech, mais une solution largement déployée et ouverte à toutes les échelles de production, du grand complexe industriel à la PME. ●

COLLABORATION AUTONOME

Intégrer les automatismes du bâtiment

L'essor du numérique, avec son fil continu d'informations, ses outils communicants et ses solutions « intelligentes », ainsi que la modélisation unifiée des données, sont les nouveaux ressorts du bâtiment moderne. Comment ces concepts, étayés d'études de faisabilité technique, participent-ils à la mutation de la filière et à la simplification de ses automatismes ?



Thomas Gamer
ABB Corporate Research
Ladenbourg (Allemagne)

thomas.gamer@
de.abb.com

L'automatisation du bâtiment, ou « domotique/immotique », progresse à grands pas. ABB occupe sur ce marché une solide position que confortent notamment des produits basés sur le protocole KNX [1], première norme mondiale ouverte, évolutive et multiconstructeur pour la gestion technique des bâtiments (GTB) industriels, tertiaires →1 ou résidentiels. À cela s'ajoute une grande expertise de l'installation électrique, qui permet au Groupe d'intégrer ses solutions d'énergie et d'automatisation en une seule offre complète de produits. À l'avenir, d'autres concepts comme l'interaction avec le réseau électrique, la production locale d'énergie et l'électromobilité viendront s'agréger à l'édifice pour en faire la plaque tournante des données et solutions immotiques →1,2.

Pour l'heure, si les bâtiments tertiaires (immeubles de bureaux, établissements hôteliers, scolaires, etc.) comptent souvent des milliers d'automatismes, leurs fonctions GTB et leurs installations électriques sont en général complètement hétérogènes, dépourvues de référentiel commun. Cette complexité renchérit le coût de l'édifice à tous les jalons de son cycle de vie (planification, développement, construction, mise en service, exploitation et maintenance).





La juxtaposition de multiples technologies et constructeurs, courante dans le tertiaire, ajoute encore à la difficulté.

En outre, de plus en plus d'acteurs interviennent à différentes étapes de la vie du bâtiment : le propriétaire ou l'occupant bien sûr mais aussi, par exemple, les ingénieurs-conseils, les intégrateurs, les installateurs, mécaniciens et électriciens, et les gestionnaires de site. Ce sont souvent des clients ABB, qui doivent également s'adapter à cette complexification accentuée par la pression des délais, l'inefficacité des outils, les exigences d'ouverture ou les nouvelles contraintes réglementaires de ces écosystèmes.

Si les bâtiments tertiaires comptent souvent des milliers d'automatismes, leurs fonctions GTB et leurs installations électriques sont généralement très disparates.

Se pose alors la question : quels processus, outils et technologies mettre en œuvre pour relever ces défis et favoriser des solutions GTB fortement intégrées, vite déployées et ouvertes ?

Des besoins à l'offre

Pour y apporter une réponse, ABB a mené un projet de recherche axé sur les premières étapes du cycle de vie des automatismes d'un bâtiment tertiaire, à savoir la planification, le développement et la mise en service →3. Notons que de nombreux aspects de cette étude s'appliquent tout aussi bien à la domotique.

À ce stade de la démarche d'automatisation, les clients ont quatre impératifs :

- Suivre l'évolution des spécifications fonctionnelles ;
- Favoriser des projets multitechnologies et multiconstructeurs ;
- Garantir la continuité des flux et processus de travail, de la conception à l'exploitation, sans perte d'informations ni besoin d'intervention manuelle ;
- S'orienter vers des architectures ouvertes, mais fonctionnellement intégrées.

Les « spécifications fonctionnelles » désignent ici des fonctionnalités de gestion automatisée et centralisée du bâtiment (GTB/GTC) planifiées indépendamment de la technologie, du constructeur, de la plate-forme matérielle, etc., souvent sur des bases normatives comme la VDI 3813 [2].

Un écosystème ouvert garantit la continuité des flux tout en procurant la souplesse et l'évolutivité nécessaires pour tirer parti des innovations et synergies technologiques.

La plupart des propriétaires et, ce faisant, des ingénieurs-conseils et intégrateurs, veut en recourir au meilleur de la technologie pour automatiser leur bâtiment. Concrètement, cela revient à panacher les protocoles et supports de transmission (KNX pour la régulation par pièce, BACnet pour le chauffage et la ventilation centralisés, ZigBee pour moderniser l'existant ou raccorder des sites trop coûteux à câbler, etc.), mais aussi à jongler avec plusieurs fournisseurs proposant chacun différents types d'équipement.

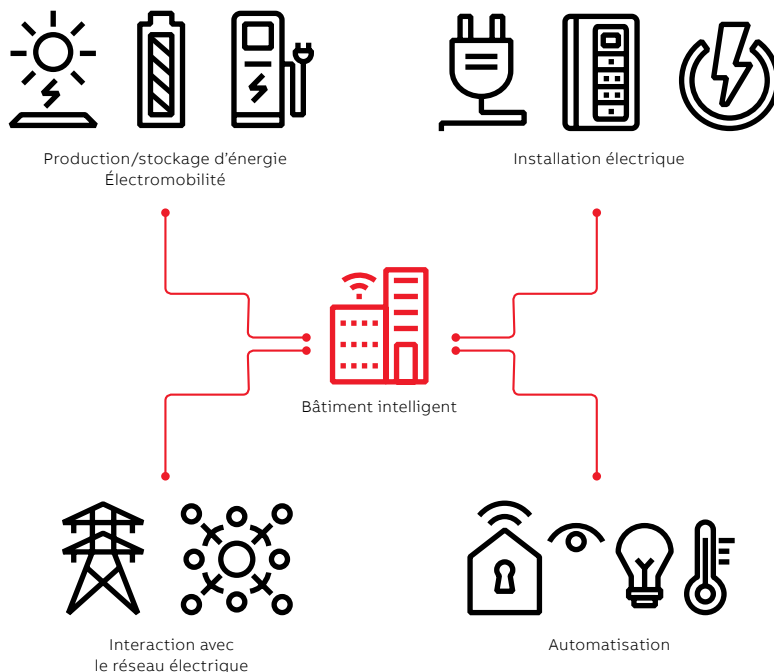
Dans ce contexte, les flux de travail sont entravés par :

- la multiplicité des outils utilisés de la planification à l'exploitation, souvent sans interfaces bien définies ;
- les transferts de données sur formulaires papier ou fichiers PDF, empêchant tout traitement automatique ;
- des problèmes d'« utilisabilité », en particulier s'il faut intégrer moult plates-formes et équipements multiconstructeurs, via le plus souvent une kyrielle d'outils.

À l'inverse, un écosystème ouvert garantit la continuité des flux tout en procurant la souplesse et l'évolutivité nécessaires pour tirer pleinement parti des innovations et synergies technologiques.

Le projet de recherche ABB a ainsi débouché sur une solution offrant au client les bénéfices suivants :

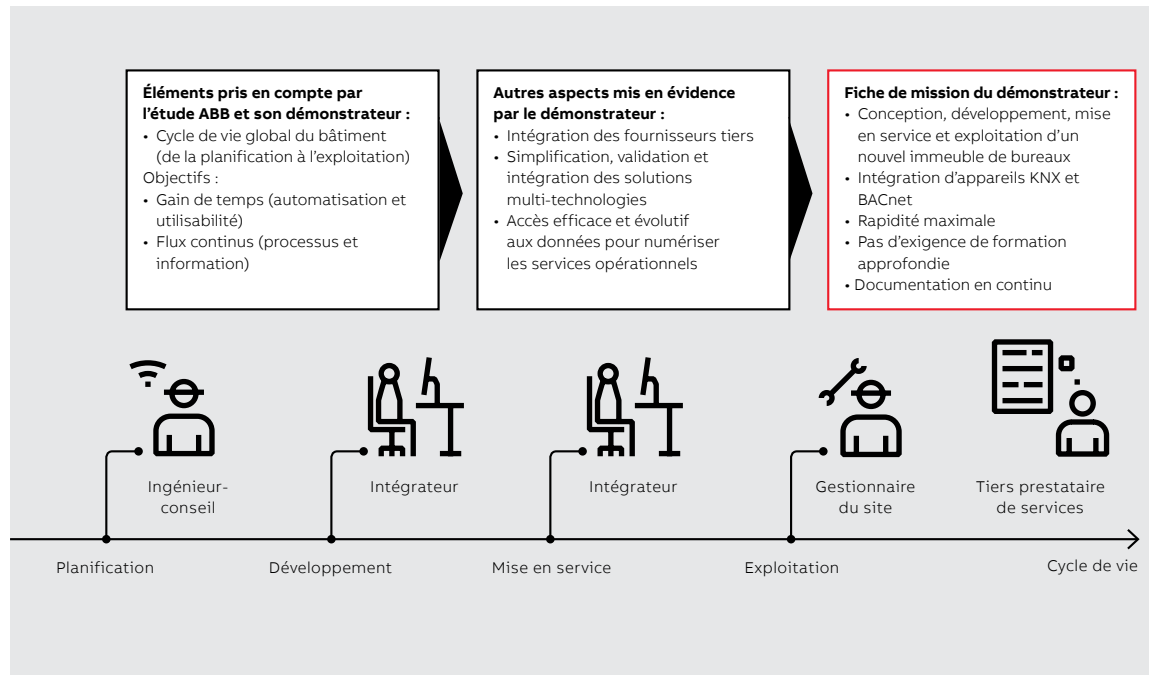
- Des spécifications fonctionnelles bâties sur un socle normatif ;
- Un gain de temps par l'automatisation d'un maximum d'étapes ;
- Une chaîne d'outils continue et un modèle d'informations unifié (*Unified Information Model*) pour éviter les interventions manuelles, sources d'erreur ;
- Une offre groupée standardisée ou « pack », fédérant les équipements multitechnologies et multiconstructeurs ;
- Une plate-forme logicielle modulaire avec des interfaces bien définies pour se coupler à l'existant (logiciel de paramétrage ETS pour KNX ou services cloud, par exemple).



01 Les bâtiments tertiaires étant généralement des projets uniques, à la différence des grands lotissements résidentiels, planifier leurs fonctions d'automatisation peut s'avérer complexe et coûteux. Une équipe de chercheurs ABB a étudié les moyens de simplifier ces automatismes à l'aide de solutions intégrées, rapides à déployer et ouvertes (photo : Anthony Byatt).

02 Le bâtiment « intelligent », centre névralgique d'une multitude de domaines

03 Déroulé et grands principes de la solution ABB



03

Tour d'horizon de la solution ABB

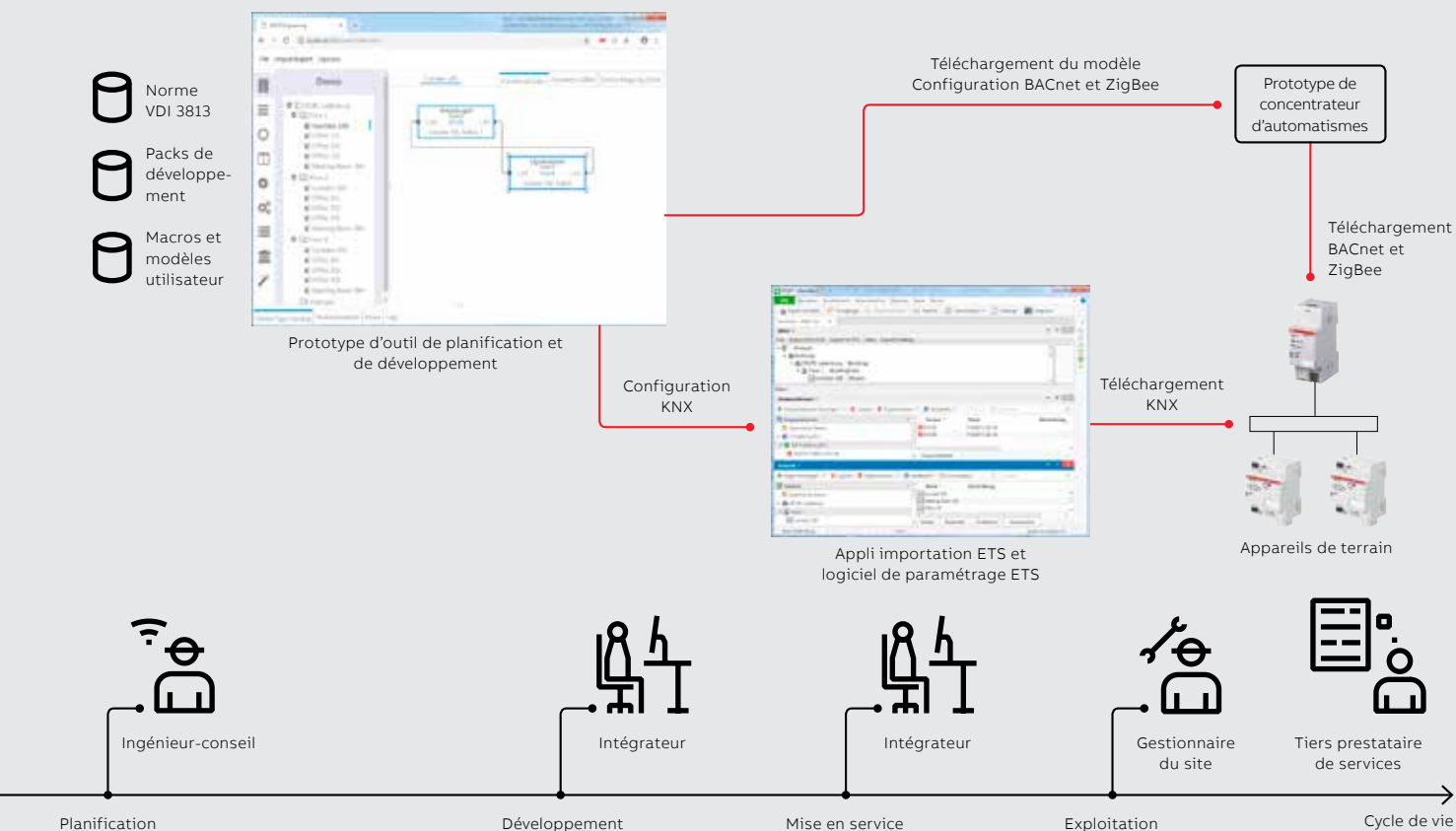
La clé de voûte de toutes les phases du cycle de vie du bâtiment est le modèle d'informations unifié d'ABB, qui décrit et structure l'ensemble des données utiles au système d'automatisation sur toute la durée de vie du bâtiment →4. Il fournit également plusieurs points d'entrée (architecture du site, fonctions d'automatisme ou parc installé, par exemple) et méthodes d'implantation. Pour son prototype, ABB a mis en œuvre une seule instance du modèle UIM couvrant toutes les phases du cycle de vie sous *OPC Unified Architecture* (OPC UA) [3], assortie d'interfaces supplémentaires.

Le modèle de données unifié UIM décrit et structure toutes les informations utiles sur l'ensemble du cycle de vie des automatismes du bâtiment.

ABB a commencé par déterminer les étapes et tâches qui, de la conception à l'exploitation, s'avèrent communes aux différents domaines et

régions géographiques ; en phase de planification, il s'agit de définir la structure du bâtiment et ses fonctions automatiques pour constituer le dossier d'appel d'offres. Notons que technologies et fournisseurs sont ici absents puisque les actifs physiques ne sont pas encore pris en compte.

En développement, il faut avant tout sélectionner les automatismes du bâtiment qui répondent au cahier des charges et effectuer une première configuration des équipements (niveaux de variation d'éclairage, réglages usine des consignes de température de chauffe, par exemple). Selon la région, le projet et le client, l'intégrateur peut puiser dans son propre catalogue de fournisseurs référencés ou obtenir des installateurs une liste du parc mécanique et électrique. La solution proposée doit donc se plier à différentes mises en œuvre du flux de travail global. Elle prend en compte les dispositifs réels, ce qui oblige à intégrer plusieurs technologies et fournisseurs. C'est à ce stade qu'intervient le nouveau « pack de développement » ABB, qui assure une mise en correspondance standardisée des actifs physiques, avec leurs détails techniques, et de l'abstraction fonctionnelle de la planification.



04

En phase de mise en service, l'usage est d'effectuer une configuration détaillée des paramètres spécifiques à la technologie, puis de reconnaître les automatismes en place et d'y télécharger ces données. Certaines technologies imposent leur logiciel de paramétrage, comme ETS pour KNX.

La solution ABB se compose de prototypes d'outils, de plates-formes logicielles, d'objets numériques (modèle UIM et packs de développement), mais aussi d'outils existants comme le logiciel de paramétrage ETS.

Avec la solution ABB, les outils existants sont directement intégrés dans le flux. Dans les systèmes multitechnologies, il faut également un « concentrateur d'automatismes » capable de comprendre les différents segments, de passer d'un protocole à l'autre et, éventuellement, d'exécuter des fonctions avancées. Cet automate intervient en exploitation mais permet aussi de mettre en service des technologies qui, comme ZigBee, ne nécessitent pas d'outil distinct.

Briques technologiques

Il s'agit principalement des prototypes d'outils, des plates-formes logicielles, d'objets numériques comme UIM et les packs de développement, et des outils existants comme ETS.

Outil de planification et de développement

Le prototype ABB →5, basé sur HTML5, peut revêtir la forme d'un outil sur le Web ou d'une version bureautique autonome. Il couvre la plupart des aspects de la planification, du développement et de la mise en service. Il permet de créer vite et bien la structure et les spécifications fonctionnelles du bâtiment, à l'aide par exemple d'une bibliothèque de blocs de fonctions VDI 3813, des macros utilisateur, des fonctions de recherche et filtre, de validation automatique du projet et d'importation de la maquette numérique « BIM » (*Building Information Modeling*). On peut alors constituer le dossier d'appel d'offres ou sauvegarder le projet et l'envoyer à l'intégrateur. En développement, il est possible de choisir les équipements dans un catalogue et de les importer par glisser-déposer, puis de configurer les principaux canaux et les paramètres sémantiques. Efficacité, rapidité et utilisabilité sont garanties par les fonctions de recherche et filtre (équipements triés par technologie, par fournisseur, etc.), par la présélection d'équipements associés à des blocs de fonctions spécifiques et l'importation du catalogue, mais aussi par des infobulles ou la définition de modèles. On peut ensuite exporter le fichier vers ETS, reconnaître les appareils de terrain ZigBee et y charger les données afférentes.

—
04 Synoptique et interaction des éléments clés de la solution ABB

—
05 Écran d'édition (à droite) et liste de fonctions applicatives (à gauche) du prototype d'outil de planification et de développement

Pack ABB

Destiné à faciliter ou automatiser le choix des équipements figurant dans la spécification, cet objet numérique d'ABB décrit les fonctionnalités de l'appareil et l'affectation des données techniques aux paramètres sémantiques. C'est un moyen standardisé de créer des descriptifs

UIM repose sur des standards comme OPC UA DI et définit un petit modèle de base, complété d'extensions pour les données sémantiques et techniques.

d'équipement, en XML. On peut d'ailleurs réutiliser et intégrer des informations existantes (bases de données produits au format « KNXprod », par exemple) auxquelles il suffit d'ajouter les correspondances sémantiques. Là encore, la méthode s'applique à plusieurs technologies.

Configurateur

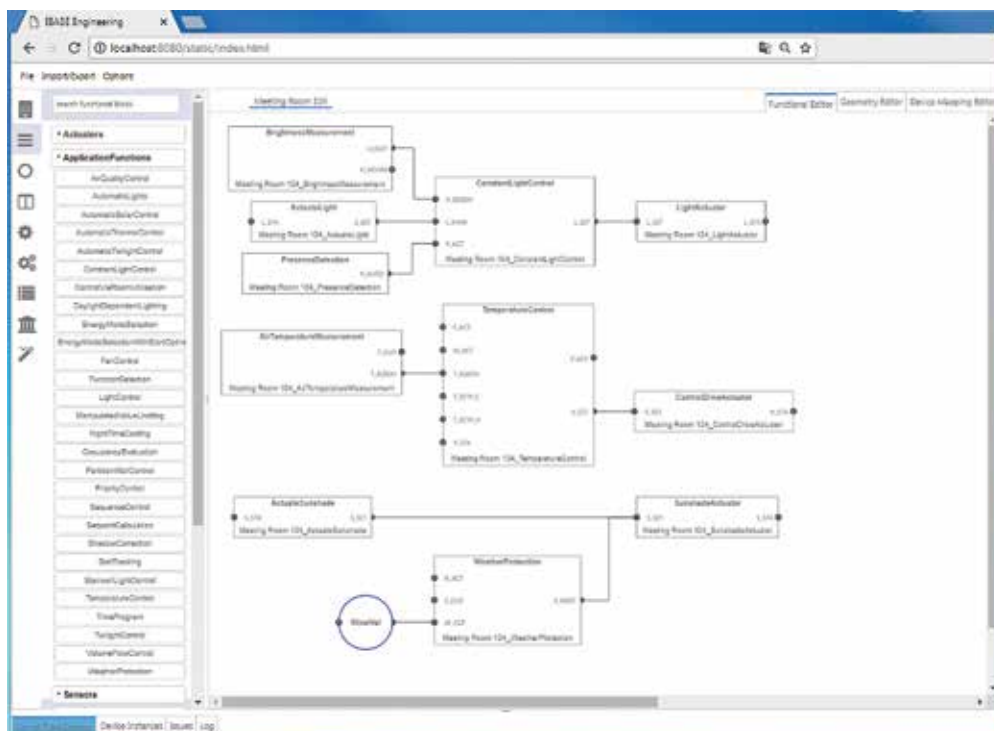
Partie intégrante de l'outil de planification et de développement, cet objet automatise entièrement la tâche de configuration propre à la technologie ; et méthodes heuristiques permettent de produire automatiquement une configuration de travail complète et valide, par exemple pour le volet KNX du système d'automatisation du bâtiment.

Importateur ETS

Ce prototype d'application ETS importe toutes les informations KNX créées par le configurateur et les traduit dans le modèle de données du logiciel ETS de paramétrage et de mise en service des appareils KNX. Les concepteurs ont ainsi tenu à réutiliser les outils disponibles tout en permettant à l'utilisateur d'adapter au besoin la configuration automatique avant téléchargement.

Modèle UIM

Cet objet fournit un modèle structurel de toutes les informations requises et en garantit la compréhension et la portabilité, grâce à sa structure bien définie, ses points d'entrée et ses données sémantiques. UIM s'appuie sur des standards de communication comme la spécification OPC UA DI (*Device Integration*) [4] et définit un petit modèle de base, complété de points d'extension pour la sémantique et, au-dessus, la technologie →6. C'est donc un outil modulable et facile à maintenir tout en restant ouvert et évolutif, capable d'utiliser plusieurs sémantiques et technologies en parallèle. ABB a intégré ce modèle unifié au serveur OPC UA et l'exploite durant toute la vie du bâtiment.



—
06 Architecture
du modèle
d'informations
unifié avec points
d'extension

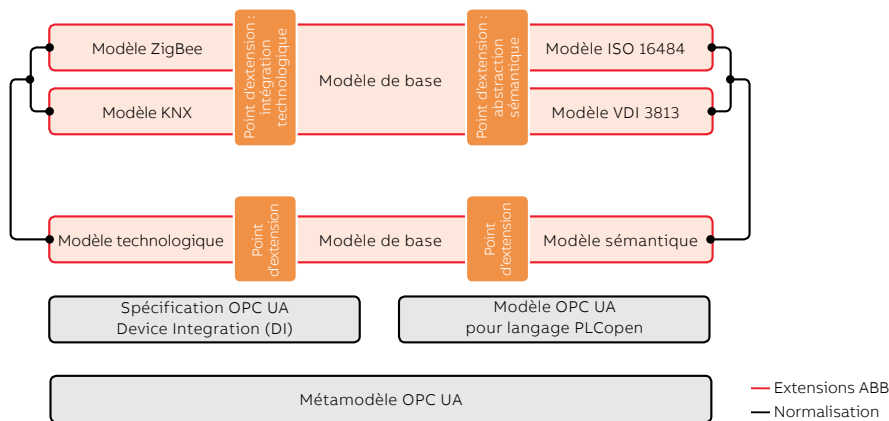
Bibliographie

[1] Association
KNX France,
<http://www.knx.fr>

[2] Norme VDI 3813,
« Building automation
and control systems
(BACS), Fundamentals
for room control »,
disponible en anglais/
allemand, mai 2011.

[3] Norme CEI/
TR 62541-1, « OPC
unified architecture -
Part 1: Overview and
concepts » disponible
en anglais seulement,
octobre 2016.

[4] Norme CEI 62541-
100, « Architecture
unifiée OPC - Partie
100 : interface
d'appareils », août
2015.



06

Automate concentrateur

Ce prototype d'outil est une plate-forme logicielle modulaire et souple reposant sur le modèle UIM. Il « enveloppe » le serveur OPC UA de plusieurs interfaces de services web standardisées, comme REST (*Representational State Transfer*) ou oBIX (*open Building Information eXchange*), pour faciliter l'intégration, notamment au Cloud. Il peut s'enrichir de modules supplémentaires pour les services avancés afin de former une plate-forme opérationnelle complète, exécutable sur un Raspberry Pi modèle B+, par exemple. Il peut aussi constituer un seul module associé à l'outil de planification et de développement, qui stocke et fournit l'ensemble des données utiles de manière totalement transparente à l'utilisateur.

Étude de faisabilité et démonstrateurs

Tous ces concepts et éléments clés de la solution ABB ont été implantés et intégrés dans un

Le concentrateur d'automatismes est une plate-forme logicielle modulaire et souple reposant sur le modèle UIM.

démonstrateur pour en valider la faisabilité et en débattre avec les acteurs du projet. L'outil reproduit une salle de réunion équipée de fonctions d'automatisme évoluées comme la régulation constante de la lumière, la commande du chauffage et de la ventilation, la détection de présence et d'ouverture de fenêtre, entre autres. Les équipements multiconstructeurs communiquent sur KNX (éclairage, dialogue

homme-machine et détection de présence), BACnet (chauffage et ventilation, dialogue homme-machine) et ZigBee (ouverture de fenêtre) pour refléter l'hétérogénéité des technologies. Les tâches de planification et de développement ont toutes été effectuées avec les outils numériques et prototypes cités plus haut. KNX s'est servi de la configuration automatique, tandis que BACnet et ZigBee exécutaient les fonctions de reconnaissance et de téléchargement ABB ; autrement dit, seuls les profils et objets de ces standards de communication ont été utilisés. Précisons que ces prototypes ne sont pas une version complète mais simplifiée de la solution qui, nonobstant, couvre la plupart des fonctions primordiales.

D'après les résultats des premières séances de démonstration et les retours d'expérience, les concepts proposés et les études de faisabilité répondent aux problématiques des clients et les accompagnent au quotidien dans la transformation numérique du bâtiment. À l'avenir, les travaux de recherche aborderont des thèmes qui dépassent le périmètre du projet actuel, comme l'intégration avec l'installation électrique, la gestion du cycle de vie du modèle ou les ajouts nécessaires aux technologies, aux segments de marché ou aux fonctions « métier ».

Remerciements

ABB tient à remercier toute l'équipe et les participants au projet pour leurs idées et leurs contributions, en particulier Roland Braun, Florian Kantz, Somayeh Malakuti, Johannes Schmitt, Katharina Stark, Michael Vach, Retus Cathomen, Jens Czudai, Dirk John et Christian Lehnert. ●

COLLABORATION AUTONOME

Le jumeau numérique, artisan logiciel de l'industrie du futur

L'un des fers de lance de l'usine 4.0 est le « jumeau numérique » qui permet l'acquisition, le partage et l'accès à une plus grande variété de données avec une interopérabilité et une disponibilité sans précédent. Quelles en sont les dernières avancées ?

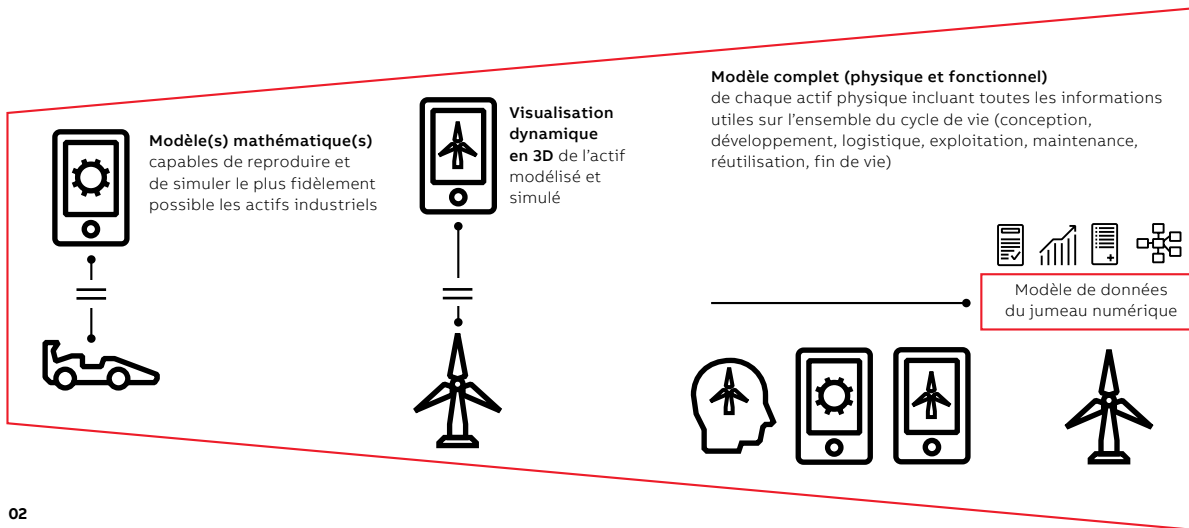
01

Somayeh Malakuti
Jan Schlake
Sten Grüner
Dirk Schulz
Ralf Gitzel
Johannes Schmitt
Marie Platenius-Mohr
Philipp Vorst
ABB Corporate Research
Center
Ladenbourg (Allemagne)

somayeh.malakuti@
de.abb.com
jan-christoph.schlake@
de.abb.com
sten.gruener@
de.abb.com
dirk.schulz@de.abb.com
ralf.gitzel@de.abb.com
johannes.schmitt@
de.abb.com
marie.platenius@
de.abb.com
philipp.vorst@de.abb.com

Kai Garrels
ABB Electrification
Products
Heidelberg (Allemagne)
kai.garrels@de.abb.com





02

L'Internet industriel des objets (IIoT) permet d'interconnecter une multitude d'équipements et autres actifs hétérogènes au sein d'un même écosystème productif pour rendre l'exploitation des données plus efficace, souple et réactive.

Le jumeau numérique est une brique essentielle de l'Industrie 4.0.

Plusieurs dénominations existent pour décrire ce bouleversement numérique : quatrième révolution industrielle, Industrie 4.0 en Allemagne, Industrie du Futur en France, etc. Ces initiatives stratégiques, à commencer par le projet phare mené outre-Rhin, appuyées par des investissements pérennes, allient recherche académique et expérimentations en conditions réelles.

Au cœur de cette transition, le jumeau numérique vise à faciliter l'acquisition, l'échange et le partage d'une bien plus grande variété de données qu'auparavant mais également à maximiser l'accessibilité et l'interopérabilité des actifs industriels →1.

Sa définition évoluant [1], il est bon de faire le point sur l'état actuel de la recherche et de la plate-forme allemande Industrie 4.0, illustré de quelques cas d'usage.

Qu'est-ce que le jumeau numérique ?

À l'origine, le jumeau numérique était un ensemble de modèles mathématiques s'efforçant de reproduire le plus fidèlement possible →2 le comportement d'actifs physiques (équipements, usines, services, par exemple) [2]. Cette définition a depuis évolué pour inclure une dimension dynamique avec la simulation et la visualisation de modèles 3D des objets du monde réel. Aujourd'hui, ce double virtuel se définit comme une représentation évolutive du comportement d'un équipement ou procédé, visant à optimiser les performances de l'activité [4]. Il repose sur un nombre colossal de mesures temps réel, qui reflètent en permanence la réalité multidimensionnelle du terrain [3]. L'information se double de métadonnées, propriétés et documents (rapports, notices, instructions, procédures, etc.) générés sur tout le cycle de vie de l'actif →3.

—
01 L'Internet industriel des objets, dont le jumeau numérique est une pièce maîtresse, révolutionne le monde de la production

—
02 Évolution de la définition du jumeau numérique

—
03 Données incluses dans le jumeau numérique d'un actif sur tout le cycle de vie

Pour autant, la réelle plus-value du concept réside dans son interactivité avec d'autres jumeaux ou outils logiciels →4 : si le jumeau numérique du constructeur intègre divers modèles de conception et de fabrication d'une gamme de produits, celui des clients englobe plusieurs modèles d'achat, d'installation, d'exploitation, de maintenance et d'élimination de chaque article. L'échange de données entre ces doubles virtuels complète le tableau, au bénéfice des deux parties.

Le jumeau numérique dans le cycle de vie de l'usine 4.0

En reliant l'information à chaque actif de l'usine, le jumeau virtuel est un levier de la transformation numérique de l'industrie. Grâce à des données contextualisées, accessibles en temps voulu et au bon endroit, il est possible d'envisager de nouveaux cas d'usage, jusque-là impensables avec une documentation et des données statiques et génériques. Voyons comment ABB envisage la conception, la construction et l'exploitation des usines 4.0 →5, et le rôle dévolu au jumeau numérique à chaque étape du projet [5].

La phase 1 a vocation à développer un modèle numérique complet et transverse de l'ensemble des résultats de la planification (ce que ne permettait pas l'Industrie 3.0). Les connaissances et hypothèses implicites des planificateurs sont explicitement modélisées et stockées dans la réplique numérique de l'usine. Les dispositifs requis sont puisés manuellement dans une « bibliothèque de rôles » et associés au jumeau. Abstraits et indépendants du matériel à ce stade, ces rôles seront ensuite affectés à des dispositifs réels.

Le jumeau numérique relie l'information à chaque actif de l'usine.

En phase 2, les catalogues constructeur des types de produit disponibles sont accessibles au format électronique : ils assurent la maintenance du jumeau numérique pour les différents types de produits, en traitent tous les aspects du cycle de vie et fournissent une interface standard pour consulter ces informations.

En phase 3, les types de produits sélectionnés sont instanciés et l'information afférente (identifiants, paramètres, etc.) est incluse dans le jumeau numérique des « instances de produit ». Les doubles virtuels des composants sont intégrés dans le jumeau numérique de l'usine et rattachés au jumeau numérique des types de produit. Les jumeaux numériques des instances de produit peuvent servir, par exemple, à la simulation et aux essais, suivant la topologie de l'usine, ainsi qu'au traitement et au stockage des résultats de la simulation.

	Planification	Fabrication	Utilisation	Maintenance
Données du cycle de vie produit	Gestion PLM	Gestion PLM	Instructions d'exploitation	Rapports d'intervention
Représentation 3D	Schémas, plans	Instructions de fabrication	Visualisation du site	Instructions de maintenance, réalité augmentée
Modélisation	Prédiction du comportement	Mise en service virtuelle	Performance de la commande	Diagnostics
Simulation	Simulation de la conception	Tests HIL sur cible réelle	Analyses par anticipation	Maintenance prédictive
Modèle de données	Données de développement	Données de fabrication	Données d'exploitation	Données d'intervention
Analytique connectée			Indicateurs clés de performance de l'exploitation	Indicateurs clés de l'état de santé de l'actif
Visualisation	Outil de conception	Outil de conception	Affichage de l'état opérationnel	Affichage de l'état fonctionnel

—
04 Interaction de
plusieurs jumeaux
numériques

En phase 4, on utilise le jumeau numérique des instances de produit pour commander les produits réels. Les pièces du jumeau engendrées par la commande sont alors transmises au fournisseur. Le produit est ensuite intégré dans l'usine, configuré, testé et mis en service. C'est à ce stade que les répliques numériques se nourrissent des informations d'installation et de mise en service (emplacement des équipements, numéros de série, etc.).

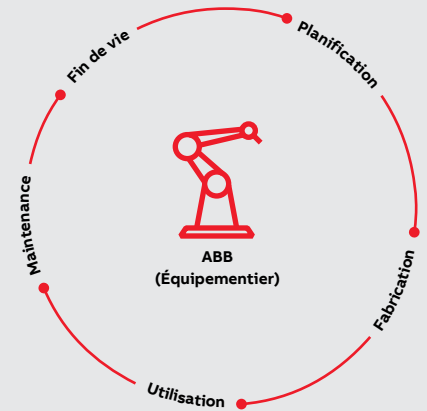
Le jumeau numérique croît au fil du temps, chaque étape venant ajouter de nouveaux sous-modèles.

En phase 5, le jumeau numérique de chaque instance de produit, comme de toute l'usine, s'enrichit des informations d'exploitation et de maintenance (paramètres temps réel, état de santé, nombre de défaillances, par exemple). Dans le projet allemand Plattform Industrie 4.0, le jumeau numérique est une « enveloppe de gestion », ou *Administration Shell* [6], qui organise les informations d'un scénario applicatif en « sous-modèles » contenant les propriétés, fichiers, appels de méthode, liens externes ou autres données assimilées.

Chacune des étapes ci-dessus enrichit les sous-modèles existants ou en ajoute de nouveaux, propres à chaque scénario ou cas d'usage.

Le jumeau numérique, acteur clé du 4.0

Le jumeau numérique permet d'optimiser plusieurs cas d'usage. En voici trois exemples.



Fin de vie

- Garantie

Planification

- Idée, conception
- Optimisation de la conception
- Conception prédictive

Fabrication

- Analytique du développement prédictif
- Mise en service virtuelle

Utilisation

- Télésurveillance
- Télécommande

Maintenance

- Inspection virtuelle
- Intervention basée sur les données
- Gestion des performances des actifs
- Maintenance prédictive

04

Ingénierie de bout en bout

Le cycle de vie d'un produit (conception, développement, utilisation, maintenance) est jalonné de plusieurs sources d'information, modèles et outils →3. Néanmoins, la circulation des données au sein d'une même étape ou entre différentes étapes n'est pas continue. C'est le cas, par exemple, lorsque les données de maintenance ne peuvent pas remonter au développeur pour affiner le paramétrage d'un équipement. Cette rupture entraîne une dispersion, voire une perte de données, qui entrave l'accès à la bonne information.

Le jumeau numérique s'apparente à un « conteneur » intégrant ces informations multisources, aux différentes phases du cycle de vie. Les données peuvent être récupérées de plusieurs outils, en différents formats, sans forcément transiter par un entrepôt centralisé. Le jumeau allège l'effort d'accès à l'information et de gestion en évitant, par exemple, la mise à jour manuelle des documents techniques pour refléter les modifications effectuées en exploitation, sur le terrain. L'information contenue dans le jumeau permet de déduire des performances des actifs en place les caractéristiques des futurs développements.



Conception, fabrication et analyse prédictives

À l'heure actuelle, il est impossible d'échanger des informations entre entreprises de manière continue et transparente. Un exemple : ABB n'a pas accès aux données sur le comportement en service de ses produits, sauf si le client demande une intervention sous garantie, partage les rapports d'intervention établis par son service maintenance, ou encore fait explicitement remonter l'information au fournisseur, par l'intermédiaire d'un commercial notamment. Or toutes ces sources étant incomplètes et parfois inexactes, le concepteur ne dispose que d'informations fragmentées et incertaines pour élaborer les nouvelles générations de produits.

Le jumeau numérique se veut la plaque tournante des échanges interentreprises ; il permet, par exemple, de gérer une sélection d'informations d'exploitation et de maintenance sur un actif et de les partager avec des tiers de manière appropriée. Les données du procédé et les modèles fournis par le jumeau numérique, de même que les résultats des simulations temps réel, aident à prédire les exigences des prochaines générations d'actifs et à en optimiser la conception. L'analyse prédictive permet aux fabricants d'évaluer en confiance les futurs défis. Le jumeau numérique promet ici une amélioration continue de la conception produit, à partir de données réelles.

Prêt-à-produire

Aujourd'hui, déduire d'un procédé existant la bonne configuration des appareils de terrain nécessite une intervention manuelle. L'opération se heurte à trois embûches : soit les formats de description normalisés sont inexploités, soit ils sont bel et bien employés mais sans possibilité de partage des données, soit encore celles-ci sont partagées mais les normes sous-jacentes de conception du procédé et des automatismes n'expriment pas l'information de la même manière. Le flux d'information peut alors s'interrompre en tous points de la transmission.

Qui plus est, la reconnaissance, l'adressage, l'identification et la configuration en ligne des équipements raccordés à un bus de terrain restent des tâches essentiellement manuelles, donc sujettes à l'erreur. Sans compter que les points de mesure, appareils de terrain et signaux, entre autres, n'ont pas les mêmes désignations ou identifiants d'un outil à l'autre. Résultat : il faut affecter manuellement ces données pour les apparier correctement. Pour comble, le remplacement d'un appareil en exploitation oblige à recommencer toute la mise en service.

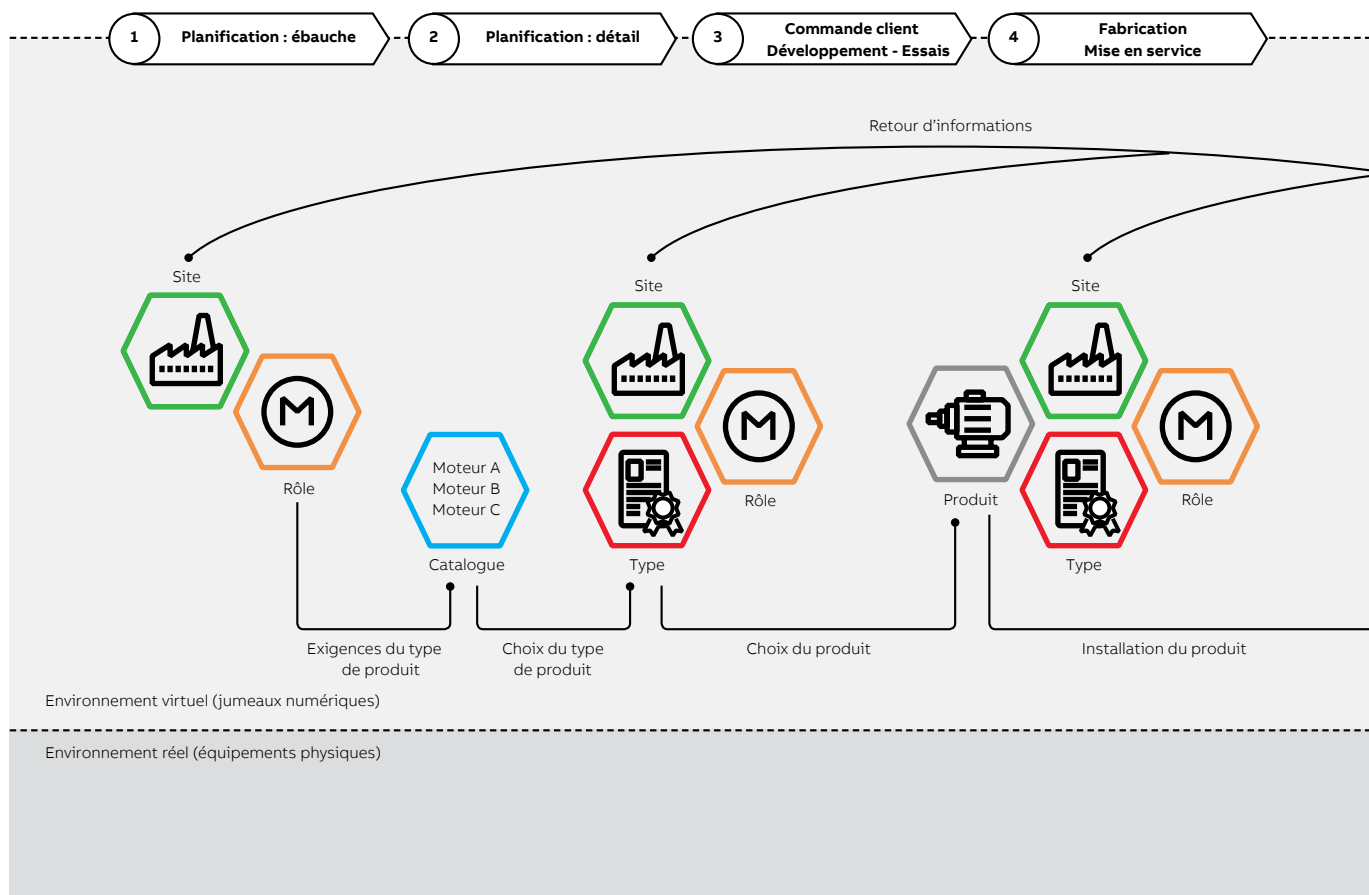
Certes, des technologies comme FDI (*Field Device Integration*) et OPC UA (*Unified Architecture*) facilitent grandement la mise en service des équipements de terrain. Le jumeau numérique

Là où il ne fallait pas moins d'une dizaine de minutes pour configurer et mettre en service un appareil de terrain, quelques fractions de seconde suffisent.

s'en inspire pour bâtir un scénario de « prêt-à-produire ». En incorporant d'autres référentiels de l'informatique, de la communication et de l'automatisation industrielles, en particulier les recommandations d'associations d'utilisateurs comme NAMUR, le jumeau numérique fédère et uniformise toutes les données nécessaires

au développement, à la mise en service, à l'exploitation et au remplacement des appareils de terrain. Le lien établi entre le jumeau numérique et son pendant physique permet aux opérateurs de télécharger automatiquement les paramètres dans les appareils et de les mettre en route. Si un remplacement physique nécessite encore un personnel qualifié, le jumeau numérique autorise une reconfiguration immédiate, sans expertise du matériel ou du procédé.

Concrètement, là où il ne fallait pas moins d'une dizaine de minutes (à condition de ne rencontrer aucun problème) pour configurer et mettre en service un appareil de terrain, quelques fractions de seconde suffisent avec le jumeau numérique. Pour une unité de production de taille moyenne comptant 10 000 entrées/sorties, ce ne sont plus que quelques minutes de travail... au lieu d'une semaine !



05 Place et rôles du jumeau numérique dans l'usine 4.0

Bibliographie

[1] Drath, R., « The digital twin: the evolution of a key concept of Industry 4.0 », Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB), disponible sur : <https://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/81724/>, 2018.

[2] Grieves, M., « Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication », livre blanc disponible sur : http://innovate.fit.edu/plm/documents/doc_mgr/912/1411.0_Digital_Twin_White_Paper_Dr_Grieves.pdf, 2014.

[3] Deloitte Consulting, « Industry 4.0 and the digital twin – Manufacturing meets its match », Deloitte University Press, 2017.

[4] Ganz, C., « Jumeau numérique : la réalité dédoublée », *ABB Review*, 2/2018, p. 94-95.

[5] Wagner, C., et al., « The role of the Industry 4.0 Asset Administration Shell and the Digital Twin during the life cycle of a plant », *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, Limassol (Chypre), 2017.

[6] Plattform Industrie 4.0, *Working Paper - Structure of the Administration Shell*, disponible sur : https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/structure-of-the-administration-shell.pdf?__blob=publicationFile&v=7, avril 2016.

[7] *Basissystem Industrie 4.0 – Eine offene Plattform für die vierte industrielle Revolution*, disponible (en allemand) sur : <https://www.basys40.de/>

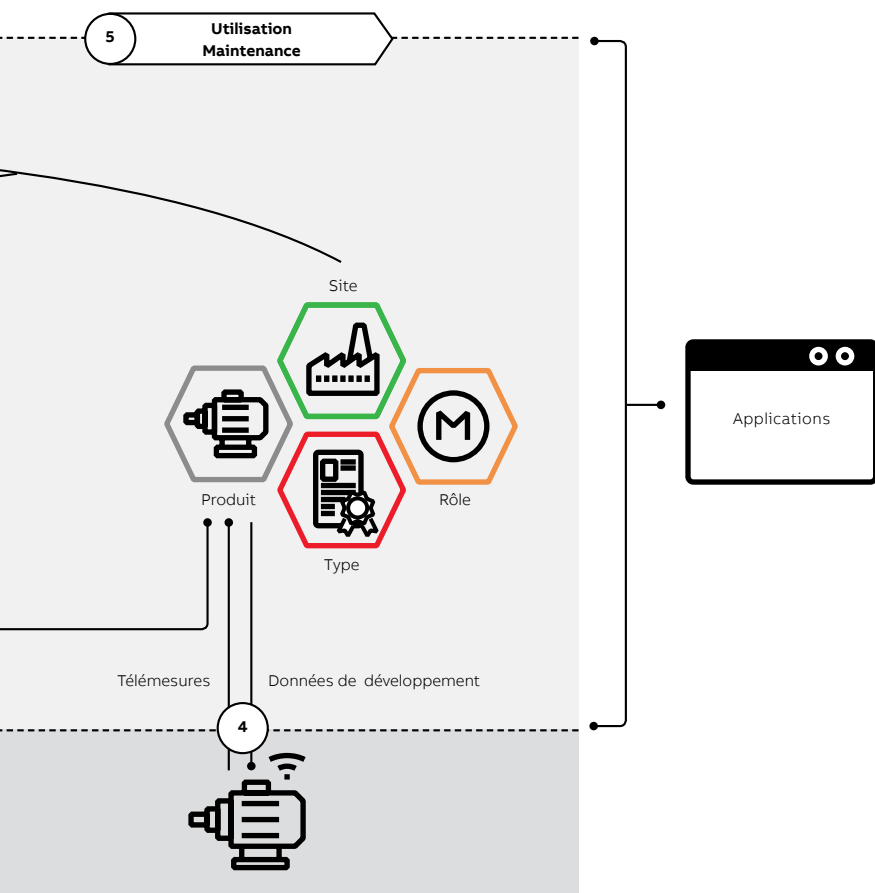
En maintenant le flux d'information tout au long du cycle de vie, la réutilisation systématique des informations récupérées de la conception originale du procédé a encore plus d'intérêt. La configuration d'un appareil de terrain est le reflet direct des intentions de l'ingénieur de production, découlant elles-mêmes des desiderata du client : il est donc possible à tout moment de justifier les choix effectués. La démarche accroît la qualité des données techniques puisque les erreurs sont confinées dans la conception originale.

À mesure que l'IIoT gagne du terrain, le jumeau numérique deviendra la cheville ouvrière de l'automatisation industrielle.

Le jumeau numérique ABB

Compte tenu de son importance dans l'Industrie 4.0, le jumeau numérique et ses différents aspects font l'objet de plusieurs études ABB. Le projet BaSys 4.0 [7], par exemple, mené en concertation avec le ministère fédéral allemand de l'Éducation et de la Recherche (BMBF), rassemble 15 partenaires industriels et universitaires. Objectif : développer une plate-forme de référence ouverte, centrée sur le jumeau numérique, pour accroître la flexibilité de la production manufacturière ou continue.

À mesure que l'IIoT gagne du terrain, le jumeau numérique deviendra un outil capital de l'automatisation industrielle. En maîtriser tous les rouages sera une compétence indispensable pour façonner l'usine du futur. ●





Partenaria



Un partenariat réussi va au-delà de la simple collaboration et implique une réelle synergie entre la fin et les moyens. Ainsi l'innovation n'est-elle pas un but en soi, mais l'outil permettant de l'atteindre.

36 Les collaborations université-entreprise au service du numérique

ats



PARTENARIATS

Les collaborations université-entreprise au service du numérique

Pour un industriel, rassembler les flux de données issus des différents sous-systèmes de son procédé apporte une valeur ajoutée indéniable : l'exploitation de cette mine d'informations alimente la recherche-développement (R&D) de solutions numériques innovantes. ABB et l'Université relèvent le gant.

Anna Stief
James Ottewill
ABB Corporate Research
Cracovie (Pologne)

anna.stief@pl.abb.com
james.ottewill@
pl.abb.com

Nina Thornhill
ABB Chair of Process
Automation
Imperial College
Londres
(Royaume-Uni)

Les grands sites industriels n'ont cessé de se complexifier ces dernières décennies, imbriquant souvent une multitude de sous-systèmes mécaniques et électriques qui produisent chacun une impressionnante masse de données.

ABB travaille en étroite collaboration avec des universités de premier plan pour mettre au point des systèmes complexes.

Avec l'automatisation, qui permet de piloter ces sous-ensembles comme un tout, émerge le besoin de « boucler la boucle » de l'information. Mais cela demande de nouvelles approches holistiques capables de traiter ces ressources et de garantir une exploitation efficace et durable des actifs sur les 30 à 50 ans de leur durée de vie. ABB s'y attelle depuis plusieurs années, en étroite collaboration avec des universités prestigieuses.



—
01 Vue du campus de l'Imperial College à South Kensington (Londres), l'un des partenaires universitaires d'ABB dans les projets de numérisation de l'industrie (photo : © 2018 Imperial College London)

—
Note
1) Projet financé au titre du programme de recherche et d'innovation de l'UE FP7-ITN, dans le cadre de l'AMSC 264940.

Partenaire de l'Imperial College

ABB collabore avec le monde universitaire pour poser les fondements de la transformation numérique des procédés industriels. C'est notamment le cas d'un programme de recherche mené avec l'Imperial College →1, destiné à traiter les données et ressources de l'usine pour les transformer directement en actions dans le monde réel. Objectif : améliorer les performances de l'immense parc installé, principalement par une exploitation optimisée fondée sur la prédiction, la détection, le diagnostic et l'élimination des sources d'inefficacité. Y participent, dans le cadre d'une convention tripartite, des chercheurs de l'institut londonien, des ingénieurs de recherche ABB et des doctorants qui partagent leur temps entre l'université, ABB et d'autres partenaires industriels.

Témoin de la vigueur de cette collaboration entreprise-université, la chaire Automatisation des procédés du département de Génie chimique,

parrainée par ABB depuis 2007, héberge la majorité des travaux.

—
La collaboration entre ABB et l'Imperial College de Londres porte sur le traitement des données et ressources de procédés afin de les transformer en actions dans le monde réel.

ABB dans les projets européens

C'est dans le cadre des « réseaux de formation doctorale innovante » ou ITN (*Innovative Training Networks*) que s'est déroulé de février 2011 à janvier 2015 le projet Energy-SmartOps¹, axé sur la conduite et l'exploitation intégrées des procédés, des machines tournantes et du matériel électrique →2.



02



Mené par l'Imperial College, ce projet a réuni ABB, des industriels comme BASF et Equinor ainsi que plusieurs universités (université de Cranfield, EPF de Zurich, École polytechnique de Cracovie et université Carnegie-Mellon), avec pour mission de créer et de tester des systèmes de surveillance fédérant quantités de mesures remontées du procédé, des machines et des installations électriques. L'objectif était de fermer la boucle reliant ces trois composantes de l'usine par le suivi et le pilotage des performances ; concrètement, il s'agissait de récupérer les informations générées par ces processus et de concevoir de nouveaux algorithmes propres à gérer en clair leurs interfaces et interactions. Le programme Energy-SmartOps a ainsi formé une cohorte de chercheurs de haut vol, forts d'une double compétence universitaire et industrielle dans ces domaines.

Objectifs : mettre au point et tester des systèmes de suivi intégrant plusieurs flux de mesures issus de différents procédés et sous-systèmes mécaniques et électriques.

Le projet REAL-SMART, fondé sur un partenariat IAPP (*Industry Academic Pathways and Partnerships*)², s'est étalé sur quatre ans à partir de septembre 2010. Ici, l'innovation numérique concernait le suivi et la gestion, par la mesure, des réseaux électriques et de leurs consommateurs industriels.

Également coordonnée par l'Imperial College, cette initiative rassemblait des gestionnaires de réseaux de transport (Fingrid, National Grid et Statnett), des équipementiers (ABB, GE) et d'autres universités (université Aalto, université de technologie de Graz). Ce consortium international regroupait des experts pluridisciplinaires : systèmes électriques, modélisation, instrumentation, analyse du signal, suivi d'état et automatisation des procédés pétrogaziers et chimiques.



—
02 Le projet Energy-SmartOps est financé par les Actions Marie Skłodowska-Curie (AMSC) de l'Union européenne (bannière SmartOps : © 2018 Imperial College London ; bannière Marie Curie : © Union européenne).

—
03 Salle de conduite ABB

—
Note
2) Travaux financés au titre du programme européen FP7-IAPP « Using real-time measurements for monitoring and management of power transmission dynamics for Smart Grid – REAL-SMART », dans le cadre de l'AMSC 251304.

Ces échanges de chercheurs entre l'industrie et l'université ont été financés par le programme IAPP. Le projet a offert aux jeunes doctorants des instituts partenaires une première incursion dans la R&D industrielle ; quant aux chercheurs expérimentés, issus du milieu industriel ou académique, ils ont pu rafraîchir leurs connaissances en s'immergeant dans un environnement de travail différent.

—
La salle de conduite ABB se trouve dans l'usine pilote de captage du carbone du département de Génie chimique de l'Imperial College.

Ces partenariats ont reçu le soutien financier de l'Union européenne via les Actions Marie Skłodowska-Curie (AMSC).

Démonstrateurs ABB

La salle de conduite ABB à l'Imperial College mérite une mention spéciale →3. Équipée d'un contrôle-commande et d'une instrumentation de pointe, elle est implantée dans l'usine pilote de captage du carbone du département de Génie chimique de l'université londonienne, qui dispose ainsi de ces ressources →4. En contrepartie, ABB y effectue des démonstrations et des formations client, tout en testant ses innovations technologiques, et ce en plein cœur de Londres. Un second démonstrateur est en cours de réalisation. ABB a en effet signé l'an dernier un protocole d'accord pour la création d'un démonstrateur de réseau électrique du futur intégrant sa plate-forme unifiée de services et solutions numériques ABB Ability™.

03



Optimisation des réseaux industriels

ABB participe également au programme de doctorat industriel européen PRONTO (*PROcess NeTwork Optimization*) →5, financé par l'action AMSC 675215, dans le cadre du programme de recherche et d'innovation « Horizon 2020 » de l'UE. Ce partenariat réunit des établissements de renom (Imperial College, université technique de Dortmund, université norvégienne de sciences et de technologie, École des mines et de la métallurgie de Cracovie, universités de Cranfield, de Valladolid et Carnegie-Mellon), ainsi que des entreprises à la pointe de l'innovation (BASF, Petronor, Equinor, Acciai Speciali Terni, INEOS).

PRONTO vise à optimiser les réseaux industriels pour garantir une exploitation efficace et durable des sites de production européens en tenant compte de l'état des machines et de la performance du procédé. Le projet porte sur les thématiques suivantes :

- Analyse des données permettant d'évaluer l'état et les performances des réseaux d'usine ;
- Optimisation de l'utilisation des ressources, à partir des données temps réel sur l'état et la performance des équipements ;
- Nouveaux concepts d'exploitation présentant un fort potentiel pour les industriels qui participent au projet.

Cette collaboration permet aux jeunes thésards du doctorat industriel européen d'être formés et étroitement encadrés par les professionnels du domaine. Sont ainsi privilégiés les sujets de recherche trouvant des applications concrètes dans l'industrie. La collaboration revêt une grande variété de formes : transfert des connaissances et études de cas conjointes, publications communes, séances de brainstorming en face à face lors des réunions de projet.

Des méthodes probabilistes et statistiques ont été regroupées en une solution analytique innovante garantissant transparence, flexibilité, modularité et évolutivité du suivi d'état.

PRONTO donne lieu à un flot continu d'innovations dans les domaines de l'optimisation des procédés et de l'analytique. L'une d'elles associe, aux fins de suivi d'état, les données quantitatives et qualitatives de plusieurs sources pour accroître la fiabilité et la robustesse de l'analyse. En effet, les procédés et parcs machines génèrent quantité de données hétérogènes qui, agrégées, constituent une mine d'informations sur l'état de marche de l'appareil productif ; chaque source, chaque capteur étant plus particulièrement adaptés à la détection de telle ou telle anomalie, la fusion de ces données multisources permet alors de diagnostiquer davantage de défauts, avec d'autant plus de précision et de fiabilité →6.



—
04 Usine pilote de captage du carbone du département de Génie chimique (photo : © 2018 Imperial College London)

—
05 Le projet PRONTO cherche à optimiser les réseaux industriels.

—
06 L'agrégation de données améliore la robustesse et la précision du suivi d'état.

Bibliographie

[1] Stief, A., et al., « Two Stage Data Fusion of Acoustic, Electric and Vibration Signals for Diagnosing Faults in Induction Motors », *Elektronika ir Elektrotechnika*, vol. 23, n° 6, p. 19–24, 2017.

06

Autre développement : de nouvelles techniques de suivi d'état pour relever le défi des données massives et hétérogènes. L'une d'elles consiste à regrouper des méthodes probabilistes (inférence bayésienne) et statistiques multivariées (analyse en composantes principales) en une solution analytique innovante garantissant transparence, flexibilité, modularité et évolutivité de la plateforme de suivi d'état. De la même façon que les données agrégées de plusieurs sources affinent le diagnostic, cette méthode permet de remonter le fil du processus décisionnel jusqu'à l'origine du défaut et d'identifier les types de signaux ayant abouti à la décision [1]. Et ce n'est là qu'un exemple des nombreuses solutions à l'étude.

Numérisation et collaboration

Le numérique dictera le cahier des charges des prochaines générations de produits, de systèmes et de services, modernisant ou même révolutionnant les solutions en place. Cette nouvelle étape permettra une surveillance holistique, plus précise et plus fiable des performances de l'existant, ainsi qu'une gestion éclairée des actifs et des ressources de l'usine.

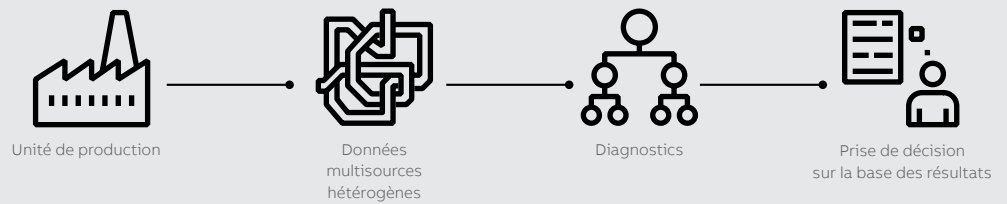
Des défis restent néanmoins à relever : la volumétrie croissante des données multisources oblige à améliorer les méthodes de compilation et de traitement. La profusion de systèmes et

de données effaçant les frontières classiques entre les différents procédés et sous-systèmes mécaniques et électriques, il faut une approche pluridisciplinaire pour mieux appréhender leurs interactions.

Engagé dans nombre de ces problématiques, ABB poursuivra sa collaboration avec de grandes universités et entreprises innovantes. C'est ce partage de connaissances et d'expériences qui apporte des solutions numériques de pointe aux

—
Les solutions numériques de nouvelle génération permettront une surveillance holistique, plus précise et fiable, de la performance des installations, garante d'une gestion plus éclairée des actifs.

enjeux de l'industrie. Dernier point, mais non des moindres : de tels partenariats université-entreprise procurent aux talents de demain la formation et l'expertise nécessaires pour pérenniser l'innovation numérique. ●





Mesure et contrôle



50



Détecter une anomalie ou un changement, même minime, dans un environnement complexe ou distant exige de nouveaux outils de collecte et d'interprétation en temps réel des données opérationnelles. Autant de solutions qu'ABB propose à ses clients miniers, pétrogaziers et énergéticiens.

- 44 CRIS et ABB Ability™ automatisent l'inspection des rouleaux de convoyeurs
- 50 Le débitmètre multiphasique migre dans le Cloud
- 54 L'avenir du capteur électrique

e



54

MESURE ET CONTRÔLE

CRIS et ABB Ability™ automatisent l'inspection des rouleaux de convoyeurs

Les arrêts non planifiés des bandes transporteuses sont synonymes de pertes financières et opérationnelles, surtout pour les exploitations minières. Si l'offre ABB de suivi d'état couvre déjà les moteurs, entraînements, courroies et transformateurs des convoyeurs, les milliers de rouleaux porteurs de la bande et de la charge échappaient jusqu'ici à la surveillance. Mais plus pour longtemps...



Eduardo Botelho
ABB Process Industries
São Paulo (Brésil)

eduardo.botelho@br.abb.com



Harald Staab
ABB AG
Ladenbourg (Allemagne)

harald.staab@de.abb.com

01



—
01 L'industrie minière a fréquemment recours aux convoyeurs, aériens ou souterrains, dans toutes sortes de milieux. Le suivi d'état des milliers de rouleaux porteurs permet des gains économiques et opérationnels significatifs.

Alors que le prix de nombreux minerais est au plus bas, maximiser la productivité est la préoccupation première des exploitants miniers. Cela passe notamment par une fiabilité élevée des actifs critiques et donc le recours à des outils et des services de surveillance, d'analyse et d'optimisation intelligentes du procédé. Les convoyeurs en sont un maillon indispensable : les moteurs, entraînements, bandes et transformateurs de ces actifs sont généralement bardés de capteurs de surveillance. Pour autant, les milliers de rouleaux sur lesquels reposent la bande et la charge convoyée échappent à leur champ d'action.

—
Auparavant, les mesures se heurtaient au manque de fiabilité des capteurs thermiques ou vibratoires installés sur ou dans les rouleaux.

Les rouleaux en question

Des rouleaux trop bruyants dépassent les niveaux de bruit réglementaires, tandis qu'un rouleau défaillant consomme de l'énergie en pure perte, use la bande ou entraîne son décentrage, quand ce n'est pas sa rupture ou un incendie. Et ce sont autant de risques pour le personnel.

Les bandes transporteuses sont utilisées partout dans le monde, sous tous les climats →1 et à toutes les altitudes, y compris sous terre. Longues de plusieurs kilomètres, elles peuvent charrier des milliers de tonnes par heure, à la vitesse de quelques mètres par seconde. Une bande comporte généralement des dizaines de milliers de rouleaux →2,3, qui peuvent présenter de nombreux symptômes de dégradation : émission d'ultrasons, échauffement des faces de roulement, etc. La surveillance doit donc multiplier les techniques de détection d'usure et de défaillance. Auparavant, les mesures se heurtaient au manque de fiabilité des capteurs thermiques ou vibratoires installés sur ou à l'intérieur des rouleaux : étant donné la rudesse du milieu minier, il n'était pas rare que le capteur tombe en panne avant le rouleau lui-même !





02

L'inspecteur CRIS

ABB a montré que des relevés ponctuels réguliers (quotidiens, par exemple) combinant ultrasons et thermographie suffisaient à détecter la dégradation d'un rouleau bien avant sa défaillance. Le principe est le même que la pratique habituelle des tournées d'inspection par des techniciens spécialisés, mais sans les inconvénients de coût (caméras thermiques portatives), de subjectivité (l'œil et l'oreille du personnel), d'irrégularité (aléas de la mesure) et même de danger.

Le nouveau système mis au point par ABB, baptisé *Conveyor Rollers Inspection System* (CRIS), automatise entièrement l'opération. La détection est plus fine et plus cohérente, mais aussi moins coûteuse que l'inspection humaine. Les capteurs sont embarqués sur un dispositif mobile autorisant des contrôles rapides et répétés, sans danger.

CRIS, qui s'intègre à la plate-forme numérique ABB Ability™, convient à tous les systèmes de convoyage miniers du monde entier. En autonomie ou en complément d'autres services de convoyage ABB, CRIS surveille automatiquement tous les rouleaux pour repérer ou anticiper les défaillances. Dans ce dernier cas, il détermine l'état fonctionnel de chaque rouleau suivant son évolution sur une courbe

—
Le nouveau système ABB automatise entièrement l'inspection des rouleaux pour un résultat plus sensible, plus cohérent et moins coûteux.

de performance →4, ce qui permet de repérer les premiers signes de dégradation, au tout début de l'intervalle de défaillance potentielle : de quoi identifier les besoins de nettoyage, de lubrification ou de remplacement des rouleaux à l'occasion du prochain arrêt planifié.

L'inspection sur rail

Outre la maîtrise des techniques de détection, l'une des grandes difficultés de l'inspection réside dans le positionnement automatique, précis et fiable des capteurs. Sachant qu'il faut, a minima, enregistrer la température et les ultrasons, une installation à demeure est inenvisageable, ne serait-ce que pour des raisons de coût. Les capteurs doivent donc être amenés sur site, à intervalles réguliers, le temps nécessaire à la capture des données.



03

—
02 Une bande transporteuse peut s'étirer sur des kilomètres et aligner des milliers de rouleaux.

—
03 Tant leur vitesse de rotation élevée que les conditions ambiantes (vibration, chocs, poussière, chaleur, humidité, etc.) mettent les rouleaux à rude épreuve.

—
04 CRIS surveille le fonctionnement de chaque rouleau et signale le franchissement de l'intervalle de défaillance potentielle, qui oblige à planifier une intervention.

—
05 Prototypage de dispositif d'inspection CRIS

05a CRIS se compose d'une motrice et d'un chariot embarquant les capteurs dans une tête rotative et inclinable.

05b Profil très compact du dispositif

5c Le rail peut être fixé soit en A ou en C pour les bandes capotées, ou de préférence en B pour mieux visualiser les rouleaux.

Sur quoi allait-on monter les capteurs ? Un dispositif au sol, en hauteur, ou directement sur la bande ? S'est alors imposé le choix d'un chariot guidé sur rail →5, permettant de collecter les données automatiquement, des semaines durant, sans besoin d'intervention manuelle ou de maintenance.

Le rail, principal poste de dépense, est un simple profilé en « L », de préférence en acier, disponible dans le monde entier en dimensions normalisées. Ses supports de fixation sont également des pièces standard bon marché, qu'il suffit d'adapter au profil du convoyeur.

—
Le chariot embarquant les capteurs commande le mouvement de la motrice et le déplacement de la tête de détection rotative et inclinable.

Le dispositif mobile est un train suspendu (plus stable) composé d'au moins une motrice et d'un chariot intégrant les capteurs →5a. La motrice assure la double fonction de traction et d'alimentation électrique ; le chariot instrumenté commande son déplacement, ainsi que la rotation et l'inclinaison de la tête de détection. Programmées à l'avance suivant un plan d'inspection, les tournées évitent toute liaison radio continue avec le dispositif et garantissent un comportement prédictible et reproductible du système.

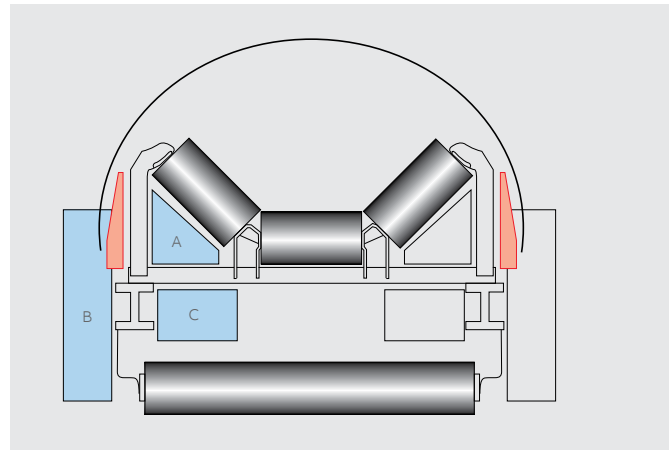
Le train complet pèse à peine 6 kg. Des garde-corps empêchent le déraillement et sécurisent le fonctionnement en éliminant tout risque de blessures pour le personnel. L'ensemble est équipé d'une coque en caoutchouc et d'un capot incliné, qui le protègent des chutes de pierres ou des déversements →5b.



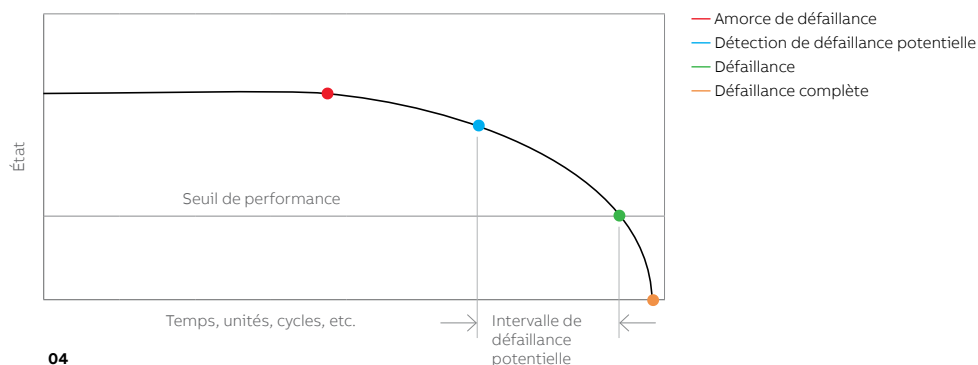
05a



05b



05c





06a



06b

Exécution et installation sur mesure

ABB a prévu un grand nombre de variantes pour s'adapter à toutes sortes d'environnements et de structures de convoyeurs →6a :

- Le rail peut se monter d'un côté ou de l'autre du convoyeur, voire des deux côtés : un même rouleau étant ainsi inspecté sous plusieurs angles, la détection n'en est que meilleure ;
- Des tronçons peuvent être incurvés pour contourner des obstacles →6b ou changer d'emplacement de détection (A, B ou C) →5c. Ces courbes, horizontales ou verticales, d'un rayon minimal de 1 m, sont réalisées en usine et expédiées sur le site d'installation ;
- L'angle d'inclinaison maximal en mode frottement est de 30°. Un mécanisme de pignon-crémaillère peut être ajouté pour franchir des pentes encore plus raides ;
- Les supports peuvent prendre différentes formes selon les points de fixation au rail : si le soudage est la méthode privilégiée pour

la pose et le raccordement des tronçons, le boulonnage est également possible pour les convoyeurs souterrains ou de charbon ;

- Il est possible d'ajouter un capot pour protéger le rail et le dispositif mobile ;
- Si la longueur ou l'inclinaison du convoyeur impose plus de puissance de traction ou de capacité de batterie, on peut ajouter une seconde motrice. De même, intégrer un chariot de capteurs supplémentaire accélère l'inspection ou améliore la détection ;
- La tête de détection est équipée d'une caméra thermique, d'une caméra vidéo à éclairage LED et d'un microphone à ultrasons. La configuration peut évoluer suivant l'application ou le milieu : microphones supplémentaires ou dans d'autres gammes de fréquences pour une meilleure cartographie sonore, suppression des caméras en environnements très pollués, par exemple.





08

06 Possibilités de montage du rail

06a Les supports de fixation s'adaptent à la forme du convoyeur.

06b Le rail peut être incurvé et/ou en pente.

07 Écran du poste de commande et d'analyse des données CRIS, avec la liste complète des rouleaux (à gauche), leur géolocalisation (au centre) et l'historique des inspections (à droite)

08 CRIS donne accès aux données d'inspection brutes ainsi qu'aux résultats de l'analyse, et génère, à intervalles réguliers, un rapport servant à planifier les interventions de maintenance.

À la fin de chaque tournée, CRIS retourne à la base afin de recharger sa batterie et de transmettre les données recueillies pour analyse.

Le poste de commande et d'analyse → 7,8 est l'interface graphique qui permet aux techniciens de visualiser et d'analyser les données, et de planifier à distance les inspections.

L'analyse des données historiques autorise un suivi d'état détaillé de l'ensemble de la bande.

Chaque tournée fournit un instantané détaillé de l'état des rouleaux. L'analyse des données historiques dresse un état des lieux de l'ensemble de la bande ; l'analyse des tendances permet de signaler une défaillance prochaine et de prévoir son remplacement.

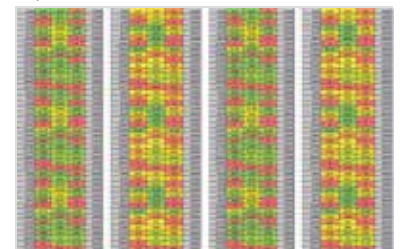
Avec CRIS, l'exploitant minier dispose d'un outil d'inspection flexible, 100 % autonome, aussi facile à installer qu'à utiliser et à entretenir. Le système se déplace le long de la bande transporteuse et utilise des capteurs mesurant un grand nombre de paramètres physiques pour identifier les défaillances imminentes. Autant de données qui aident à réduire les arrêts inopinés, le budget de maintenance, les pertes de production et le risque d'accidents pour le personnel. ●



Inspection Report

Belt Conveyor SP32C

Inspection Period: 23.04.2018 22:32:00 – 24.04.2018 04:45:55



ABB

Remerciements

ABB Review tient à saluer le dévouement, le travail accompli et la précieuse contribution apportée par le noyau dur de l'équipe CRIS : Otavio Rocha et Tiago Prata, ABB Process Industries, São Paulo (Brésil) ; Harshang Shah, Daniel Lasko et William Eakins, ABB Corporate Research, Bloomfield (États-Unis) ; Maria Rozou, ABB Process Industries, Baden-Dättwil (Suisse).

MESURE ET CONTRÔLE

Le débitmètre multiphasique migre dans le Cloud

Le pétrole puisé des entrailles de la Terre est un mélange d'huile, d'eau et de gaz, dont la mesure a toujours été difficile et coûteuse. Un obstacle aujourd'hui levé par le partenariat entre ABB et le spécialiste norvégien des logiciels d'analyse avancée Arundo Analytics, qui a débouché sur un débitmètre multiphasique virtuel basé sur le Cloud.



Espen Storkaas
ABB Offshore Oil & Gas,
Digital ABB
Oslo (Norvège)

espen.storkaas@
no.abb.com



Mogens Mathiesen
Arundo Analytics
Oslo (Norvège)

L'image d'Épinal des geysers d'or noir jaillissant des profondeurs a vécu. Les réserves faciles ont toutes été découvertes et exploitées jusqu'à la dernière goutte. La production de pétrole et de gaz se fait aujourd'hui plus discrète, souvent dans des lieux reculés ou par grands fonds. Et rares sont les puits débitant à l'envi un fluide exempt d'impuretés ; l'effluent extrait de la roche-réservoir est en réalité un mélange d'huile, de gaz, d'eau et de sable →1, dont la composition et les propriétés physico-chimiques varient en permanence.

Plus compacts et abordables
que les séparateurs mécaniques,
les débitmètres multiphasiques
n'en restent pas moins coûteux à
l'achat, à l'installation et à l'usage.

La proportion d'eau augmente avec la durée de vie du forage productif ; certains puits matures en produisent plus de 95 % !

Le sable, pour sa part, est en grande partie piégé par des filtres in situ, mais il peut tout de même passer entre les mailles du filet et s'écouler avec

le précieux liquide, risquant d'éroder conduites, vannes, etc. Enfin, du gaz naturel « associé » remonte également à la surface. En trop faible quantité pour être commercialisé, il est brûlé dans les torchères ; en plus grande densité, il est réinjecté dans la production.

Débitmétrie multiphasique

La mesure de ces composants hétérogènes intéresse au plus haut point l'industrie pétrogazière, qui a d'ailleurs testé de nombreuses méthodes au fil des décennies, chacune ayant ses avantages et inconvénients.

La séparation gravitaire, bien connue des pétroliers, a fait ses preuves : la ségrégation et la décantation des différents fluides de production se font sous l'action de la gravité, en fonction de leur densité, chaque phase étant ensuite évacuée dans une conduite distincte. Ce procédé mécanique a néanmoins ses revers : des contraintes de latence (temps de séjour du mélange important) et des séparateurs lourds et encombrants, surtout pour les gros débits. Or, sur une plate-forme en mer, l'espace est compté et cher.





01

—
01 Le brut est un mélange d'huile, de gaz, d'eau et de sable, dont il faut mesurer exactement les proportions et caractéristiques.

Les séparateurs partiels ont beau être moins onéreux, plus compacts et faciles à transporter, ils ne fournissent qu'une mesure instantanée de l'écoulement multiphasique.

—
Le numérique révolutionne la débitmétrie multiphasique avec une technologie économique et évolutive, qui évite d'installer sur site tout matériel supplémentaire.

Les débitmètres multiphasiques →2 sont aussi utilisés depuis des décennies. Ils s'appuient sur plusieurs principes et paramètres physiques (température, pression, densité, ultrasons, électromagnétisme) pour calculer le débit de chacune des phases composant le fluide. Mais cette technique sophistiquée, ainsi que son matériel et ses logiciels, ont un coût : les appareils sont complexes à réaliser et à étalonner, alors même que bon nombre de spécialistes de l'instrumentation approchent de l'âge de la retraite. Certes plus compacts et économiques

que les séparateurs mécaniques, ces débitmètres restent coûteux à l'achat, à l'installation et à l'usage. Qui plus est, la diversité des sites et conditions de terrain interdit d'employer des débitmètres classiques : il faut des instruments taillés sur mesure pour l'application. Pas étonnant que les pétroliers y regardent à deux fois avant d'équiper un puits.

Aujourd'hui, le numérique révolutionne la débitmétrie multiphasique et rend cette technologie économique et accessible aux exploitants de toutes tailles, sans installation de matériel supplémentaire sur site.

Du réel au virtuel

De la coopération entre Arundo Analytics et ABB est né le premier débitmètre multiphasique virtuel basé sur le cloud pour l'offshore pétrogazier. Une nouvelle solution qui s'inscrit pleinement dans l'offre intégrée Ability™ d'ABB.

Arundo Analytics et ABB se complètent parfaitement. Le premier fournit le logiciel de déploiement et de gestion de solutions de collecte, de statistique et d'analyse des données



02

industrielles de toute l'entreprise, dans le cloud comme en périphérie de réseau. Il utilise les récents progrès de la science des données, de l'apprentissage automatique et de l'analytique pour lier ces ressources à des modèles avancés, dont les enseignements permettent d'éclairer la prise de décision. ABB, pour sa part, a plus de 50 ans d'expérience dans la modélisation et la simulation, notamment de chaque phase et des mélanges dans les écoulements multiphasiques : de quoi fournir des analyses détaillées aux industriels du pétrole et du gaz.

Les analyses réalisées par le débitmètre fournissent des données temps réel sur les propriétés de chaque constituant du fluide de production.

Le nouveau débitmètre multiphasique virtuel d'ABB est une solution « cloud vers cloud » qui couple la plate-forme ABB Ability™ au logiciel *Composer and Fabric* d'Arundo pour démocratiser à moindre coût la débitmétrie multiphasique dans le pétrole et le gaz. Ses analyses procurent aux exploitants de puits des données temps réel sur les propriétés de chaque constituant du fluide de production →3.

Le strict nécessaire

Atout majeur de ce nouvel outil : sa capacité à conjuguer les connaissances existantes sur le champ pétrolifère et les données acquises par l'instrumentation habituelle du puits producteur et des canalisations pour calculer en temps réel les débits de pétrole, de gaz et d'eau. Autrement dit, cet appareil virtuel peut se passer de débitmètres multiphasiques « en dur » ou de tout autre matériel spécial, et se contenter des instruments en place (capteurs de pression, température, débit, etc.). N'importe quel appareil qualifié, toutes marques confondues, fait l'affaire.

Les retombées financières ne sont pas négligeables : utiliser l'existant, c'est économiser les centaines de milliers de dollars normalement déboursés pour l'achat, le paramétrage et la maintenance des équipements de mesure multiphasiques (séparateurs ou débitmètres) mais aussi éviter le recrutement de spécialistes de l'installation, de la mise en service et de l'étalonnage des appareils.

Atout majeur du nouveau débitmètre ABB : la combinaison des connaissances sur le champ pétrolifère et des données remontées par l'instrumentation en place.

Finie également la fermeture ou la mise à l'arrêt du puits pour réaliser la mesure. Le débitmètre multiphasique virtuel d'ABB ne perturbe en rien la production, épargnant à l'exploitant le manque à produire de milliers de barils non extraits.

D'un nuage à l'autre

L'outil met en œuvre un modèle d'écoulement des trois phases, basé sur les données spécifiques du puits :

- Géométrie et profil (longueur, inclinaison, diamètre, etc.) ;
- Pression, volume et température ;
- Caractéristique de la duse de production ;
- Composition du fluide testé en laboratoire ;
- Trois mois de données d'exploitation a minima.

Ces données rapatriées en temps réel des appareils de terrain viennent actualiser le modèle et en améliorer les capacités d'interprétation.

Les logiciels ABB Ability et Arundo Analytics résident tous deux dans le Cloud, ce qui facilite l'échange des données entre les deux plates-formes mais aussi avec les tiers habilités du client ; un tableau de bord permet d'accéder à n'importe quelles données du débitmètre virtuel stockées dans le référentiel du client.

—
02 Débitmètre
multiphasique ABB

—
03 Grâce à son affichage
clair et simple, le
débitmètre virtuel d'ABB
permet de maximiser
l'exploitation des données
collectées des puits pour
identifier rapidement les
moyens d'améliorer la
production.

Grâce à cet outil évolutif, les entreprises jusqu'ici incapables de mesurer en continu leurs écoulements multiphasiques peuvent désormais y prétendre à une fraction du coût auparavant nécessaire pour mettre en place l'infrastructure. Son modèle de paiement en fonction des besoins (pay-as-you-grow) facilite l'ajout de capacités pour parer à l'extension des opérations et au renforcement de la surveillance. L'entreprise ayant opté pour le débitmètre multiphasique virtuel peut en disposer partout dans le monde pour suivre et comparer les performances d'une multitude de puits.

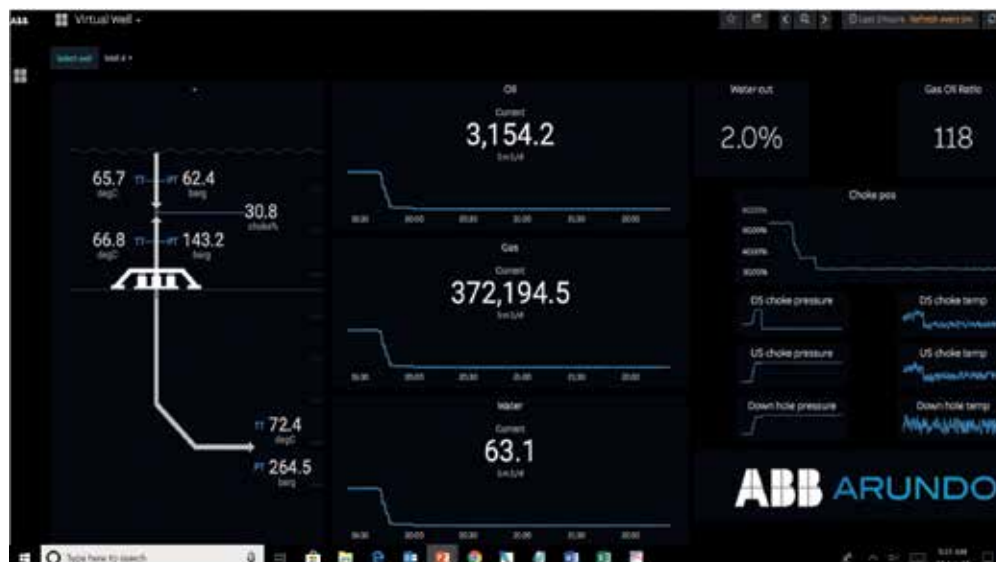
Les logiciels ABB Ability et Arundo Analytics résident tous deux dans le Cloud, ce qui facilite le partage des données.

Au-delà du multiphasique

Les difficultés d'accès aux réserves pétrolières et gazières, et les coûts croissants de la prospection comme de la production poussent à optimiser le rendement et la productivité de l'existant. En faisant de l'outil analytique un service, le

débitmètre multiphasique virtuel fournit aux professionnels du domaine des données temps réel sur les propriétés de chaque constituant du fluide de production : de quoi augmenter la transparence, la fiabilité et la rentabilité des opérations, tout en minimisant les coûts d'exploitation. Les sociétés pétrogazières de toutes tailles ont tout à gagner de cette solution économique et évolutive.

Grâce au logiciel d'Arundo, qui combine modèles physiques et dernières avancées de l'informatique et de l'apprentissage automatique, ABB peut s'appuyer sur l'expérience acquise dans le développement du débitmètre multiphasique virtuel pour proposer aux industriels du pétrole et du gaz d'autres applications innovantes bâties sur les données du cloud. ●



MESURE ET CONTRÔLE

L'avenir du capteur électrique

Disposer de mesures précises de tension, d'intensité ou de puissance, à tous les paliers du réseau électrique, est une exigence croissante qui n'est pas sans soulever des difficultés techniques. ABB a des solutions pour optimiser la performance de ses capteurs : nouveaux matériaux, technologies et méthodes de conception innovantes, simulation avancée, etc.



Adrian Hozoi
ABB Corporate Research
Ladenbourg (Allemagne)

adrian.hozoi@de.abb.com

De tout temps, les exploitants et gestionnaires de réseaux électriques ont voulu connaître les valeurs d'intensité, de tension, de puissance et d'énergie [1] →1. Ce besoin est encore plus criant aujourd'hui avec l'intégration de la production renouvelable décentralisée, le recours accru à la conversion de puissance et à la maîtrise de la demande en énergie, l'extension des réseaux existants et la montée en charge de la mobilité électrique.



Rolf Disselnkötter
Ancien collaborateur ABB

Les solutions du commerce ne satisfont pas toujours aux spécificités technico-économiques de l'application.

Sans compter les configurations changeantes des réseaux intelligents, qui imposent d'optimiser le transit de puissance sans sacrifier la qualité de la fourniture, mais aussi le remplacement des infrastructures vieillissantes : les rénovations sont souvent l'occasion d'ajouter des fonctionnalités ou d'intégrer des équipements numériques, gages de fiabilité accrue.



—
01 La mutation du réseau électrique (transport, distribution et conduite) appelle à repenser la mesure des grandeurs telles que courant, tension, puissance et énergie. L'innovation électrotechnique est au rendez-vous. (photo : Anthony Byatt)

01



Les applications de protection, de mesure, de surveillance et de conduite doivent ainsi connaître et piloter avec précision les grandeurs électriques en tout point du réseau. Si les solutions du commerce permettent d'augmenter le nombre de capteurs, elles ne répondent pas toujours aux exigences technico-économiques de l'application. De nouveaux concepts et solutions électroniques élargissent le champ des possibles et, portés par l'évolution de la normalisation (CEI 61869, CEI 61850, CEI 62052, CEI 62053, etc.), facilitent l'intégration du numérique dans les systèmes de protection et de contrôle-commande.

—
Il est difficile de concevoir des capteurs plus précis que les transformateurs de mesure.

Mesure à tous les étages

Les capteurs d'ABB couvrent la totalité des applications, depuis les dispositifs basse tension (BT) utilisés en gestion technique du bâtiment, dans la distribution électrique industrielle ou encore la commande des convertisseurs et entraînements de puissance, jusqu'aux appareillages de coupure haute tension (HT) isolés dans l'air ou dans le gaz, en passant par les dispositifs de protection et de surveillance de l'appareillage moyenne tension (MT) ou les grosses machines MT. Contrainte supplémentaire de l'instrumentation MT et HT : les appareils secondaires comme les relais →5, alimentés en BT, exigent des capteurs aux caractéristiques bien spécifiques.

Disposer de capteurs de courant et de tension plus petits, plus légers et meilleur marché que les traditionnels transformateurs de mesure passifs serait un plus pour de nombreuses applications. Le principal avantage de ces « transformateurs de mesure non conventionnels » est leur moindre encombrement, qui facilite leur insertion à l'existant (appareillages à isolation gazeuse MT, traversées ou isolateurs de poteau →6). Par contre, leur précision peine à dépasser celle des transformateurs de mesure classiques.

Autre argument en faveur de l'utilisation de capteurs : l'électronique de mesure dispose de plus en plus souvent d'une alimentation auxiliaire et n'a donc pas besoin de transformateur. De plus, les applications en courant continu (CC), qui sortent du champ d'action des transformateurs de mesure passifs, se multiplient.

Un capteur électrique doit présenter une grande plage dynamique pour limiter le nombre d'étendues de mesure utilisées par l'application.

Si les capteurs à fibre optique se cantonnent jusqu'à présent à la mesure de très fortes amplitudes de courant ou de tension [3], les applications MT et BT recourent presque exclusivement à des dispositifs comme les diviseurs de tension, les shunts, ainsi que les capteurs inductifs et capteurs de champ magnétique, bien moins chers. L'offre de ce type de produits a beau être abondante, un industriel cherchant à innover pour une application spécifique n'aura guère d'autre choix que de développer sa solution !

Enjeux

Bien conçu, un transformateur de mesure passif n'exige pas de circuit de compensation et affiche de ce fait une bonne linéarité et un faible déphasage. En fonctionnement normal, il est peu sensible aux perturbations des champs extérieurs, de la température ou du vieillissement. Auto-alimenté, il ne souffre d'aucun décalage



—
02 Borne de recharge
rapide Terra 53 d'ABB

—
03 Disjoncteurs basse
tension Emax 2

d'impulsions CC. À l'inverse, les capteurs actifs ont besoin d'une alimentation externe et de dispositions particulières, en fonction de leur principe de fonctionnement, pour offrir une précision de mesure suffisante.

Par ailleurs, un capteur électrique doit généralement couvrir une grande plage dynamique pour limiter le nombre d'étendues de mesure propres à une application donnée. Dans d'autres cas de figure, il nécessite une large bande passante (commande de convertisseurs) ou une très faible consommation électrique (appareils autonomes, par exemple). Autres exigences : accroître la fiabilité de l'électronique et réduire la diaphonie dans les systèmes polyphasés à haute densité d'intégration, ou encore le décalage CC.

Concilier ces impératifs n'est pas une mince affaire et passe souvent par de nouvelles méthodes de conception. C'est la contrepartie aux avantages



03

de ces capteurs : encombrement et coût réduits, fonctionnalités étendues, facilité d'intégration électrique et mécanique. Chaque application ayant ses exigences propres, il n'existe malheureusement pas d'optimum universel.

—
Le transformateur de courant est moins encombrant de 35 % et moins cher de 25 % que les solutions actuelles.

Les détails qui font la différence

Plusieurs projets de développement ont réussi à améliorer les performances et à réduire les coûts de capteurs électriques de courant et de tension existants (bobines de Rogowski ou diviseurs ohmiques). Ces capteurs équipent divers produits MT d'ABB tels que des capteurs combinés courant/tension, des traversées ou des isolateurs de poteau →6a.





04

Ces projets visaient deux grands objectifs : améliorer l'amplitude et la précision de phase sur des plages dynamiques étendues, réduire les diaphonies magnétiques et électriques, en tenant compte à chaque fois du vieillissement et de la dérive de température. Une étroite collaboration avec les fournisseurs de composants a permis d'optimiser la conception, le choix des matériaux et les procédés de fabrication afin de garantir l'homogénéité des enroulements, la stabilité thermique et temporelle, ainsi que la tenue en tension des capteurs.

—
L'innovation technologique exige une étroite collaboration entre chercheurs, fournisseurs et universitaires.

Une batterie d'essais, tant sur la sortie analogique de chaque composant que sur les capteurs raccordés à un concentrateur numérique, assurant le traitement du signal et l'auto-étalonnage, ainsi qu'à une interface CEI 61850-9-2 LE avec synchronisation horaire, a permis de vérifier la conformité à ces exigences draconiennes.

Le diviseur de tension →6b développé par ABB et protégé par brevet offre une précision de mesure et une tenue en tension bien supérieures, pour une taille et un coût divisés par deux. Cette innovation équipe désormais bon nombre de ses capteurs MT et a donné naissance à des partenariats durables avec de nouveaux fournisseurs.

Un autre projet plus récent s'est attaché à améliorer la conception du transformateur d'adaptation. Ce composant, inséré dans les relais de protection des réseaux de transport→5,

—
04 Tableau moyenne
tension isolé dans l'air
UniGear ZS1

—
05 Relais de protection
Relion REC650

se situe à l'interface de l'électronique et des transformateurs de courant primaire HT, dont la sortie nominale est de 1 ou 5 A. Les objectifs sont les mêmes : réduction de la taille et du coût, nette amélioration de la plage dynamique et des tolérances vis-à-vis des impulsions CC superposées, afin de résister aux courts-circuits et à des surintensités pouvant atteindre 100 fois le courant nominal.

ABB a cette fois-ci opté pour un transformateur de courant (TC) basse puissance →7, un choix justifié par le fait que le relais possède sa propre alimentation et n'a donc pas besoin d'être alimenté par le TC, lequel peut alors être couplé à une très faible charge.

—
Les contraintes techniques et financières imposent souvent de développer un capteur innovant sur mesure.

Cette solution, renforcée par l'optimisation de la conception et des matériaux du noyau magnétique, a débouché sur un produit répondant au cahier des charges, mais aussi plus précis, plus compact de 35 % et moins cher de 25 % que les produits actuels. Fort de ces atouts, le nouveau TC ne s'en tiendra vraisemblablement pas à l'application HT visée au départ mais intéressera également la distribution MT→4.

Parallèlement à ce projet, ABB a développé une autre solution de pointe : un transformateur de courant actif qui présente l'avantage d'une meilleure réponse aux basses fréquences et d'une dynamique étendue pour un poids encore réduit de 27 %, mais l'inconvénient d'un coût équivalent à celui de l'offre existante, puisque ce dispositif nécessite des composants électroniques supplémentaires. ABB poursuit ses développements pour certaines applications BT, à moindre coût.



05

ABB développe aussi des capteurs de courant continu avec, par exemple, la version CC de son disjoncteur BT Emax 2 →3, dans le but de remplacer les shunts résistifs par des réseaux de capteurs de champ magnétique. Cette configuration aurait le double avantage de réduire les coûts et d'éliminer les pertes de puissance, inévitables avec des shunts de forte intensité. Les principaux mots d'ordre sont ici précision, stabilité et réduction de la diaphonie, fondamentale dans les applications polyphasées.

La recherche ABB s'intéresse aussi au comptage de courant continu dans les bornes de recharge rapide des véhicules électriques.

Une autre activité de la recherche ABB porte sur le comptage de courant continu dans les bornes de recharge rapide des véhicules électriques →2. La mesure de puissance en sortie du convertisseur par un compteur monté sur rail DIN, et non

en entrée - où les pertes fer et cuivre risquent de fausser la mesure -, permet de déterminer beaucoup plus précisément l'énergie totale injectée dans la batterie. Ce type de compteur n'est pas encore commercialisé.

Coopération

Le développement d'une nouvelle technologie destinée à être mise en œuvre dans un produit exige une étroite collaboration entre chercheurs, fournisseurs et universitaires. En effet, toute nouvelle conception est susceptible de se répercuter sur le procédé de fabrication des composants (résistances bobinées ou à couche épaisse, par exemple).

L'enseignement supérieur est un partenaire de choix quand il s'agit d'évaluer et de développer de nouvelles technologies. ABB et l'École polytechnique de Milan (PoLiMi) se sont ainsi associés dans le domaine des capteurs électriques. Les chercheurs de PoLiMi évaluent les conceptions originales de shunts, étudient les capteurs de courant magnétiques et analysent les transformateurs et éléments inductifs destinés aux applications de détection et autres.



06a



06b

06 Diviseur ohmique pour la mesure de tension

06a Diviseur intégré dans un isolateur de poteau moyenne tension

06b Différence de taille entre l'ancien diviseur (à droite) et le nouveau (à gauche)

07 Démonstrateur ABB : circuit imprimé à quatre transformateurs adaptateurs

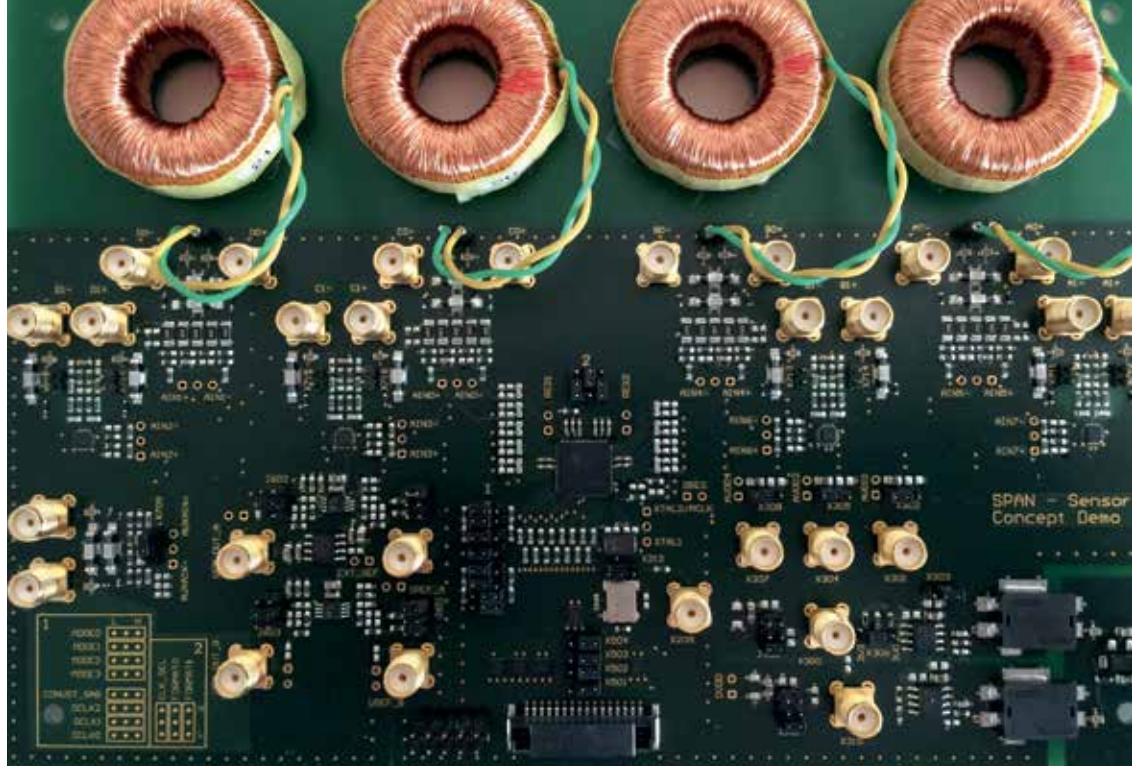
Bibliographie

[1] Disselnkötter, R., Hozoi, A., « Current Sensors for Industry and Power Distribution », *ABB Research Center Germany Annual Report 2008*.

[2] Wildermuth, S., Disselnkötter, R., et al., « Condition monitoring of synchronous motors based on measurement of circulating stator currents », actes de la conférence IEEE *Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*, Barcelone (Espagne), 2014.

[3] Bohnert, K., et al., « Pleins feux - Un capteur de courant à fibre optique dans un disjoncteur haute tension », *ABB Review 01/2014*, p. 13-17.

[4] Bödrich, T., et al., « Transient Finite Element Analysis of a SPICE-coupled Transformer with COMSOL® Multiphysics », *Conférence COMSOL*, Paris, 2010.



07

Les propriétés magnétiques des matériaux doux sont à cet égard cruciales puisqu'elles déterminent la plage dynamique, l'amplitude, la précision de phase, le décalage et la bande passante des capteurs. Les paramètres géométriques jouent également sur ces aspects, ainsi que sur la diaphonie et les tolérances CC. Certaines applications doivent aussi tenir compte de la réponse en régime transitoire d'un composant magnétique, surtout quand il est intégré à un circuit électrique.

Modéliser avec précision la réponse en régime transitoire d'un composant magnétique était l'un des objectifs du projet.

Modéliser avec précision ce comportement était donc l'un des objectifs du projet. Pour les géométries complexes, la modélisation s'appuie généralement sur la méthode des éléments finis [4], qui exige toutefois de longs temps de simulation : une contrainte inacceptable en conception. C'est pourquoi ABB s'en est tenu à des composants peu complexes, modélisables par simple analyse paramétrique. Le modèle tient ainsi compte des propriétés magnétiques du matériau (anisotropie, hystérésis statique et dynamique)

et des principaux éléments de géométrie (circuits magnétiques, entrefers, bobines et flux parasites). Les modèles reposent sur des blocs de construction élémentaires décrivant différents types de composant magnétique. ABB envisage d'implanter des bibliothèques de modèles de composants et de matériaux magnétiques étalonnés qui serviront à modéliser, à analyser et à optimiser la conception dans d'autres projets.

Intérêt majeur

Une récente enquête interne ABB a confirmé la forte demande de capteurs électriques dans de multiples environnements. Malgré l'offre abondante du marché, les contraintes techniques et financières imposent souvent de développer une solution innovante sur mesure. Cette tendance concerne toutes les plages de tension et applications : protection contre les surintensités, détection d'arc, comptage d'énergie, commande, suivi d'état, surveillance de charge, etc. L'intégration des énergies renouvelables, la gestion des réseaux électriques du futur, l'automatisation des bâtiments et la révolution numérique constituent autant de relais de croissance. Les progrès de la simulation ainsi que l'émergence de nouveaux matériaux, technologies et produits stimuleront la conception et le développement de nouveaux capteurs. ●



Puissance

A photograph of a high-voltage power line tower, likely a transmission tower, dominating the right side of the frame. The tower is made of metal lattice and has several power lines attached to it. In the background, there are more towers and a landscape with green fields and hills under a cloudy sky. The word "Puissance" is overlaid in large, bold, black letters across the middle of the image.

L'électricité fut l'énergie du XX^e siècle et ABB à l'avant-garde de cette révolution technologique. Aujourd'hui, le Groupe accompagne les mutations de la production et de la distribution électrique pour répondre à notre soif croissante d'énergie durable.

- 64 Le CCHT augmente le transit de puissance
- 70 Calcul des courants de court-circuit



70

PUISSANCE

Le CCHT augmente le transit de puissance

Le réseau de transport d'électricité en courant alternatif, qui doit faire face à notre boulimie énergétique et à l'intégration des renouvelables, est au bord de la saturation. Pour autant, augmenter les capacités de transit n'est ni aisé ni abordable. La réponse pourrait venir du courant continu à haute tension, qui permet de monter en puissance sans construire de nouvelles lignes.

**Peter Lundberg
Bjorn Jacobson**
ABB Power Grids,
Grid Integration
Ludvika (Suède)

peter.lundberg@
se.abb.com
bjorn.jacobson@
se.abb.com

**Vinothkumar K
Gaurav-Kumar Kasal**
ABB GISPL
Chennai (Inde)

vinothkumar.k@
in.abb.com
gaurav-kumar.kasal@
in.abb.com

Shanthakumar MS
ABB India Ltd.
Gurgaon (Inde)

shanthakumar.MS@
in.abb.com

Abhay Kumar
ABB AB
Ludvika (Suède)

abhay.kumar@
se.abb.com

La consommation électrique augmente dans le monde entier, en particulier dans les pays en développement. Cette soif d'énergie, couplée à l'urgence climatique, donne des ailes à la production d'origine renouvelable (EnR). De fait, les deux sources d'énergie qui connaissent actuellement la plus forte croissance sont le solaire et l'éolien. Une fois produite, l'électricité doit être acheminée jusqu'au consommateur : cette injection de puissance supplémentaire sollicite les réseaux de transport en courant alternatif (CA) bien au-delà de leurs capacités nominales. Pour corser le tout, l'intermittence des EnR complique la planification économique des capacités de transit.

—
L'injection d'électricité
d'origine renouvelable sollicite
les réseaux de transport en
courant alternatif bien au-delà
de leurs capacités nominales.



— 01 Augmenter la capacité de transit d'un réseau de transport en courant alternatif a toujours été une opération délicate. Passer au continu apporte une réponse à ce problème sans exiger la construction d'infrastructures encombrantes et coûteuses, ni la création de nouveaux couloirs de passage.

La première solution qui vient à l'esprit, construire des lignes supplémentaires, est loin d'être idéale : outre l'investissement conséquent, l'ouverture de nouveaux couloirs de passage a une empreinte environnementale non négligeable.

Les liaisons CCHT ont de nombreux avantages sur les lignes CA.

Sans compter les études techniques et innombrables permis, autorisations et procédures d'expropriation nécessaires, etc. Il est donc logique que les gestionnaires des réseaux de transport (GRT) s'intéressent à toute technologie susceptible d'améliorer les capacités actuelles et d'intégrer les EnR sans avoir à construire de nouvelles infrastructures.

Le choix du courant continu

Le courant continu à haute tension (CCHT) a de nombreux atouts pour remplacer l'alternatif: transit de puissance supérieur jusqu'à la limite thermique [1], faibles pertes, grande souplesse d'exploitation et de commande (d'où une meilleure réactivité aux perturbations induites par le raccordement des EnR), moindre emprise au sol, entre autres. Les réseaux CCHT reposant sur des convertisseurs à source de tension, notamment, permettent une régulation indépendante des puissances réelle et réactive, un soutien de tension CA et un redémarrage sur panne générale. Les réalisations présentées dans cet article, avec leurs principales caractéristiques techniques, offrent un panorama des écueils et des atouts du passage au CCHT pour un réseau de transport CA.



Environnement	Technique	Économie
Le niveau de pollution dans la zone traversée par la ligne CA dimensionne les lignes de fuite des isolateurs CC.	Plusieurs configurations CCHT sont possibles : monopolaire, bipolaire ou hybride.	En dépit des pertes engendrées par le poste de conversion, les faibles pertes linéiques et la capacité de transit améliorée diminuent le coût de fonctionnement en CC.
Les conditions climatiques déterminent le niveau de nuisances sonores et radioélectriques produites par la liaison CC.	Le niveau de tension CC dépend des lignes de fuite au niveau des pylônes. Le courant admissible, basé sur la capacité thermique du conducteur, limite le transit de puissance de la ligne CC.	Les investissements dépendent surtout du type de pylône CA, du poste de conversion et de la configuration CCHT envisagés, ainsi que de la distance à parcourir.
Les effets de couronne et de champ sont fonction du courant, de la tension et de la configuration, ainsi que du positionnement des conducteurs.	Il peut être nécessaire de modifier les isolateurs, voire le pylône ou le conducteur, pour obtenir les valeurs de courant et de tension CC souhaitées.	Malgré les éventuelles modifications structurelles, il est plus rapide de transformer une ligne existante que d'obtenir les permis pour en construire une nouvelle.

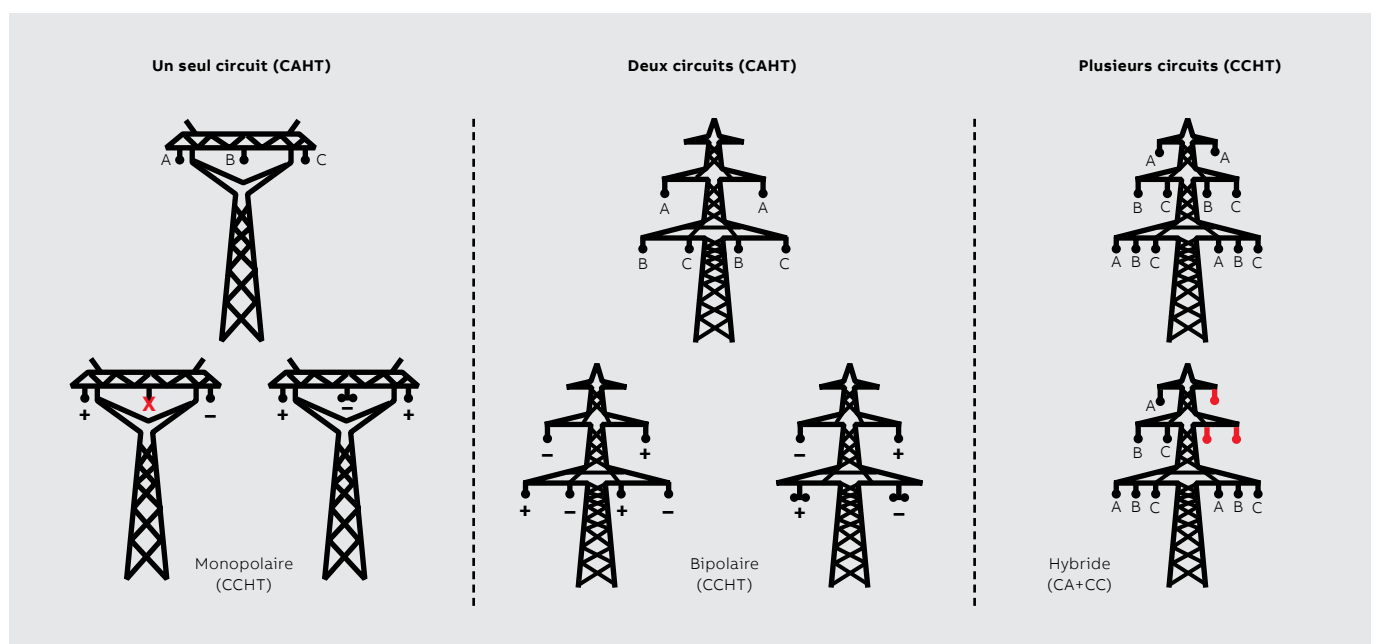
02

Passage au CCHT : principes de base

La transformation d'une ligne CA en CCHT implique une réflexion approfondie sur les aspects environnementaux, techniques et économiques de l'opération →2.

Le passage au CCHT implique souvent de modifier la structure du pylône, les isolateurs et les conducteurs.

Une fois le passage au CCHT entériné, il reste à choisir la configuration à adopter en fonction de la nature des pylônes et de l'espace disponible : monopolaire ou bipolaire symétrique/asymétrique, ou solution hybride. Par exemple, une ligne de transport CA horizontale à un seul circuit peut être remplacée par une ou deux lignes CCHT monopolaires symétriques, voire bipolaires. Quand une liaison CA comporte deux circuits ou plus, il est possible de transformer une ou plusieurs lignes CA en CCHT →3, mais la substitution n'est pas immédiate ; il faut souvent modifier la structure du pylône, les isolateurs et les conducteurs [1]. Les isolateurs CA en céramique sont généralement remplacés par des composants en verre trempé haute résistance ou composite pour respecter les distances d'isolement [2].



03

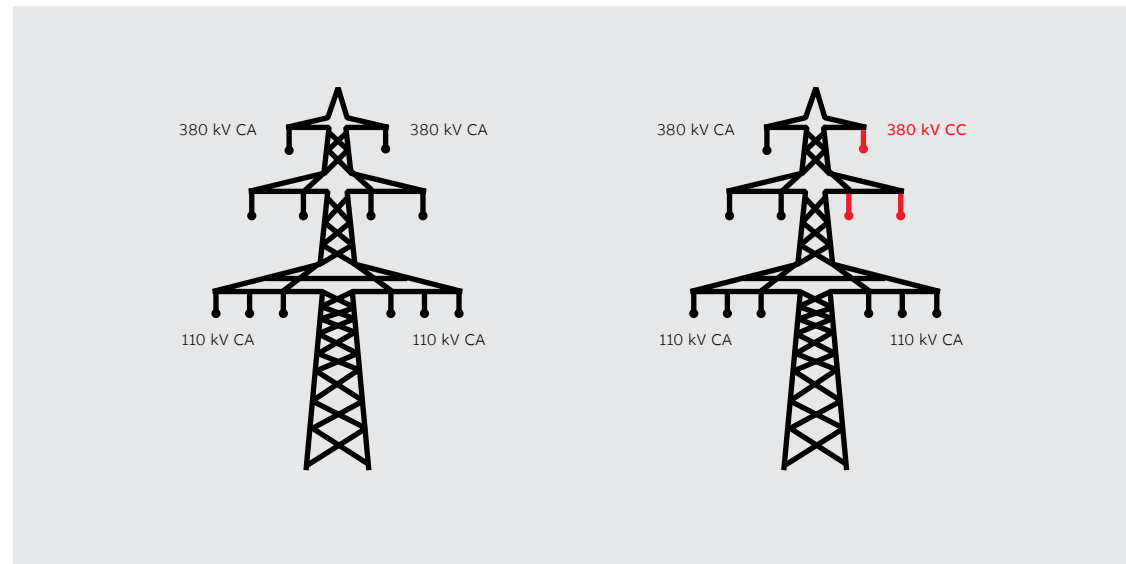
—
02 Passage au
CCHT : critères
environnementaux,
techniques et
économiques

—
03 Exemples de
configuration

—
04 Configuration retenue
pour le projet UltraNet en
Allemagne (© Amprion/
TransnetBW)

—
05 Capacité de transit
des lignes CA et CC
à divers niveaux de
tension, selon la
température ambiante

04

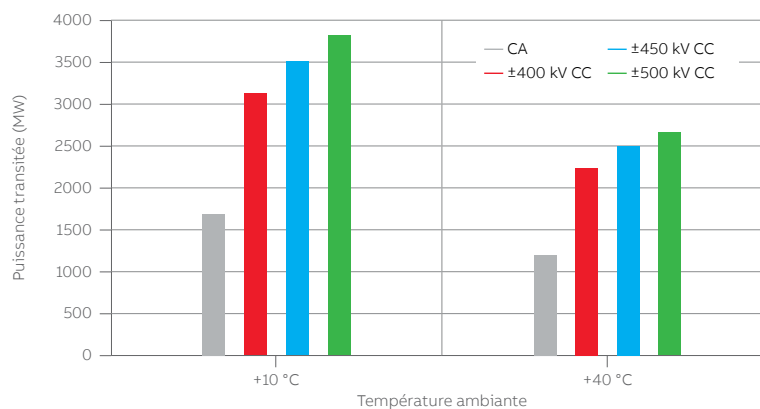


Réalisations

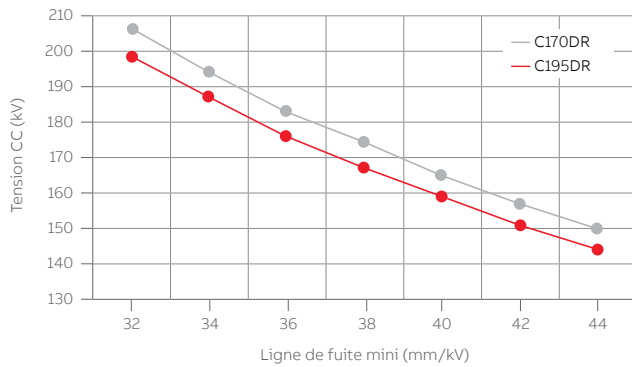
Divers projets de conversion au CCHT sont en cours de réalisation, à commencer par la liaison CA de 400 kV UltraNet, en Allemagne. UltraNet se compose de deux lignes de 380 kV et deux de 110 kV qui relient sur 340 km la Rhénanie-du-Nord-Westphalie au Bade-Wurtemberg [3].

—
En passant de 380 kV CA à 380 kV CC, la liaison a vu sa capacité de transit significativement augmenter.

Une des lignes 380 kV CA a été convertie en CC, augmentant significativement la puissance transmise →4 : ce sont ainsi quelque 2000 MW issus de la production éolienne en Mer du Nord qui alimenteront le bassin industriel du sud de l'Allemagne. On pourrait encore augmenter le transfert de puissance en élevant le niveau de tension, mais la hausse de température ainsi induite augmenterait la flèche des conducteurs, entraînant le non-respect des distances de garde ; à titre indicatif, l'allongement est d'environ 1,3 m pour un conducteur à 40 °C avec une chaînette à 0 °C [2].



05



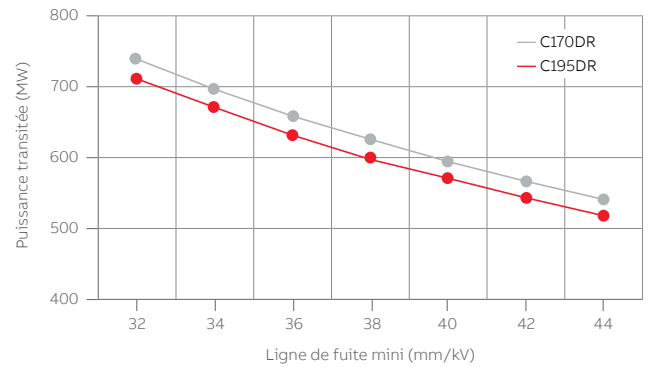
06

Le remplacement d'une liaison CA de 33 kV entre le nord du Pays de Galles et l'île voisine d'Anglesey par une liaison CCHT symétrique monopolaire de 27 kV, baptisée Angle-DC, a augmenté de 23 % la capacité de transit à une température de fonctionnement de 50 °C [4]. Cette valeur pourrait même atteindre 35 %, à une température de câble de 65 °C.

Sur la liaison UltraNet, la capacité de transit pourrait augmenter de 35 %, à une température de fonctionnement de 65 °C.

Niveau de tension CC

La longueur de la chaîne d'isolateurs détermine la distance de garde, qui conditionne à son tour la tension CC maximale. L'intensité maximale admissible dépend quant à elle de la capacité thermique assignée du conducteur. Le transit de puissance maximal sur la liaison après conversion CA-CC résulte donc de la combinaison du niveau de tension CC retenu et de la capacité thermique assignée.



07

La longueur de la chaîne d'isolateurs est fonction de la ligne de fuite exigée, elle-même régie par les conditions ambiantes (sels marins dans les régions côtières, pollution atmosphérique au voisinage d'usines, etc.). La ligne de fuite est plus longue pour une liaison CCHT que pour son équivalent CA.

Pour une liaison CA type de 220 kV, et en conservant la même longueur de chaîne (2030 mm) pour maintenir la flèche, la tension de la liaison CCHT symétrique monopolaire sera comprise entre 146 et 206 kV. La valeur exacte dépendra de la ligne de fuite CC imposée par la pollution ambiante.

Les isolateurs composites, plus résistants à la pollution et aux niveaux de tension CC élevés, sont une autre piste de progrès.

Le graphe →6 indique le niveau de tension CC en fonction de la ligne de fuite pour deux modèles d'isolateurs en verre trempé de marque Sediver (C170DR et C195DR). La capacité de transit →7 se situe donc entre 520 et 740 MW pour une liaison CCHT symétrique monopolaire, en supposant une capacité thermique assignée de 1800 A.

—
06 Tension CC en fonction
de la ligne de fuite

—
07 Transit de puissance
en fonction de la ligne
de fuite

—
08 Modification
structurale du pylône
pour élever le niveau de
tension CC

Bibliographie

[1] Häusler, M., et al.,
« Augmentation de la
capacité de transport de
lignes aériennes par la
transformation de courant
triphase en courant continu »,
Revue ABB, 3/1997, p. 4-11.

[2] Lundkvist, J., et al.,
« Feasibility study for
converting 380 kV AC lines
to hybrid AC/DC lines »,
*EPRI High-Voltage Direct
Current & Flexible AC
Transmission Systems
Conference*, Westminster
(États-Unis), p. 1-25,
novembre 2009, disponible
(en anglais) sur : [https://
library.e.abb.com/
public/7244005797
65e22cc1257720004100e5/
Conversion%20of%20AC%
20lines%20to%20hybrid%
20AC-DC%20lines_
09MP0519.pdf](https://library.e.abb.com/public/724400579765e22cc1257720004100e5/Conversion%20of%20AC%20lines%20to%20hybrid%20AC-DC%20lines_09MP0519.pdf).

[3] « Project description:
Ultrahigh Voltage », disponible sur :
[https://www.amprion.
net/Grid-expansion/Our-
Projects/Ultrahigh-Voltage/](https://www.amprion.net/Grid-expansion/Our-Projects/Ultrahigh-Voltage/).

[4] « Angle-DC: 2015
Electricity Network
Innovation Competition »,
disponible (en anglais) sur :
[https://www.ofgem.gov.
uk/sites/default/files/
docs/angle_submission.pdf](https://www.ofgem.gov.uk/sites/default/files/docs/angle_submission.pdf).

[5] Khan, M. I., Agrawal, R. C.,
« Conversion of AC line
into HVDC », *IEEE PES
Conference and Exposition*,
Durban (Afrique du Sud),
juillet 2005.

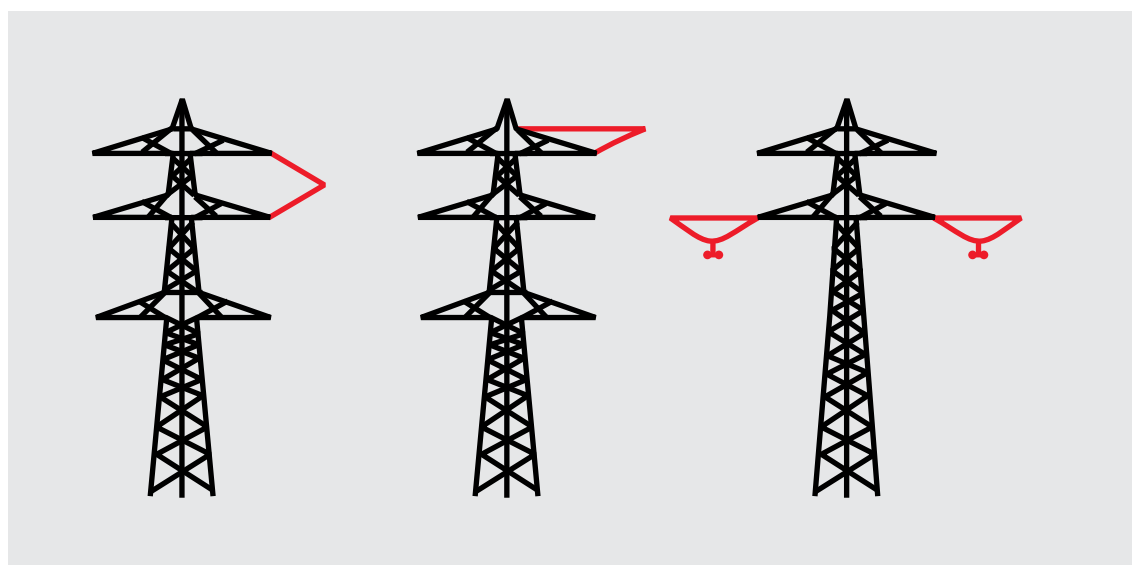
—
De plus en plus de lignes CA
seront converties au CCHT, qui
offre une plus grande capacité
de transit sans infrastructures
supplémentaires.

L'emploi d'isolateurs composites, plus résistants
à la pollution et aux niveaux de tension CC élevés,
est une autre piste pour améliorer le transit. Il est
également possible d'augmenter les distances
de garde et donc d'élever le niveau de tension CC
en modifiant l'agencement des traverses →8 [5].
Enfin, intégrer un plus grand nombre de sous-
conducteurs ou remplacer le conducteur de phase
permet d'accroître la capacité thermique et la
puissance transitée.

Perspectives d'avenir

Pour autant que les conditions économiques,
techniques et écologiques soient remplies,
convertir une ligne de transport CA au CCHT
améliore nettement la capacité de transit pour
une emprise au sol équivalente. Si la fourniture
de puissance augmente avec la tension CC, cette
dernière est limitée par la flèche maximale et
par l'impact de la pollution sur la ligne de fuite.
D'autres solutions permettent d'augmenter les
valeurs assignées maximales de tension ou de
courant : modifier la géométrie des pylônes,
choisir des isolateurs composites, ajouter des
sous-conducteurs ou remplacer le conducteur.

Avec la demande croissante en électricité, de plus
en plus de liaisons CA seront remplacées par le
CCHT pour transporter davantage de puissance
sans construire de nouveaux ouvrages. ●



PUISSANCE

Calcul des courants de court-circuit

Les disjoncteurs protègent l'installation électrique des dégâts causés par un courant de court-circuit. Problème : ce dernier varie en fonction de l'application. De quelles références normatives CEI et EN les concepteurs de matériel électrique disposent-ils pour déterminer la protection contre les surintensités ?



Joachim Becker
ABB Stotz-Kontakt GmbH
Heidelberg (Allemagne)

joachim.becker@
de.abb.com

Nos sociétés modernes sont complètement dépendantes de l'électricité qui alimente nos maisons, nos usines et nos magasins. La distribution électrique doit être à la fois sûre et fiable ; c'est là qu'interviennent les appareillages d'interruption.

L'appareillage d'interruption protège l'installation en coupant l'alimentation du circuit en défaut tout en assurant la continuité de service des autres circuits.

Tableaux électriques ou dispositifs de coupure ont la même mission : protéger l'installation des défauts et des dangers associés en sectionnant le circuit défectueux tout en assurant la continuité de service des autres circuits.



—
01 De nombreux dispositifs assurent la protection du matériel électrique contre les courants de court-circuit. Les disjoncteurs ABB (ici, un disjoncteur principal S753DR-E63) couvrent la quasi-totalité des valeurs de tension et de courant.

Choix du type d'appareillage

Un court-circuit représente un énorme danger pour l'installation. Il convient donc de dimensionner le tableau ou l'appareillage en fonction des contraintes thermiques et électrodynamiques occasionnées par le courant de court-circuit maximal au point de raccordement. La protection de l'installation (ou du personnel) est assurée par des dispositifs capables de couper le courant de court-circuit à cet endroit →1.

—
Le tableau de distribution ou l'appareillage de coupure est dimensionné en fonction des contraintes thermiques et dynamiques occasionnées par le courant de court-circuit maximal au point de raccordement.

Il s'agit très souvent de disjoncteurs en boîtier moulé →2, de disjoncteurs modulaires et de disjoncteurs différentiels avec ou sans protection de surintensité. Le pouvoir de coupure est clairement indiqué sur chaque disjoncteur, ce qui permet au tableautier de choisir son équipement en connaissance de cause. Si les disjoncteurs assurent l'isolement du circuit, ils sont souvent complétés par des interrupteurs-sectionneurs pour une mise hors tension complète de l'installation en vue d'une intervention.

Courant de court-circuit permanent

Une installation basse tension (BT) est généralement alimentée par un transformateur. Le courant de court-circuit permanent I_k dépend alors de la tension assignée et de la résistance en courant alternatif (impédance) du court-circuit. Il a aussi une composante continue i_{cc} qui décroît lentement jusqu'à s'annuler →3. La valeur de crête de I_k est un paramètre important et normalisé du court-circuit.

Normes sur les disjoncteurs

En fonction de l'application envisagée, le concepteur de l'installation se référera à différentes normes pour dimensionner les disjoncteurs ou autre dispositif de protection réseau associé :

- La CEI/EN 60898-1 porte sur les disjoncteurs de protection contre les surintensités à usage domestique ou assimilé (commerces, bureaux, établissements scolaires et petit tertiaire), conçus pour être utilisés par des personnes non averties et ne pas exiger d'entretien ;
- La CEI/EN 60947-2 concerne les disjoncteurs à usage industriel, réservés à des personnes averties ;
- La CEI/EN 60947-3 spécifie les caractéristiques des interrupteurs-sectionneurs ;
- La CEI/EN 61439 précise les règles applicables aux ensembles d'appareillage ou aux tableaux de distribution.

Chaque norme ayant son domaine d'application, un même phénomène électrique peut être défini différemment d'un référentiel à l'autre. L'ingénieur de conception doit donc être sûr d'avoir parfaitement assimilé la définition de « pouvoir de coupure », par exemple, dans l'application cible.

Disjoncteurs normalisés CEI/EN 60898-1

Le « pouvoir de coupure assigné » I_{cn} désigne ici le pouvoir de coupure mesuré au moyen d'une séquence d'essai donnée. Cette dernière ne teste pas la capacité du disjoncteur à supporter 85 % de son courant de non-déclenchement pendant un temps spécifié, ou « temps conventionnel » ; c'est la procédure d'essai du pouvoir de coupure de service en court-circuit I_{cs} qui s'en charge.





02

La norme stipule un rapport fixe entre I_{cs} et I_{cu} (exprimés en valeur efficace des courants présumés de court-circuit).

De plus, elle impose dans les deux cas de tester les manœuvres d'ouverture-fermeture de chacun des trois disjoncteurs. Pour l'ouverture, le courant de court-circuit est enclenché à un angle de déphasage spécifique selon la forme de l'onde de tension. On teste les trois disjoncteurs sous des angles différents. La séquence d'essai pour I_{cu} est « O-t-CO », « O » étant la manœuvre d'ouverture et « CO » celle de fermeture-ouverture. Autrement dit, le disjoncteur à l'essai est mis sous tension et subit le courant de court-circuit pendant un certain temps. La durée t entre manœuvres est de 3 min. Pour I_{cs} , la séquence d'essai est « O-t-O-t-CO » pour les disjoncteurs unipolaires et bipolaires, et « O-t-CO-t-CO » pour ceux à trois et quatre pôles. Avec la procédure d'établissement du courant de court-circuit imposée par la norme, au moins un des disjoncteurs doit déclencher à l'angle de déphasage le plus important.

Disjoncteurs normalisés CEI/EN 60947-2

Le « pouvoir de coupure ultime en court-circuit » I_{cu} désigne le pouvoir de coupure mesuré au moyen d'une séquence d'essai normative, avec vérification du déclenchement de surcharge dans le disjoncteur. La caractéristique I_{cs} , quant à elle, correspond au pouvoir de coupure dans une séquence d'essai donnée, incluant la vérification du fonctionnement du disjoncteur au courant assigné, un essai d'échauffement et la vérification du déclenchement de surcharge. La norme prescrit un rapport I_{cs}/I_{cu} compris entre 0,25 et 1,00. Là encore, ces valeurs sont exprimées en valeur efficace des courants présumés de court-circuit. La norme impose en outre de tester le fonctionnement en court-circuit des deux disjoncteurs.

Au moins un des disjoncteurs doit couper le courant à l'angle de déphasage le plus important.

Comme dans la norme CEI/EN 60898-1, pour l'ouverture, le courant de court-circuit est enclenché à un angle de déphasage spécifique selon la forme de l'onde de tension, si ce n'est que l'angle est le même pour les deux disjoncteurs. Les séquences d'essai normatives pour I_{cu} et I_{cs} sont respectivement « O-t-CO » et « O-t-CO-t-CO », t entre deux manœuvres étant encore de 3 min. L'angle de déphasage de tension à l'enclenchement du courant de court-circuit correspond à la valeur du courant de crête, qui est en même temps le pouvoir assigné de fermeture en court-circuit I_{cm} , défini comme le pouvoir assigné de coupure ultime en court-circuit multiplié par un facteur spécifié dans la CEI 60947-2.

— 02 Disjoncteur basse tension en boîtier moulé A1 d'ABB, conforme CEI/EN 60947-2

— 03 Caractéristiques du courant de court-circuit

Interrupteurs-sectionneurs normalisés CEI/EN 60947-3

La norme CEI/EN 60947-3 s'applique aux installations électriques intégrant des interrupteurs, sectionneurs, interrupteurs-sectionneurs et combinés-fusibles. Un interrupteur-sectionneur peut établir et interrompre le courant dans des conditions spécifiées.

L'interrupteur-sectionneur doit pouvoir supporter le courant limité par le DPCC.

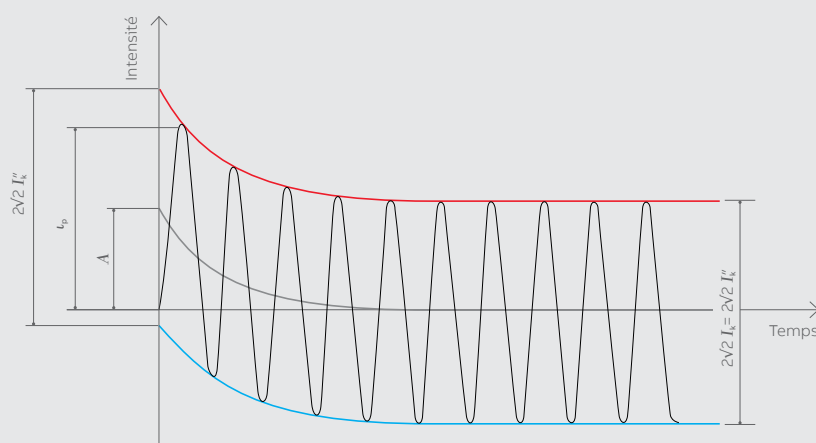
Lorsqu'il est ouvert, il assure l'isolement du circuit. Par contre, ne disposant pas de déclenchement de surintensité, il doit être protégé par un disjoncteur modulaire, un disjoncteur en boîtier moulé ou un fusible. Le pouvoir de coupure de l'ensemble « interrupteur + disjoncteur » constitue le courant assigné de court-circuit conditionnel ; il s'agit de la valeur du courant présumé de court-circuit que peut supporter l'interrupteur-sectionneur lorsqu'il est protégé par un dispositif de protection contre les courts-circuits (DPCC). Rappelons que l'interrupteur-sectionneur doit pouvoir supporter le courant limité par le DPCC.

La méthode vaut également pour les disjoncteurs différentiels résiduels (DDR) sans protection de surintensité : le courant de court-circuit indiqué sur l'appareil est le courant assigné de court-circuit conditionnel de l'ensemble « DDR + DPCC ».

Les normes CEI/EN 60947-3 et CEI/EN 60947-2 définissent également un courant assigné de courte durée admissible I_{cw} , applicable aux différents interrupteurs et disjoncteurs ainsi qu'aux jeux de barres. I_{cw} est la valeur du courant que le matériel peut supporter sans aucun dommage pendant 0,05, 0,1, 0,25, 0,5 ou 1 s pour la CEI/EN 60947-2, et 1 s pour la CEI/EN 60947-3. En alternatif, I_{cw} est la valeur efficace du courant.

Le courant I_{cw} est important dans le cas d'appareils raccordés en série où la sélectivité des protections est assurée par temporisation. Par exemple, pour un circuit d'alimentation équipé d'un disjoncteur à coupure dans l'air avec protection des circuits aval par des disjoncteurs en boîtier moulé, le déclenchement du disjoncteur à coupure dans l'air est retardé pour garantir la sélectivité. La portion de circuit entre les disjoncteurs successifs doit supporter le courant de court-circuit spécifié pendant la durée de la temporisation.

03



I_k'' Courant de court-circuit initial symétrique

I_p Courant de court-circuit maxi

I_k Courant de court-circuit permanent

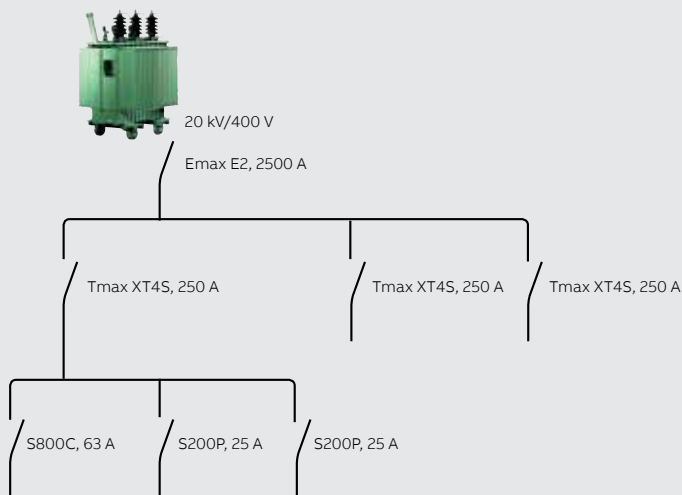
i_{cc} Composante continue décroissante du courant de court-circuit

A Valeur initiale de la composante CC

— Partie supérieure de l'enveloppe

— Composante CC décroissante

— Partie inférieure de l'enveloppe



04

Appareillage basse tension normalisé CEI/EN 61439-1

La norme CEI/EN 61439-1 s'applique aux ensembles d'appareillage à basse tension. Quand un ensemble comporte un DPCC en tête de tableau, le constructeur doit préciser le courant présumé de court-circuit maximal au bornier d'entrée.

La norme internationale CEI/EN 61439-1 s'applique aux ensembles d'appareillage à basse tension.

La valeur I_{cu} ou I_{cn} du DPCC doit être supérieure ou égale au courant présumé de court-circuit afin d'assurer la protection. Si le DPCC est un disjoncteur retardé ou si l'ensemble n'a pas de DPCC, il convient d'indiquer I_{cw} et la temporisation maximale.

Étude de cas : usine de production de cuivre

Prenons l'exemple d'une usine de production de cuivre alimentée par le réseau moyenne tension (MT) 20 kV moyennant un transformateur abaisseur de 20 kV/400 V. La puissance assignée S_n du transformateur est de 1600 kVA, et sa tension de court-circuit (impédance interne) U_{cc} de 6 %. Pour les puissances inférieures à 3150 kVA, l'impédance du réseau peut être négligée. La tension de court-circuit du transformateur limite le courant de court-circuit permanent, qui vaut alors :

$$I_k = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_n \times U_{cc}} = \frac{1600 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 0,06} = 38,5 \text{ kA}$$

Le transformateur d'alimentation est protégé par un disjoncteur Emax E2 d'ABB de courant assigné 2500 A. Des disjoncteurs ABB Tmax XT4S de 250 A assurent la protection de la distribution, tandis que les circuits terminaux sont équipés de disjoncteurs modulaires S800C et S200P →4.

Les considérations suivantes permettent d'assurer un déclenchement en cascade correct : la valeur I_{cw} de l'Emax E2 (version B) est de 42 kA. La temporisation étant de 0,1 s, l'Emax peut supporter le courant de court-circuit. Au niveau distribution, le Tmax XT4S affiche un I_{cu} de 50 kA. Le câble reliant le disjoncteur Tmax et le jeu de barres de répartition aval a une section de 95 mm² et une longueur de 15 m ; la documentation produit indique une résistance linéique de 0,246 Ω/km.

L'impédance du transformateur étant de 0,00597 Ω, le courant de court-circuit permanent au niveau répartition est donc :

$$I_k = \frac{U_n}{\sqrt{3} \times (Z_r \times Z_t)} = \frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3} \times (0,00597 + 0,00369) \Omega} = 23,9 \text{ kA}$$

Les disjoncteurs S800C et S200P ayant un pouvoir de coupure ultime en court-circuit de 25 kA, aucune protection d'accompagnement n'est nécessaire. Cette configuration assure une sélectivité totale entre Tmax XT4S et S800C-S200P.

— 04 Exemple de configuration des protections dans une usine de production de cuivre

— 05 Exemple de configuration des protections dans un immeuble de bureaux

Étude de cas : immeuble de bureaux

Soit un réseau MT 20 kV qui alimente un immeuble de bureaux par un transformateur 20 kV/400 V, tel que $S_n = 630$ kVA et $u_{cc} = 4\% \rightarrow 5$. Là encore, la tension de court-circuit du transformateur limite le courant de court-circuit, soit :

$$I_k = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_n \times u_{cc}} = \frac{630 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 0,04} = 22,7 \text{ kA}$$

La valeur I_{cu} du disjoncteur Tmax XT4 (version N) est de 36 kA, celle du disjoncteur principal sélectif S750DR d'ABB de 25 kA. Les deux dispositifs sont donc capables d'interrompre le courant de court-circuit. Le câble reliant le S750DR et le réseau de répartition a une section de 16 mm² et une longueur de 10 m ; sa documentation technique indique une résistance de 1,32 Ω/km. L'impédance du transformateur est de 0,01012 Ω.

Le courant de court-circuit au niveau répartition est donné par :

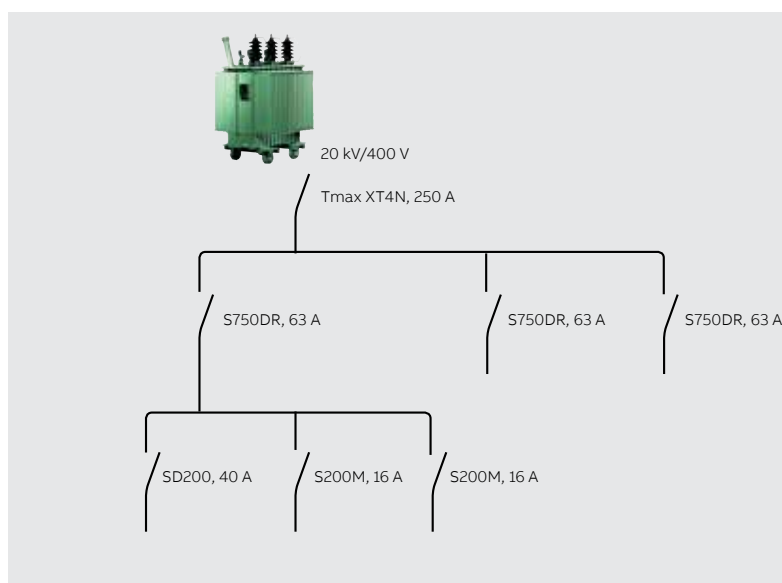
$$I_k = \frac{U_n}{\sqrt{3} \times (Z_r + Z_t)} = \frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3} \times (0,01012 + 0,0132) \Omega} = 9,9 \text{ kA}$$

Le disjoncteur modulaire S200M ayant un pouvoir de coupure ultime en court-circuit de 15 kA, aucune protection d'accompagnement n'est nécessaire ; la sélectivité entre S750DR et S200M est totale.

La valeur assignée de courant de court-circuit conditionnel est un paramètre important pour le disjoncteur modulaire SD200 → 5 ; elle est de 10 kA pour l'association SD200/S750DR. Le SD200 est donc protégé par le S750DR puisque le courant maximal de court-circuit en ce point est de 9,9 kA.

Une bonne configuration des protections suffit à garantir la sûreté de fonctionnement de l'appareillage de distribution en cas de court-circuit.

Ces exemples montrent qu'une bonne configuration des protections garantit la sûreté de fonctionnement de l'appareillage de distribution en cas de court-circuit. Les normes CEI/EN évoquées dans l'article guident les concepteurs dans le choix des caractéristiques assignées des dispositifs utilisés. Ainsi, quel que soit la nature du défaut, le courant ne s'interrompt jamais. ●



LE MOT DU MOMENT

Text mining

Non structurée et stockée dans des formats de documents variés, l'information reste souvent inaccessible. L'exploration de données textuelles, ou *text mining*, permet d'extraire ce filon pour lui donner du sens et de la valeur.



Raoul Jetley
ABB Corporate Research
Bangalore (Inde)

raoul.jetley@in.abb.com

01 La documentation d'une entreprise recèle nombre d'informations précieuses mais peu accessibles ; le *data mining* exploite ce filon.

02 En donnant du sens à des données a priori inexploitable, le *text mining* soutient la vente, le marketing, l'informatique décisionnelle, les décisions d'achat ou d'investissement, la connaissance client, etc.

Dans les entreprises, jusqu'à 80 % des données seraient stockés au format texte, non structuré. Cahiers des charges, dossiers de vente, spécifications techniques, rapports de maintenance, avis et réponses des utilisateurs sont ainsi sous-exploités. À la différence des méthodes traditionnelles d'analyse de données, le *text mining* parvient à tirer des connaissances de ces informations disparates →1.

Pour simplifier, le *text mining* est un ensemble de traitements visant à transformer les documents et ressources textuels non structurés en données structurées et signifiantes ; celles-ci sont ensuite exploitables automatiquement, à l'aide de techniques issues de la statistique, de la linguistique et de la reconnaissance de formes, à des fins de modélisation et de prédiction.

02



01

L'exploration des données textuelles fait appel à diverses disciplines : extraction d'informations, *data mining*, apprentissage automatique, statistique et linguistique informatique. Ces techniques permettent d'extraire des connaissances (faits, règles et relations) et de traiter automatiquement des informations sinon inexploitable sous leur forme textuelle d'origine.





l'algorithme parcourt les unités textuelles à la recherche d'informations, organise et stocke les résultats, facilitant les analyses futures ;

- Choix des briques conceptuelles et des catégories à modéliser : les données non structurées fourmillent généralement de concepts différents. Il s'agit donc d'identifier les catégories de données et les relations les plus pertinentes, qui permettent de construire des modèles ;
- Analyse des données structurées pour identifier des relations entre concepts : le *text mining* rejoint ici le traditionnel *data mining*, avec son cortège de techniques telles que catégorisation (*clustering*), prédiction et classification.

Le *text mining* est un ensemble de traitements visant à transformer les documents et ressources non structurés en données structurées.

L'exploration textuelle se prête particulièrement à la reconnaissance de noms propres, aux résumés automatiques, à la catégorisation sur la base de critères pertinents et à l'analyse des sentiments et avis exprimés dans les demandes ou retours clients →2. ●

Une opération de *text mining* classique comporte les étapes suivantes :

- Identification et traitement préliminaire du texte à analyser : élimination des informations inutiles, découpage en unités textuelles et identification des structures grammaticales de la langue utilisée ;
- Extraction des informations pertinentes et transformation en données structurées :

Publication ABB

Rédaction

Bazmi Husain
Chief Technology Officer
Group R&D and Technology

Adrienne Williams
Senior Sustainability
Advisor

Christoph Sieder
Head of Corporate
Communications

Reiner Schoenrock
Technology and Innovation
Communications

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

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

Édition

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

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

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

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

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

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

Impression

Vorarlberger
Verlagsanstalt GmbH
6850 Dornbirn (Autriche)

Maquette
DAVILLA AG
Zurich (Suisse)

PAO

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

Traduction française

Cléa Blanchard
clea.blanchard@
gmail.com

Avertissement

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

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

ISSN: 1013-3119

abb.com/abbrev



Fin de la version mobile

La publication d'ABB Review sur tablette (iOS et Android)
s'arrêtera fin 2018. Nos lecteurs sont invités à consulter les
versions PDF ou en ligne disponibles sur abb.com/abbrev.

Gardez le contact

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

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





01|2018

Innovation

Partenariats stratégiques

- 08 Collaborer pour innover
- 13 Entretien avec Grant Allen
- 18 Le nouvel âge des robots

Innovations ABB

- 24 À la une de l'innovation ABB 2018

Logiciel et virtuel

- 36 L'analyse visuelle, gage de qualité
- 40 Le DQR Code dynamise la maintenance
- 46 Décryptage de la blockchain

Transition énergétique

- 54 La star des transformateurs éoliens 33/66 kV
- 60 Les progrès du transport HVDC Light®

Diagnostics et données

- 70 Un turbo qui envoie !
- 72 Analyse des courants moteur

- 80 Enquête de satisfaction 2017

Le mot du moment

- 82 L'usine du futur



02|2018

Conçu pour exceller

L'excellence en conception

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

Numérique et analytique

- 30 Plus une goutte d'eau à perdre !
- 38 Commande avancée et modélisation
- 46 ORKAN teste les dispositifs ABB Ability™
- 52 Analyse rapide des défauts papier
- 58 Jumeau numérique et débitmétrerie

Dynamique

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

Énergie

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

Le mot du moment

- 94 Jumeau numérique



03|2018

Algorithmes et matériaux

Algorithmes et matériaux

- 08 Les FACTS stabilisent le réseau minier
- 14 Isolation thermoplastique
- 21 Automatiser la distribution électrique

Mutations

- 28 TXplore inspecte les transformateurs
- 36 Le CCHT prend le large

Numérique et analytique

- 46 Stabiliser la tension dans l'industrie
- 52 Modéliser les onduleurs solaires ABB
- 58 Sécuriser le numérique

Le mot du moment

- 62 Chiffrement quantique



04|2018

Autonomie collaborative

Collaboration autonome

- 08 Systèmes autonomes
- 12 Personnalisation à la chaîne
- 20 Solutions intégrées pour le bâtiment
- 27 Jumeau numérique et Industrie 4.0

Partenariats

- 36 Collaborations université-entreprise

Mesure et contrôle

- 44 Inspection des rouleaux de convoyeurs
- 50 Débitmètre multiphasique dans le Cloud
- 54 L'avenir du capteur électrique

Puissance

- 64 Conversion CA-CCHT
- 70 Protection contre les courts-circuits

Le mot du moment

- 76 *Text mining*

Dans le numéro 01/2019
Innovation

Réinventer les procédés et sites de fabrication, aider l'homme et la machine à donner le meilleur d'eux-mêmes, produire et acheminer durablement l'énergie pour alimenter le progrès : la réponse à ces grandes problématiques passe par l'innovation. Notre prochain numéro dévoilera les trésors d'inventivité déployés pour relever ces défis.