

ABB

3 | 14
fr

review



Systèmes d'entraînement ABB pour la mine 25

Une plate-forme d'automatisation unifiée 64

L'informatique « prête à porter » 70

Semi-conducteurs : 60 ans de progrès ! 84

La revue
technologique
du Groupe ABB



Industrie minière

Power and productivity
for a better world™



Les enjeux de la mine du XXI^e siècle sont multiples : sites reculés, conditions extrêmes, fiabilité, sécurité du personnel, respect de l'environnement... Les sociétés minières doivent scruter en permanence leurs données pour optimiser leurs processus en vue de maximiser la production, d'économiser l'énergie et de polluer le moins possible.

Ce numéro d'*ABB review* creuse le sujet pour mettre au jour les nombreuses contributions d'ABB au progrès du secteur. En toile de fond, la mine de cuivre Esperanza au Chili (notre couverture) et l'usine de bouletage de minerai de fer du groupe Gulf Industrial Investment, à Bahreïn (cette page et p. 5).



Gisements de progrès

- 7 La mine du futur**
La convergence technologique, clé de l'efficacité et de la productivité
- 12 Vecteur de progrès**
Les entraînements sans réducteur ABB fiabilisent et simplifient la maintenance des convoyeurs à bande
- 18 Fiabilité en 3D**
Concevoir des schémas de bobinage en quelques clics
- 25 Broyeurs XXL**
Les systèmes d'entraînement ABB dans la course au gigantisme des broyeurs de minerai
- 31 Évolution industrielle**
L'intégration électrique avec l'offre 800xA d'ABB normalisée CEI 61850
- 35 Automatiser pour plus d'efficacité**
Le système d'automatisation étendue 800xA d'ABB relie tous les niveaux de la mine
- 37 Communication sans détour**
Le sans-fil ABB améliore la gestion de parc minier
- 42 Des mines à la hauteur**
Technologie ABB pour l'extraction minière
- 47 Maintenance à 360°**
Des solutions de pointe pour la mine et la métallurgie
- 52 Optimisation 800xA**
Progrès et déploiement : au-delà de l'écran
- 60 Grands travaux**
Les technologies de l'information hissent l'industrie minière au premier rang
- 64 Unis dans l'action**
Une plate-forme logicielle unifiée automatise et rationalise l'organisation industrielle et logistique de la mine

Tendances

- 70 Voir au-delà du *process***
De la fiction à la réalité
- 76 Le bon air de la mer**
Des incitations fiscales pour améliorer la qualité de l'air dans les ports
- 80 Compte courant**
Les capteurs de courant dialoguent sur Modbus

ABB, perpétuel pionnier

- 84 D'une génération à l'autre**
60 ans de progrès dans les semi-conducteurs ABB

Gros plan sur la mine



Claes Ryttoft

Chers lecteurs,

Les procédés industriels et les innovations ABB dans les domaines de l'automatisation, du contrôle-commande et de l'alimentation électrique sont souvent évoqués dans nos colonnes. Quoi de plus naturel pour une revue censée traiter avant tout... de technique! Mais c'est oublier qu'un *process* n'a de raison d'être que s'il permet d'obtenir en bout de chaîne un produit fini, issu de la transformation de matières premières.

Certes, tout ne vient pas de la mine. Pourtant, il n'est pratiquement pas d'objet manufacturé qui ne contienne ou ne soit fabriqué par des équipements composés de minerai.

Si la mine est si facilement passée sous silence, c'est parce qu'elle œuvre en coulisses, loin des foyers de population, dans des régions désertiques ou montagneuses. Ses équipements sont soumis à rude épreuve : conditions climatiques et opérationnelles extrêmes, exigences de fiabilité maximale, intervention humaine réduite au minimum. L'un des apports technologiques majeurs d'ABB prend la forme d'énormes systèmes d'entraînement destinés aux machines d'extraction, de fragmentation et de ventilation.

Pour éviter le gaspillage et accroître la rentabilité, il faut faciliter la prise de décision en fournissant aux opérateurs des informations précises, à jour et directement exploitables. ABB met au service de la mine son

expertise du contrôle-commande, de la conception des systèmes industriels et des radiocommunications pour faire converger toutes ces informations capitales vers la salle de conduite.

Notre numéro consacre douze articles à l'industrie minière, mais dépasse également ce périmètre pour s'intéresser à l'informatique « prête à porter », à l'amélioration de la qualité de l'air dans les ports d'escale des gros navires et à un nouveau capteur de courant. Dans le prolongement de notre centenaire, une rétrospective de 60 ans de semi-conducteurs de puissance ABB clôture ce numéro.

Témoin de son temps, *ABB review* a désormais sa version numérique téléchargeable sur tablette, toujours à côté de l'édition papier, au format PDF. Des précisions en dernière page.

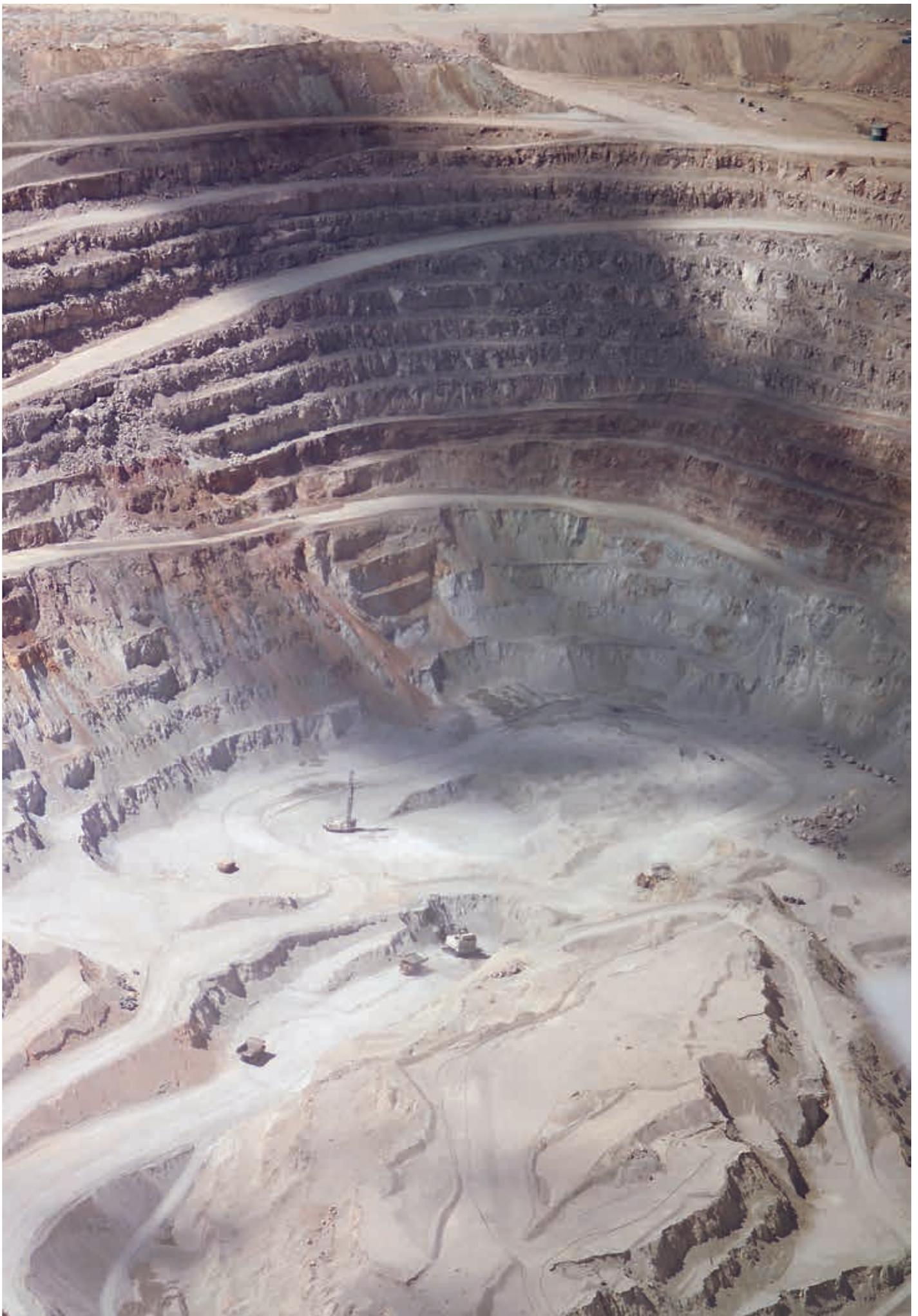
Souhaitons que ce numéro d'*ABB review* fasse apparaître en pleine lumière les techniques et les enjeux de la mine, ainsi que les contributions d'ABB aux avancées du métier.

Bonne lecture,

Claes Ryttoft
Directeur des technologies
Directeur général adjoint







La mine du futur

La convergence technologique, clé de l'efficacité et de la productivité

EDUARDO GALLESTEY, CLIVE COLBERT – *Loin des yeux, loin du cœur... Voilà un proverbe que ne démentirait pas l'industrie minière. Car les mines sont souvent implantées dans des sites reculés, en milieu souterrain et difficile d'accès. Pourtant, métaux et minerais font partie de notre quotidien, du simple article de coutellerie aux téléphones mobiles de dernière génération, sans parler des combustibles fossiles qui fournissent notre énergie. Malgré cette omniprésence, qui remonte à la plus haute Antiquité, l'industrie minière souffre d'un déficit d'innovation au regard d'autres secteurs comme le pétrole et le gaz. Le domaine amorce néanmoins une mue technologique portée par l'intégration des données et équipements de toute la filière, du carreau de la mine à l'usine de traitement, en une plate-forme d'automatisation unifiée, étendue et cohérente.*

Photo p. 6

La mine du futur sera bâtie sur une intégration totale de ses différentes strates de données et d'équipements. Des systèmes sont déjà mis en place pour faciliter cette évolution. Parmi les bénéfices attendus, citons la possibilité de commander à distance les sites isolés.

Devant l'inaltérable soif de matières premières de la planète, l'industrie minière vit une période faste mais non dépourvue de difficultés : la pression concurrentielle pousse les minières à trouver les moyens d'augmenter les cadences et rendements de production, de baisser les coûts par tonne produite, d'allonger la durée de vie des sites en activité ou d'établir de nouvelles mines. Le personnel et les équipements doivent aussi gagner en productivité pour pallier la stagnation du cours des matières premières → 1, la hausse des coûts de production et la forte volatilité des prix (due notamment aux ruptures d'approvisionnement, aux tensions sur les marchés et aux nouveaux systèmes de tarification), qui contractent les investissements → 2. Dans ces conditions, les gains de productivité deviennent vite un important levier de différenciation, aujourd'hui pris en compte par les modèles de projection financière.

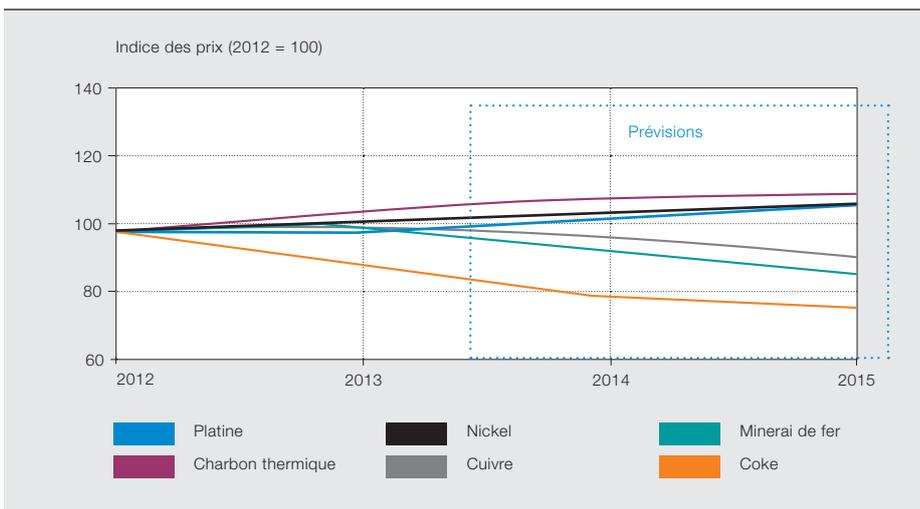
La hausse des coûts de l'énergie oblige au passage à réduire les consommations et les émissions de CO₂. Les opérateurs miniers doivent rechercher des gisements toujours plus éloignés et difficiles d'accès, mais aussi plus rares et de moindre qualité. Dans le même temps, il faut améliorer la sécurité du personnel et diminuer les risques ; si l'environnement minier a beaucoup progressé dans ce domaine, le nombre d'accidents et de décès reste inacceptable.

Devant l'inaltérable soif de matières premières de la planète, l'industrie minière est confrontée à de nombreuses difficultés. La solution réside dans l'automatisation et l'intégration.

Autre inquiétude : le vieillissement du personnel. Comme dans d'autres secteurs, la pyramide des âges est défavorable à l'industrie minière et les départs en retraite entraînent une perte de savoir-faire et d'expérience. Pire : l'implantation de nombreuses mines dans des sites

La clé de la réussite ? Une intégration totale avec une plate-forme d'automatisation unifiée telle que le système 800xA d'ABB qui permet de piloter l'ensemble des opérations.

1 La stagnation des prix des matières premières fait de l'amélioration de la productivité une priorité.



isolés et inhospitaliers est peu propice à attirer et à retenir les talents.

La solution à ces enjeux et le futur du secteur tiennent dans l'automatisation et l'intégration des informations de la mine, et dans l'exploitation de ce précieux capital de connaissances pour optimiser en temps réel les processus miniers.

Une vision intégrée

Si l'automatisation de la mine ne date pas d'hier, force est de constater qu'elle est généralement plus sommaire que dans d'autres secteurs industriels et

De plus, les sites miniers ont tendance à multiplier les équipements et systèmes indépendants de différents fournisseurs ; chacun de ces îlots d'automatismes peut avoir ses propres données, formats et interfaces, obligeant les agents techniques et de conduite à scruter une pléthore d'écrans conceptuellement dissociés pour coordonner les différentes parties du *process*.

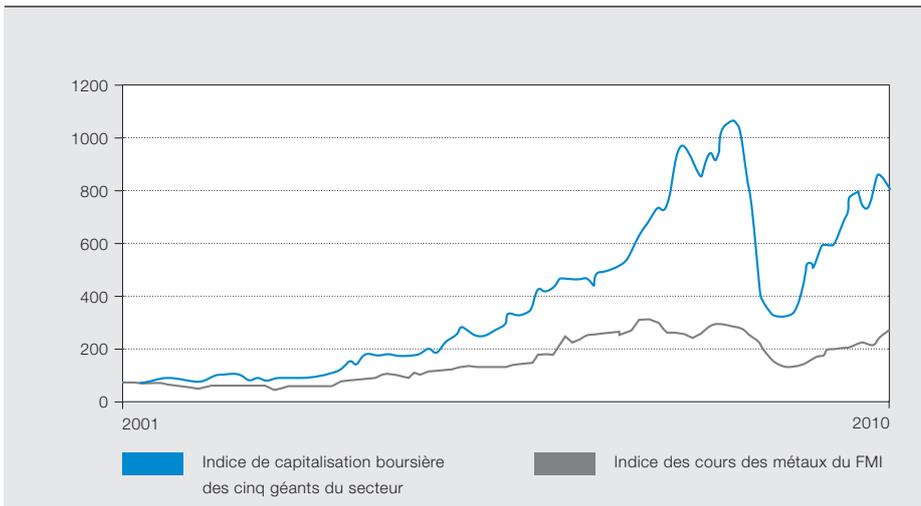
Le futur de la mine réside donc dans l'intégration totale des données et processus métier. Une plate-forme d'automatisation moderne telle que le système

L'intégration des transmissions sous terre est gage de rendement productif. La mise en place d'une infrastructure de communication souterraine et l'informatisation du parc d'équipements mobiles ouvrent de nouvelles perspectives en matière d'échanges de données.

souvent réduite à la simple commande de moteurs, de machines ou de certains procédés.

800xA d'ABB permet de piloter la totalité des opérations: contrôle-commande traditionnel, automatismes distribués, systèmes de sécurité, matériels électriques (variateurs et moteurs, par exemple), planification de la production, gestion énergétique, maintenance, gestion des actifs, gestion intégrée (ERP) et documentation. L'ensemble peut s'intégrer dans un seul et unique environnement de conduite fédérant utilisateurs, systèmes vidéo, vocaux et de sonorisation, applications et dispositifs web. À côté d'ABB, les produits tiers peuvent aussi s'insérer dans ce flux de production.

2 La forte volatilité des prix oblige à connaître le détail de toute l'activité, du puits de mine au client final.



Dans les usines de traitement, les propriétés du minerai sont les plus grandes sources d'incertitude et de variabilité : d'où l'intérêt de les connaître à l'avance.

De plus en plus d'informations émanant des systèmes temps réel convergent ainsi vers le logiciel, enrichissant quatre domaines clés qui amélioreront la performance, la réactivité et la rentabilité de la chaîne de valeur minière :

- Une production « intelligente » et une productivité accrue des actifs et du personnel ;
- Une réponse adaptée à l'état des équipements critiques ;
- Une planification dictée par la demande ;
- Une réduction des consommations énergétiques et des rejets miniers.

Produire intelligent

L'intégration des données peut beaucoup améliorer le rendement et la productivité → 3. Voyons-en quelques exemples.

Optimiser le procédé en fonction des propriétés du minerai

C'est à l'étape du traitement minéralurgique que les propriétés du minerai sont sources d'incertitude et de variabilité : d'où l'intérêt de les connaître à l'avance. L'automatisation étendue 800xA d'ABB s'y emploie par un suivi continu et précis des flux de matière et des qualités de minerai tout au long de la chaîne d'extraction et de concentration.

Ces prévisions peuvent également alimenter les optimiseurs de process qui les utilisent pour effectuer des ajustements prédictifs du circuit de broyage et de flottation, en fonction des propriétés connues avec exactitude du minerai. De quoi améliorer l'utilisation des équipements, augmenter les rendements et réduire la consommation d'énergie.

Maximiser les objectifs de production en fonction du marché

Si certaines minières disposent déjà de solutions de commande avancée pour gérer en temps réel les opérations de broyage et/ou de flottation, la plupart est incapable de faire coïncider ce potentiel avec la réalité du marché. Impossible par exemple de mettre en contexte l'information avec la valorisation relative des produits, les propriétés du minerai et les données contractuelles car tous ces éléments sont stockés un peu partout, souvent ailleurs que dans le centre de conduite.

La convergence de l'informatique de gestion et du contrôle-commande permettra aux systèmes de commande avancée d'affûter les consignes du procédé pour maximiser les gains sur le matériau en cours de traitement, ainsi que le prix des produits sur la base des informations commerciales et des indices des cours mondiaux.

Privilégier le sans-fil pour une gestion optimale, en « juste à temps », des opérations

L'intégration des transmissions sous terre est également gage de rendement productif. La mise en place d'une infrastructure de communication souterraine et l'informatisation du parc d'équipements fixes et mobiles révolutionnent les échanges en permettant, par exemple, – de rapatrier les relevés des équipements mobiles (rapports de production en ligne, analyses et statistiques), de localiser et de suivre en direct leur état de marche et leur environnement ;

Un système moderne d'optimisation des actifs facilite le passage de la maintenance réactive à la maintenance prédictive, évitant les interventions inutiles et réduisant les coûts d'exploitation.

3 L'intégration efficace de toutes les données de l'entreprise minière est fondamentale pour améliorer rendement et productivité.



- de calculer de nouveaux plans de forage et de charge pour les machines de production, et les communiquer en temps utile aux équipes opérationnelles.

ABB et la division *Underground Rock Excavation* du Suédois Atlas Copco ont mis au point un démonstrateur intégrant la plate-forme d'automatisation 800xA d'ABB et les machines du groupe minier. Installée dans une mine à Kvarntorp (Suède), la solution dotera les exploitants d'un contrôle-commande de procédé sans égal et d'une mine d'informations pour piloter le site.

Cette infrastructure de communication est également précieuse pour le suivi des actifs.

Réagir en temps réel

La défaillance d'un équipement critique peut avoir des effets catastrophiques sur les objectifs de production: la panne d'un convoyeur principal, par exemple, fait perdre à l'exploitant des centaines de milliers de dollars à l'heure.

Un système moderne d'optimisation des actifs miniers facilite le passage de la maintenance réactive à la maintenance prédictive, évitant les interventions inutiles et réduisant les coûts d'exploitation. Les solutions d'automatisation étendue comme 800xA sont capables d'intégrer les systèmes de maintenance de dernière génération de fournisseurs tels qu'IBM, SAP ou Ventyx. Les données

temps réel sur l'état des actifs peuvent alors rationaliser et optimiser la maintenance, et garantir un suivi conditionnel de l'outil de production.

Reprenons le cas du convoyeur: la détection d'une anomalie par un «surveillant» d'actifs déclenche une alarme et le ralentissement du système d'entraînement par le contrôle-commande pour réduire le risque de défaillance. Ces systèmes intégrés se connectent directement à l'informatique pour émettre automatiquement une demande de maintenance sur site. Les travaux achevés, la fin de l'intervention est tout de suite signalée au contrôle-commande et le retour à la normale s'effectue dans les plus courts délais.

Planifier en fonction de la demande

Pour tenir leurs objectifs de production et de productivité, les groupes miniers doivent conjuguer performance opérationnelle et rendement, tout au long de la chaîne logistique qui va du puits de mine au client final.

L'intégration et l'automatisation plus poussées des opérations de traitement du minerai, la planification de la mine, ainsi que la maintenance et la gestion des actifs garantissent la mise à disposition du bon produit au bon moment. C'est également l'assurance que les commandes clients ne sont acceptées que lorsque la chaîne logistique est à même de les honorer, améliorant ainsi le pouvoir de négociation et la gestion des

4 Un écran 800xA sur mobile pour améliorer la supervision, la conduite et la maintenance de la mine de cuivre d'Aitik, au nord de la Suède.



risques. Qui plus est, cette vision unifiée permet de planifier la maintenance des équipements pour en minimiser l'impact sur les programmes de production, tout en conservant le niveau requis de disponibilité.

Baisser la consommation d'énergie

Les gains d'efficacité énergétique ne découlent pas seulement des progrès

point une méthode unique de commande coordonnée des ventilateurs et régulateurs d'air qui débouche sur une solution fiable et écoproformante d'aération automatique, selon les besoins réels du site.

La convergence des informations peut réduire les consommations énergétiques de la mine, en prévoyant ses besoins, par exemple, pour tirer parti des périodes creuses, en modélisant des scénarios de simulation pour les étapes de production électro-intensives et en dressant un bilan énergie du site.

Exploiter de loin pour voir de près

Les mines du futur seront pilotées à distance. Les données de toute l'activité convergeront pour permettre une gestion précise des opérations,

L'intégration et l'automatisation poussées des opérations de traitement du minerai, la planification de la mine, ainsi que la maintenance et la gestion des actifs garantissent la mise à disposition du bon produit au bon moment.

des processus et techniques de la mine ; ils doivent aussi beaucoup à l'intégration des données et à l'optimisation des opérations minières qui améliorent la visibilité et le contrôle-commande de procédé sur toute la chaîne de valeur.

La ventilation, par exemple, peut représenter jusqu'à 50 % de la consommation d'énergie totale d'une exploitation souterraine. C'est pourquoi ABB a mis au

point une méthode unique de commande coordonnée des ventilateurs et régulateurs d'air qui débouche sur une solution fiable et écoproformante d'aération automatique, selon les besoins réels du site. Cette convergence mine/usine est déjà à l'œuvre dans une société de production intégrée d'énergie et de charbon en Europe: dès qu'elle voit ses niveaux de stock diminuer, l'usine en informe la mine 100 % automatisée qui extrait, mélange et traite automatiquement le charbon alimentant la centrale d'énergie.

Ce complexe totalement automatisé, optimisé et piloté depuis un seul centre de conduite préfigure les projets miniers de demain.

La mine a de l'avenir

ABB se mobilise pour l'industrie minière en lui consacrant un programme de recherche qui touche à tous ses domaines d'intérêt: instrumentation, modélisation, visualisation et optimisation.

Une approche globale des opérations minières s'accompagnera de matériels « intelligents », capables d'autoconfiguration et d'autodiagnostic, et de logiciels offrant une visibilité temps réel totale du process aux opérateurs → 4. L'ensemble permettra d'appréhender toutes les ressources, de produire en fonction de la demande en quasi temps réel, des conditions de marché et des types de minerai disponibles, et de réagir de façon optimale à l'état des équipements cruciaux.

En exploitant le meilleur de l'automatisation étendue 800xA et en regroupant hommes, équipements et systèmes dans un environnement totalement intégré, ABB est convaincu que les sociétés minières peuvent beaucoup améliorer la productivité, la satisfaction du personnel et la sécurité. L'automatisation de la mine n'en est qu'à ses débuts.

Eduardo Gallestey

Clive Colbert

ABB Switzerland Ltd.

Baden-Dättwil (Suisse)

eduardo.gallestey@ch.abb.com

clive.colbert@ch.abb.com



Vecteur de progrès

Les entraînements sans réducteur ABB fiabilisent et simplifient la maintenance des convoyeurs à bande dans les applications de puissance et de couple élevés

MARCELO PERRUCCI – Les sites d'exploitation minière sont de plus en plus éloignés des usines de traitement. Le minerai brut doit être acheminé (parfois en souterrain) par des convoyeurs à bande sur des distances pouvant atteindre plusieurs dizaines de kilomètres avec des pentes fortement ascendantes. Dans le même temps, les sociétés minières veulent accroître leurs capacités tout en limitant, si possible, les ruptures de charge pour une meilleure fiabilité globale. Toutes ces exigences se traduisent par des convoyeurs plus

larges et plus longs et, donc, des couples transmissibles plus élevés sur l'arbre des poulies. Or la puissance et le couple sont traditionnellement limités par les réducteurs mécaniques. Dans le cadre d'un partenariat avec le spécialiste des équipements miniers, TAKRAF GmbH, ABB a mis au point des systèmes de convoyage qui satisfont à ces nouvelles exigences et renforcent considérablement la fiabilité. Un tel système est en cours de livraison sur le site minier El Teniente du Chilien Codelco.



ABB et TAKRAF ont développé un entraînement à basse vitesse permettant de lever les principales contraintes liées aux réducteurs mécaniques.

Les organes de transmission traditionnels des convoyeurs à bande présentent plusieurs inconvénients. Tout d'abord, il est difficile de réaliser des réducteurs mécaniques de plus de 3,5 MW. Ensuite, la maintenance de ces réducteurs de grosse puissance est complexe. Leurs organes de roulement, la pompe de lubrification des étanchéités, les refroidisseurs d'huile, etc., peuvent afficher une moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF) ne dépassant pas trois ou quatre ans. Il faut attendre une révision générale pour remplacer les roulements, notamment ceux côté moteur, qui sont les plus fragiles.

Enfin, la durée de vie des réducteurs est relativement courte, d'une dizaine d'années en moyenne. Un site minier prévu pour être exploité 20 ans, par exemple, obligera l'industriel à les remplacer au moins une fois.

L'examen de la chaîne cinématique d'une bande transporteuse de 6 MW pourvue d'un entraînement de conception traditionnelle recense plus de 22 pièces d'usure → 1.

Pour atteindre 6 MW de puissance, la solution classique requiert deux systèmes d'entraînement composés chacun d'un moteur asynchrone à cage d'écuriel, d'un frein à disque, d'accouplements et d'un réducteur aux nombreux composants (moteur, roulements, joints d'étanchéité, roues dentées et lubrification à l'huile avec refroidisseur).

Conscient du besoin d'une solution plus efficace et plus fiable, ABB a conclu en 2011 un accord mondial avec TAKRAF pour développer un entraînement à basse vitesse permettant de lever les principales contraintes liées aux réducteurs mécaniques.

Exit le réducteur

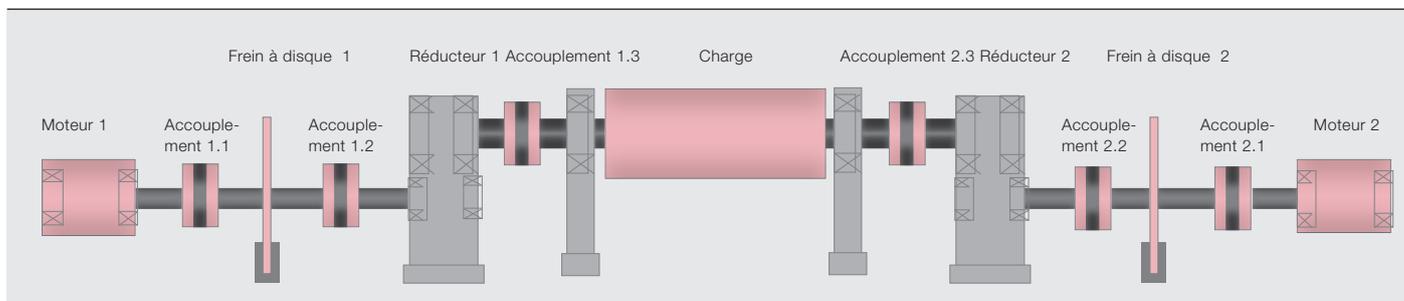
Cet entraînement de convoyeur sans réducteur se compose d'un moteur synchrone fixé à un arbre de poulie conçu spécialement pour supporter les importants efforts induits par la machine électrique dans les applications de forte puissance.

Les moteurs synchrones à très basse vitesse et l'application sont pilotés par un convertisseur de fréquence qui module la fréquence et l'amplitude de l'onde sinusoïdale. Cette solution tire parti des vertus de la conversion de fréquence : régulation sans à-coups, couple de

Photo

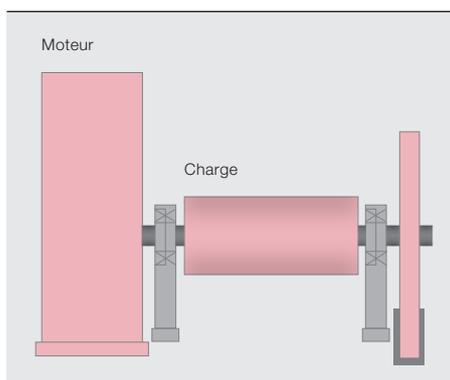
Les minerais sont transportés sur des distances de plus en plus longues, mettant à rude épreuve les convoyeurs, comme ici à la mine de cuivre d'El Abra, au Chili.

1 Entraînement classique à moteurs asynchrones et réducteurs (2 x 3 MW, par exemple)



Pièces d'usure > 22, MTBF = 3 à 4 ans

2 Entraînement sans réducteur en mode *singledrive* à moteur synchrone (1 x 6 MW, par exemple)



Principales pièces d'usure = 2;
MTBF du moteur > 30 ans

démarrage contrôlé aux très basses fréquences, facteur de puissance élevé (pouvant être unitaire, en avance ou en retard) et régulation de vitesse.

Les convertisseurs de fréquence des entraînements de convoyeur sans réducteur fonctionnent soit en mode *singledrive* (commande d'un seul moteur), soit en mode *multidrive* (plusieurs onduleurs raccordés à un bus continu commun et moteurs commandés individuellement) pour abaisser les coûts de câblage et d'installation, et supprimer des composants tels que transformateurs et disjoncteurs. Les convertisseurs peuvent également fonctionner en mode 4 quadrants, récupérant l'énergie de freinage des convoyeurs en descente.

Contrairement à la solution traditionnelle, la chaîne cinématique du système d'entraînement ABB est simple et sa longévité impressionnante. Les 6 MW de puissance de l'exemple précédent sont

Toute la chaîne cinématique est dimensionnée pour endurer les efforts de flexion sur l'arbre, même en cas de séisme ou de court-circuit.

obtenus avec un système d'entraînement unique et son moteur synchrone de 6 MW. On ne compte, dans ce cas, que deux pièces d'usure et la MTBF du moteur peut atteindre 30 ans.

La configuration de la solution ABB → 2 est plus avantageuse que celle de la solution classique → 1.

Avec ou sans organes de roulement ?

Ensemble, ABB et TAKRAF ont développé un concept qui permet de supprimer les organes de roulement côté moteur, augmentant ainsi considérablement la disponibilité du système, comparée à la solution classique avec réducteur, et réduisant les dépenses d'acquisition et d'exploitation.

La chaîne cinématique complète est dimensionnée pour endurer les efforts de flexion sur l'arbre, même en cas de séisme ou de court-circuit. Pour les clients, les avantages sont multiples : solution plus légère et plus courte, pièces d'usure moins nombreuses et maintenance facilitée.

Par contre, l'installation équivalente avec organes de roulement offre beaucoup de souplesse aux clients soumis à des contraintes d'installation, comme lorsque la poulie d'entraînement du convoyeur est suspendue à plusieurs mètres du sol

et sans reposer sur des fondations en béton. La pivoterie garantit une rotation sans frottement de l'arbre de la poulie et contribue à la stabilité de la chaîne cinématique, réduisant le recours à des fondations renfor-

cées. ABB et TAKRAF proposent donc des solutions avec et sans organes de roulement, le choix optimal étant fonction du client et du projet → 3.

El Teniente

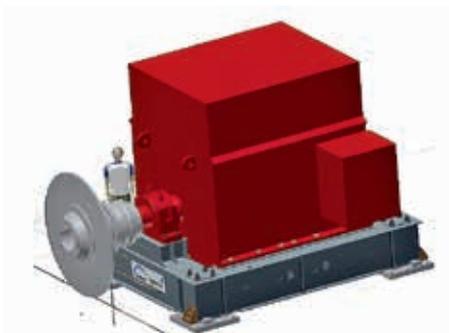
ABB a décroché une commande pour la fourniture de matériel électrique, notamment son nouvel entraînement de convoyeur sans réducteur, au plus gros

3 Avantages comparés des solutions avec et sans organes de roulement

	Avec organes de roulement	Sans organes de roulement
MTBF	Durée de vie limitée des roulements	Supérieure
Fiabilité	Réduite du fait des roulements et des accouplements	Supérieure
Besoins de supervision	Oui (roulements et accouplements)	Oui (entrefer)
Système de lubrification des roulements	Oui	Non
Charge utile	45 t	30 t
Capacité de levage	Supérieure (monobloc)	Inférieure (rotor et stator séparables)
Accouplement	Oui (souple)	Non
Pièces d'usure supplémentaires	Oui (roulements, accouplements)	Non
Chaîne cinématique	Plus longue	Plus courte
Coûts d'investissement et d'exploitation	Plus élevés	Moins élevés
Disponibilité de la solution ABB/TAKRAF	Oui	Oui

L'électrification du nouveau convoyeur de surface sans réducteur s'inscrit dans un programme d'extension d'un montant de 550 millions de dollars de la mine El Teniente.

4 Embase moteur TAKRAF



site minier Codelco, El Teniente, situé à quelque 70 km au sud-est de Santiago du Chili. Le contrat global a été remporté par l'entreprise allemande Tenova TAKRAF de Leipzig (maître d'œuvre du système de convoyeurs) en décembre 2012.

L'électrification du nouveau convoyeur de surface sans réducteur s'inscrit dans un programme d'extension de la mine, d'un montant de 550 millions de dollars.

Fourniture ABB

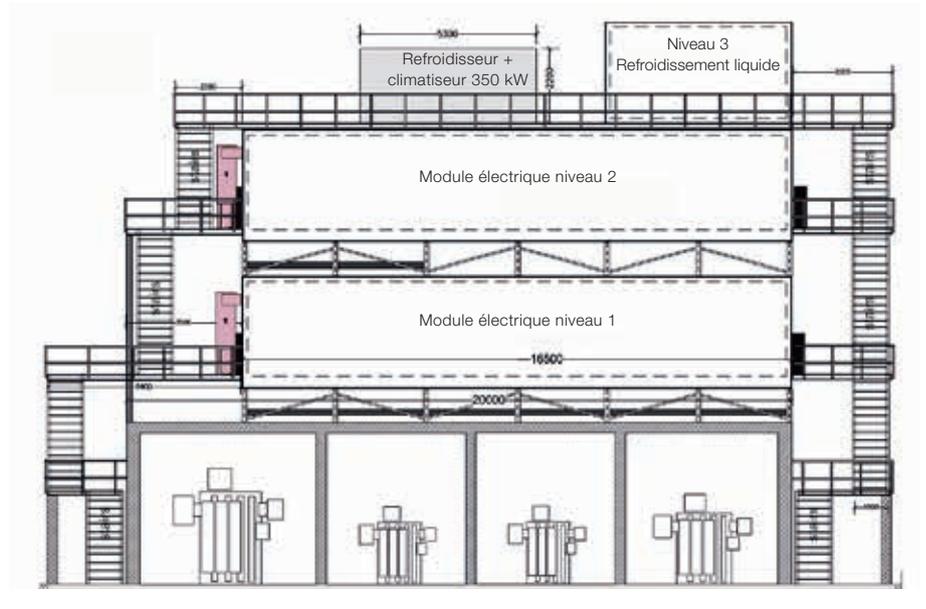
Pour ABB, la commande ne se limite pas à la chaîne cinématique de l'entraînement de convoyeur sans réducteur. Elle comprend aussi tout le matériel électrique, depuis les bornes d'extrémité du câble d'alimentation moyenne tension (MT) jusqu'à l'arbre moteur en passant par la totalité du matériel de distribution principal et auxiliaire, les capteurs, les modules électriques préfabriqués, l'ins-

trumentation de terrain, les équipements de refroidissement ainsi que les systèmes de contrôle-commande et d'automatisation.

Moteurs principaux

La commande totalise 12 moteurs de 2,5 MW qui tourneront à 56 tr/min. ABB a repris le concept des moteurs synchrones basse vitesse très utilisés dans les machines d'extraction minière sans réducteur en l'adaptant aux spécificités des convoyeurs, notamment la possibilité de ré-aligner facilement le moteur après l'alignement de la poulie d'entraînement du convoyeur. Pour ce faire, le moteur est monté sur une embase spéciale fabriquée par TAKRAF → 4 et conçue avec ABB.

5 Des contraintes d'espace ont imposé le montage des modules électriques du convoyeur CV-01 au-dessus des transformateurs



Modules électriques préfabriqués

Les quatre modules sont des conteneurs étanches et parasismiques. Chacun regroupe un tableau MT à isolation gazeuse (SX2) avec deux lignes d'arrivée, les départs-moteurs, l'appareillage basse tension (BT)

ABB, les alimentations sans interruption avec les batteries et les climatiseurs, les automates programmables (API), les postes opérateurs, les détecteurs incendie et extincteurs; un espace est par ailleurs réservé aux armoires de raccordement du client.

Les conteneurs s'accommodent pleinement des contraintes du site minier: faible encombrement et accessibilité aux bancs de rochers, résistance aux surcharges de neige et protection parasismique. Pour le convoyeur CV-01, par exemple, le matériel électrique est réparti sur trois niveaux au-dessus des transformateurs → 5. D'autres modules électriques ont dû être divisés en six compartiments pour en faciliter le transport.

Équipements de contrôle-commande

Chaque module électrique préfabriqué est équipé d'automates AC 800M PM864 redondants ABB qui contrôlent et commandent les entraînements principaux

du convoyeur à bande, les entraînements auxiliaires et les dispositifs de terrain.

De nombreux équipements communiquent sur plusieurs réseaux redondants (MMS sur Ethernet, Modbus TCP sur

Les 6 MW de puissance sont obtenus avec un seul système d'entraînement.

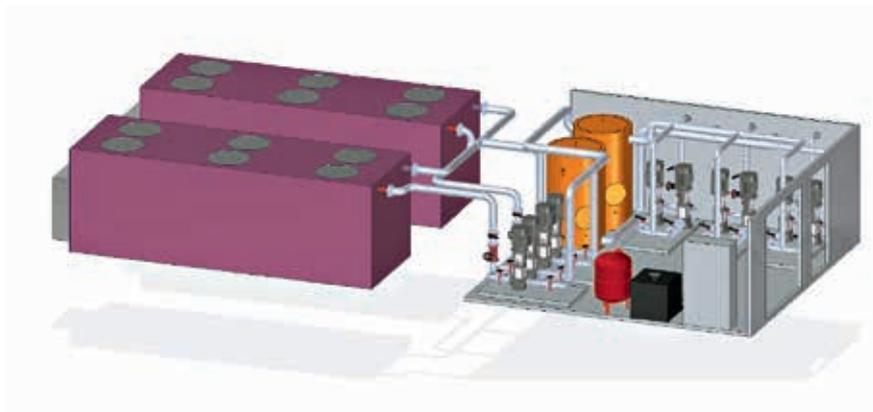
Ethernet et PROFIBUS DP):

- E/S déportées S800;
- Générateur d'adresses Dupline;
- Dispositifs de surveillance du convoyeur à bande;
- Départs-moteurs intelligents et convertisseurs de fréquence;
- Circuit de refroidissement du convertisseur de fréquence et du moteur → 6;
- Pesons du convoyeur;
- Commande de frein SOBO;
- Sondes thermiques Pt100;
- Modules de comptage pour la mesure des vitesses et du glissement (poulies motorisées et non motorisées).

Logiciel

L'application automate, normalisée et ergonomique, est basée sur le système *Minerals Library* de la plate-forme 800xA d'ABB, spécialement développée pour le convoyage minier.

Pour ABB, la commande ne se limite pas à la chaîne cinématique de l'entraînement de convoyeur sans réducteur, mais comprend aussi tout le matériel électrique.



Le programme de commande MCCP veille à ce que tous les convertisseurs de fréquence raccordés appliquent le même couple au convoyeur.

Salle de conduite

Cinq postes opérateurs permettent d'accéder à toutes les informations requises sous forme de graphiques, de listes d'alarmes et d'événements, et de courbes de tendance. On peut ainsi surveiller et piloter le procédé sans pour autant être autorisés à modifier les paramètres ou les configurations.

Intégration des entraînements principaux

L'intégration des entraînements à fréquence variable se fait par liaison à haut débit *DDCS (Distributed Drive Communication System)* pour les signaux de commande et par réseau PROFIBUS DP pour les données de diagnostic.

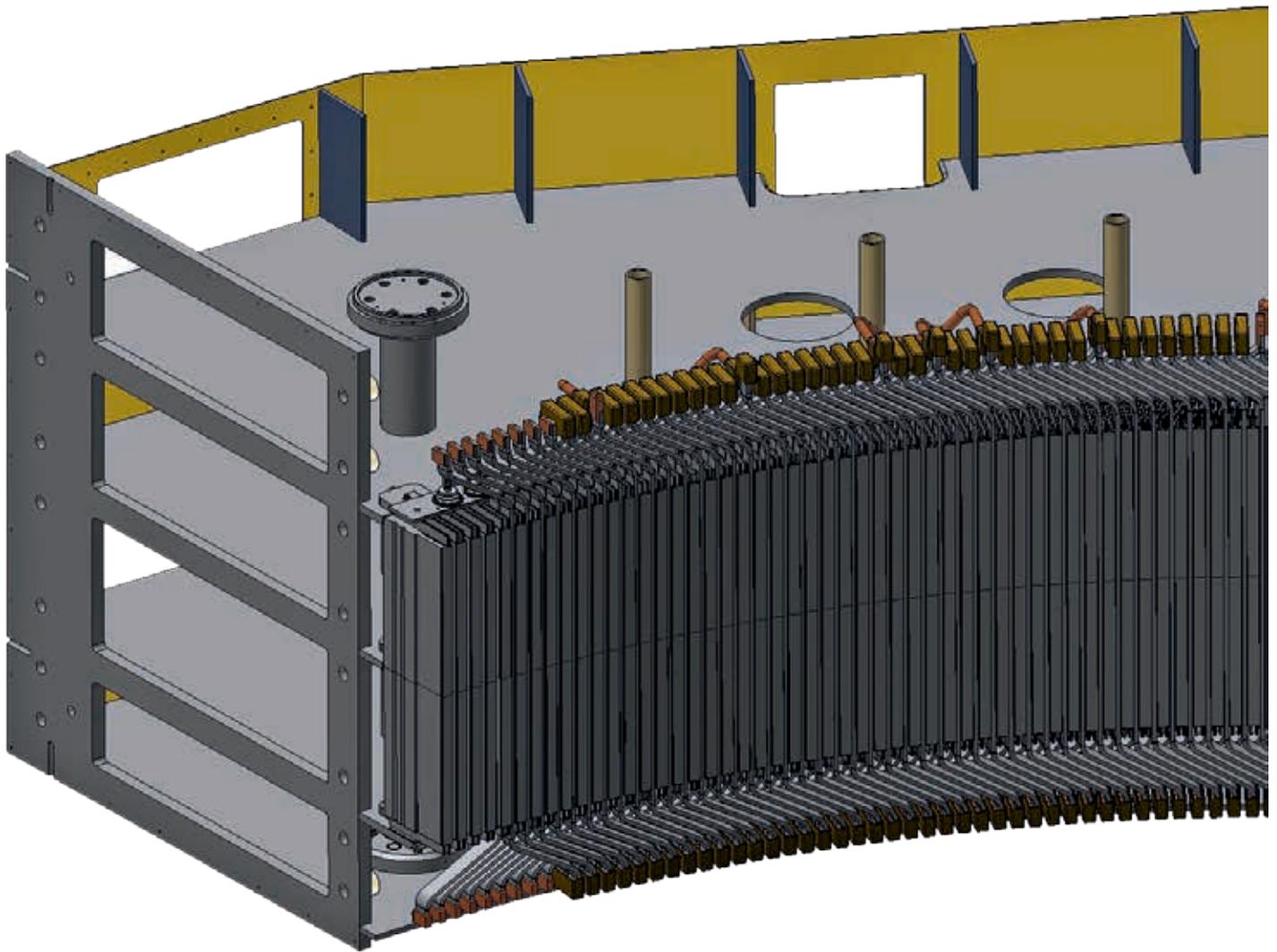
Le programme de commande *MCCP (Mining Conveyor Control Program)* joue le rôle de chef d'orchestre. La précision

et la souplesse de la boucle de contrôle-commande sont supérieures à celles des commandes traditionnelles (maître/esclave, par exemple). Une attention particulière est portée au démarrage de la charge répartie et au régime de fonctionnement avec répartition de charge entre les moteurs afin d'atténuer les forts pics de couple et l'oscillation longitudinale du convoyeur à bande.

MCCP veille à ce que tous les convertisseurs de fréquence raccordés appliquent le même couple au convoyeur, la charge répartie entre les différentes poulies pouvant être ajustée. Il gère également toutes les fonctions de limitation, de supervision et de protection.

Marcelo Perrucci

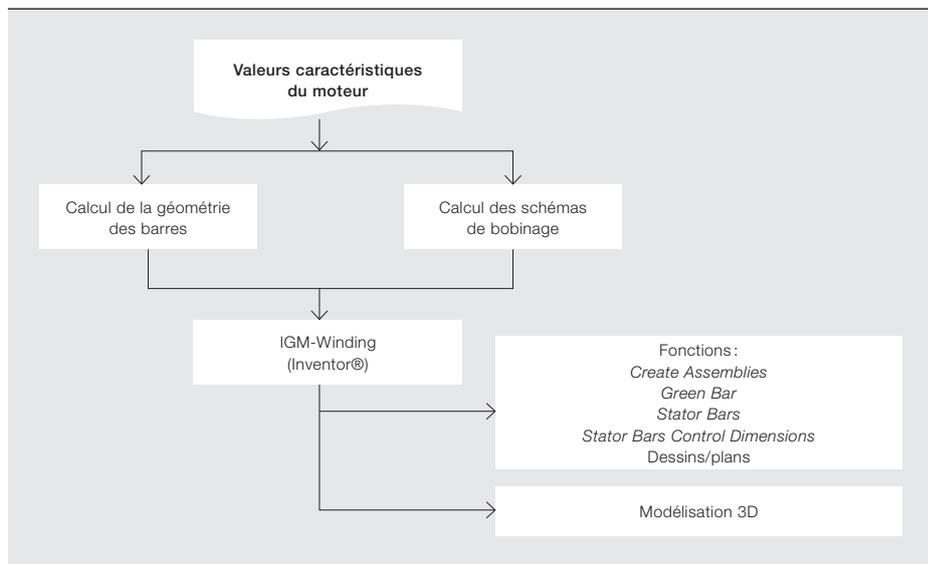
ABB Process Automation, Industry Solutions
Baden-Dättwil (Suisse)
marcelo.perrucci@ch.abb.com



Fiabilité en 3D

Concevoir des schémas de bobinage en quelques clics

MACARENA MONTENEGRO-URTASUN, GIOVANNI CANAL, JAN POLAND, AXEL FUERST – Les entraînements de broyeur sans réducteur sont des machines spéciales aux spécifications imposées par le client. Selon l'IEEE (*International Electrical and Electronics Engineers*), 33 % des défaillances des moteurs de grosse puissance survenant en régime normal de fonctionnement sont le fait du bobinage stator. Le coût des arrêts de production qui en découlent est exorbitant. L'outil ABB de conception 3D des schémas de bobinage du stator permet d'analyser dans le détail chaque solution pour choisir la plus performante en termes de coûts de fabrication, de simplicité d'installation, de temps de réparation et de fiabilité.



Sans les bons outils, concevoir et optimiser un bobinage sont quasi impossibles au vu de la somme d'heures nécessaire rien que pour étudier les différents schémas envisageables et minimiser les risques de défaut-

Les schémas de bobinage et les pontages sont calculés par un outil ABB → 2a. Les cavaliers peuvent être disposés de différentes manières sans impact sur le schéma électrique retenu → 2b. Une fois

En 1969, ABB livrait au cimentier Lafarge le tout premier entraînement sans réducteur pour broyeur à boulets au monde, une machine de 6,4 MW. Depuis, les dimensions et la puissance de ces systèmes d'entraînement n'ont cessé d'augmenter, tout comme leur altitude d'installation (plus de 4000 m). Les conditions d'exploitation extrêmement difficiles mettent à mal la durée de vie des entraînements et imposent de concevoir des bobinages de moteur ultraperformants.

Optimiser la conception avec IGM-Winding

Actuellement, les entraînements de broyeur sans réducteur sont conçus par modélisation paramétrique 3D accompagnée de dessins de définition 2D pour la fabrication. Les paramètres sont calculés à partir des caractéristiques du moteur, la création du modèle 3D étant ensuite automatique. La tâche la plus complexe est la conception du bobinage du moteur.

Illustration

Pour les concepteurs de machines électriques, IGM-Winding d'ABB est un remarquable outil d'optimisation des bobinages qui réduit les coûts, accélère l'installation et limite les risques de défaillance, des atouts très appréciés sur les sites isolés.

lance du fait de distances dans l'air insuffisantes. L'objectif d'ABB était donc de développer un outil logiciel, baptisé *IGM-Winding*, capable de créer un modèle paramétrique 3D fini (depuis chacune

des barres jusqu'au bobinage complet) permettant d'évaluer et d'optimiser différents schémas de bobinage avant de valider la meilleure exécution. Il devait également permettre d'éditer toute la liasse de dessins optimisés et validés pour la fabrication et, ultérieurement, le contrôle qualité.

Un projet en trois parties

Développé ces deux dernières années, IGM-Winding se compose de trois parties : calcul de la géométrie des barres, calcul des schémas de bobinage et modélisation paramétrique 3D du bobinage. Il édite en sortie les dessins de définition de chacun des éléments du bobinage à fabriquer → 1.

La géométrie des barres stator est calculée par un petit programme à partir des valeurs caractéristiques du moteur.

IGM-Winding se compose de trois parties : calcul de la géométrie des barres, calcul des schémas de bobinage et modélisation paramétrique 3D du bobinage.

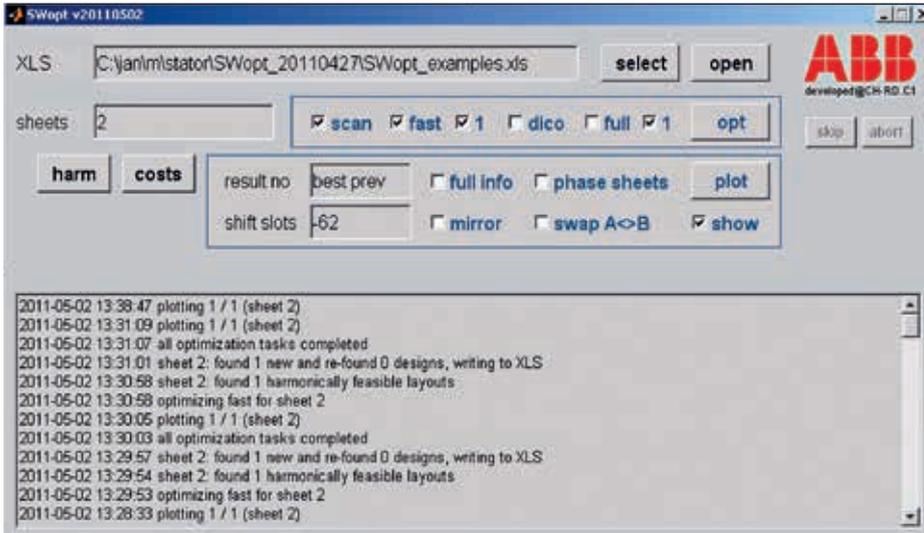
le schéma de bobinage final défini, on dresse la liste des différents types de barres à insérer dans les encoches → 2a.

Enfin, IGM-Winding, implanté dans l'outil de CAO 3D Autodesk Inventor, crée le modèle paramétrique du bobinage et ses éléments à partir des calculs de la géométrie des barres et de schéma de bobinage.

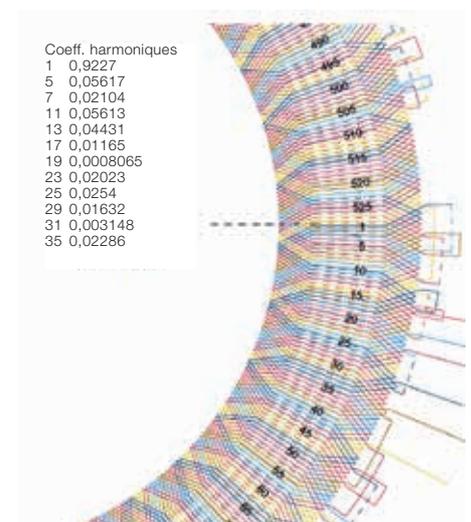
Le meilleur schéma

Le choix du schéma de bobinage est un problème d'optimisation ardu. Sachant que les bobinages fractionnaires – dans lesquels le nombre d'encoches n'est pas un multiple entier du nombre de pôles x le nombre de phases – sont souvent privilégiés pour leurs propriétés harmoniques avantageuses, il est impossible de connecter directement chaque bobine à la bobine voisine. Un schéma de bobinage acceptable doit donc comporter des

2 Outil de conception du bobinage



2a Exemple d'écran



2b Schéma de bobinage créé par l'outil

cavaliers qui relient les extrémités des bobines distantes de quelques encoches. Ces derniers peuvent être positionnés de manière plus ou moins judicieuse, la priorité étant de minimiser la masse de cuivre et les coûts de fabrication. En réalité, le problème posé par chaque phase est un exemple du célèbre problème du voyageur de commerce, très étudié en optimisation mathématique. Il s'agit de trouver le plus court chemin passant une seule fois par chacune des bobines (villes pour le voyageur de commerce) afin de réduire au minimum le coût des connexions (trajet du voyageur). Ce type de problème, difficile à résoudre aujourd'hui, le restera encore longtemps.

Un schéma de bobinage est encore plus complexe car chaque phase pose, à elle seule, un problème du voyageur de commerce et l'interaction des cavaliers ne doit pas être source de conflits. De plus, les champs électriques induits autour des cavaliers s'influencent mutuellement si ces cavaliers sont adjacents ; par conséquent, on recherche des influences qui s'annulent les unes des autres au lieu de se renforcer. Outre le positionnement des cavaliers, il faut aussi décider de l'affectation des barres aux trois phases, ce qui se répercute sur les propriétés harmoniques du bobinage.

Pour optimiser un schéma de bobinage, on a recours à des méthodes d'optimisation mathématique très utilisées comme la programmation mixte en nombres entiers et la programmation par contraintes. Si la première a l'avantage

de prendre en compte tous les critères de conception (versions linéarisées pièce par pièce), elle présente l'inconvénient d'utiliser le plus souvent un algorithme par évaluation et séparation progressive (*branch and bound*) sur une arborescence de recherche de solutions dont l'optimisation peut être très gourmande en temps de calcul. En programmation par contraintes, la recherche des meilleurs schémas de bobinage est guidée par les contraintes du problème (conflits géométriques entre les cavaliers). Si elle donne souvent rapidement de très bons résultats, elle ne garantit pas d'optimum global.

Représentation 3D du bobinage

Le processus de conception commence par la création d'un plan d'ensemble 3D, soit un stator complet où toutes les encoches comportent leurs barres supérieure et inférieure. Pour cela, il faut créer un dessin d'ensemble 3D de la barre et de tous ses éléments : cosses, conducteurs cintrés et capuchons d'isolation → 3. La géométrie de la barre supérieure étant différente de celle de la barre inférieure, deux dessins d'ensemble doivent être créés.

Une fois ces deux dessins réalisés, l'outil commence à remplir automatiquement chaque encoche du plan d'ensemble 3D avec le type de barre correspondant. À l'issue de ce processus, le plan d'ensemble 3D se transforme en représentation paramétrique 3D du schéma de bobinage.



Normalement, on peut obtenir plusieurs schémas de bobinage avec différentes combinaisons de cavaliers pour une même solution. L'innovation majeure d'IGM-Winding est sa capacité à mettre en paramètres n'importe quel schéma de bobinage, facilitant la comparaison de différentes variantes et permettant l'édition automatique de tous les dessins de définition.

La conception 3D se poursuit alors avec l'insertion du bobinage dans la carcasse → 4. Cette étape est déterminante pour valider la conception, en particulier celle des entraînements de broyeur sans

fonction *Green Bar* crée deux dessins, celui de la barre verte et celui de la barre finie. Ces dessins sont requis au début du processus de conception et transmis au fournisseur de cuivre pour fabriquer les barres Roebel.

La fonction *Create Assemblies* crée tous les modèles 3D des différentes combinaisons de barres supérieures et inférieures (M01, M02, etc.) et leurs éléments. Elle doit être exécutée avant de produire d'autres dessins.

Les fonctions *Stator Bars* et *Stator Bar Control Dimensions* produisent les

dessins des différents types de barres d'un schéma de bobinage avec leurs cotes fonctionnelles pour la fabrication. Ces dessins sont indispensables pour réaliser l'outil à cintrer

et les barres, ainsi que pour les contrôles qualité.

Enfin, la fonction *Create 3-D Model* crée le modèle 3D du bobinage.

Le problème du voyageur de commerce, difficile à résoudre aujourd'hui, le restera encore longtemps.

réducteur installés en altitude, et pour corroborer par des mesures précises toutes les distances de montage ou d'ajustement des composants critiques dans la machine.

Les barres de raccordement sont introduites dans la carcasse → 5, unique tâche réalisée manuellement. Le concepteur étudie le meilleur trajet possible en fonction des rayons de courbure, de la longueur des barres de raccordement et de la position de la boîte à bornes.

Interface utilisateur IGM-Winding

Cette interface permet d'effectuer les paramétrages généraux. Le programme crée les protocoles des différentes étapes ainsi que les dessins qui sont stockés dans les fonctions *Info* et *Log*, exportables au format .csv. Ainsi, la

Phase d'optimisation

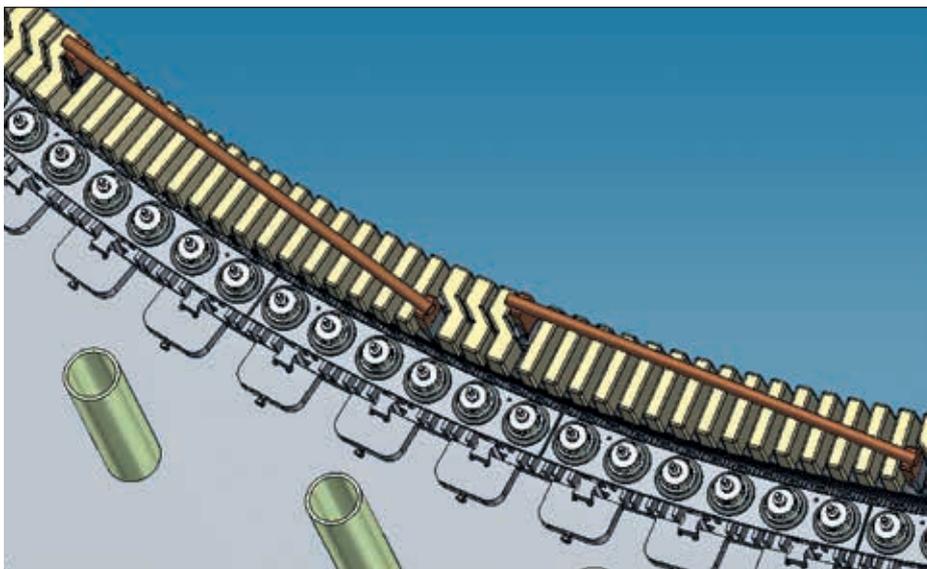
Après collecte de toutes les informations et définition des différents schémas de bobinage possibles, l'optimisation peut avoir lieu. L'exemple d'une machine de 540 encoches et 36 paires de pôles illustre les atouts d'IGM-Winding.

À première vue, le schéma de bobinage est assez simple, sans cavaliers dans le bobinage stator et uniquement des cavaliers de phase dans la zone des barres de raccordement. Le détail de la zone encadrée en → 6 et la vue de dessus en → 7 montrent clairement les cavaliers

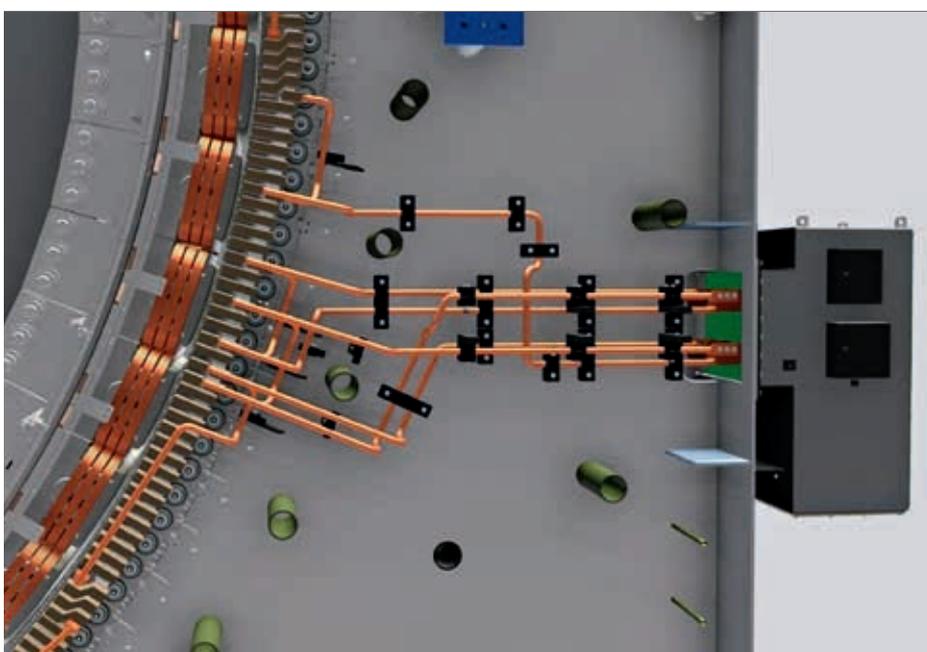
L'innovation majeure d'IGM-Winding est sa capacité à mettre en paramètres n'importe quel schéma de bobinage, facilitant la comparaison de différentes variantes et permettant l'édition automatique de tous les dessins de définition.

Pour optimiser un schéma de bobinage, on a recours à des méthodes d'optimisation mathématique très utilisées comme la programmation mixte en nombres entiers et la programmation par contraintes.

4 Insertion du bobinage dans la carcasse



5 La barre de raccordement et les barres de phase sont raccordées à la boîte à bornes. L'espace limité rend la conception délicate.



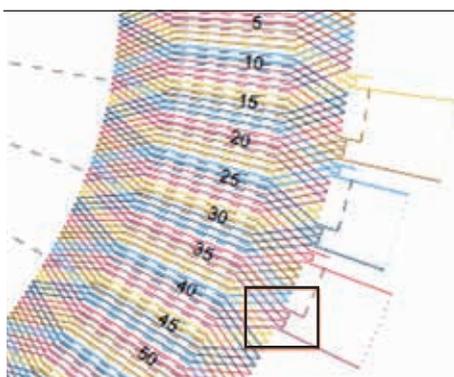
de phase, les barres de raccordement et les conducteurs cintrés. Elles laissent présager deux zones problématiques lorsque les capuchons d'isolation viendront coiffer les raccordements des barres du bobinage: l'espace entre le capuchon d'isolation de la barre de raccordement et le conducteur cintré adjacent ne permet pas de fabriquer le bobinage. Il en va de même entre le capuchon d'isolation du cavalier de phase et le conducteur voisin. La fabrication de ce bobinage au moyen de conducteurs cintrés est irréalisable par manque de place. Il faut trouver une autre solution qui tienne compte de la distance minimale entre les conducteurs ainsi que des

contraintes de fabrication et d'isolation de la nouvelle géométrie de raccordement.

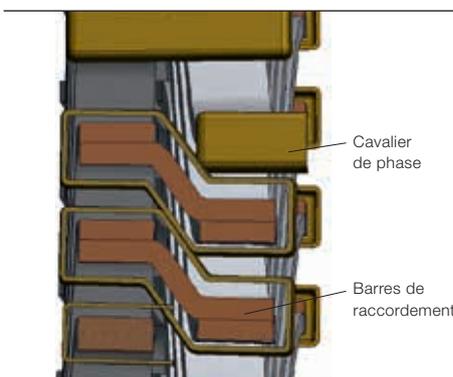
L'optimisation peut intervenir à tout moment du processus de conception; dans ce cas précis, elle consiste principalement à vérifier la faisabilité de la nouvelle pièce, en conservant les tolérances et entrefers minimaux. La vue 3D du schéma de bobinage donne une vision radicalement différente de la représentation 2D → 8.

L'optimisation des coûts, sans aucune incidence sur la qualité ni les performances, ne vise pas seulement le

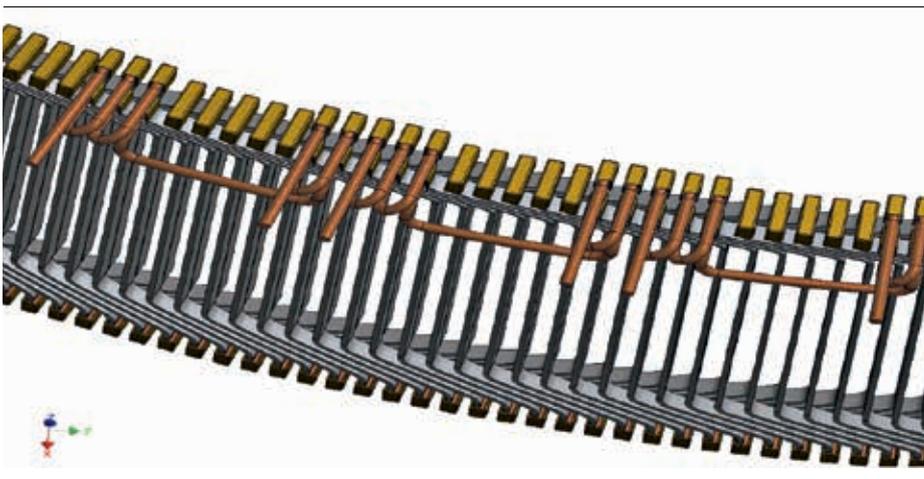
6 Schéma de bobinage 3D. Le contenu du carré est détaillé dans la vue de dessus en → 7



7 Représentation 3D du schéma de bobinage



8 Schéma de bobinage 3D



nombre de cavaliers d'un schéma de bobinage. Elle peut également s'intéresser au prix d'un conducteur cintré comparé à celui d'un petit pont cintré. Le coût de l'inductance supplémentaire nécessaire au brasage du conducteur cintré, ainsi que le temps de brasage, l'emplacement des bornes, la longueur, etc., s'annulent lorsque le petit pont est utilisé, l'inductance étant la même que celle des barres de raccordement. Tous ces aspects doivent entrer en ligne de compte dans la recherche de la meilleure solution réalisable.

Optimiser la conception, minimiser les risques

IGM-Winding d'ABB est un remarquable outil d'optimisation du schéma de bobinage des machines électriques tournantes. Il aide les concepteurs et les fabricants à choisir la meilleure solution à partir de modèles paramétriques 3D précis. Il minimise les temps de conception et de création des dessins grâce à un processus global automatisé qui anticipe très tôt les défauts de conception.

L'estimation exacte des distances critiques réduit le risque de problèmes de fabrication et, ultérieurement, de défaillance précoce des bobinages suite à des défauts de conception, en particulier pour les entraînements de broyeur sans réducteur installés en altitude. Destiné à tous les types de moteur et de générateur, IGM-Winding est déjà utilisé par les concepteurs d'entraînements de broyeur sans réducteur ABB.

IGM-Winding d'ABB est un remarquable outil d'optimisation du schéma de bobinage des machines électriques tournantes. Il aide les concepteurs et les fabricants à choisir la meilleure solution à partir de modèles paramétriques 3D précis.

Macarena Montenegro-Urtasun

Giovanni Canal

Process Automation

Baden-Dättwil (Suisse)

macarena.montenegro-urtasun@ch.abb.com

giovanni.canal@ch.abb.com

Jan Poland

ABB Corporate Research

Baden-Dättwil (Suisse)

jan.poland@ch.abb.com

Axel Fuerst

anciennement chez ABB Process Automation

Remerciements

ABB tient à remercier Mensch und Maschine CAD-LAN AG pour son soutien à ce projet et en particulier Peter Voegeli pour avoir trouvé une méthode très efficace de conception de la géométrie 3D dans Inventor.





Broyeurs XXL

Les systèmes d'entraînement ABB dans la course au gigantisme des broyeurs de minerai

VENKAT NADIPURAM - L'un des défis majeurs qui se pose aujourd'hui à l'industrie minière est le maintien des rendements productifs alors même que la qualité des minerais a chuté de 40 % ces dix dernières années. La rentabilité des sites miniers doit rester attrayante malgré la hausse des coûts énergétiques et le durcissement de la réglementation environnementale. Les analystes tablent sur une croissance modeste du secteur au cours des prochaines décennies, des gains de productivité s'imposent. Leader sur le marché des systèmes d'entraînement pour broyeurs, ABB allie sa parfaite connaissance des opérations minières à son expérience applicative pour proposer un portefeuille diversifié de solutions d'entraînement aux industriels.

Photo

Les gigantesques broyeurs de l'industrie minière sont pilotés par des solutions d'entraînement ABB. Ci-contre, l'entraînement sans réducteur d'un broyeur de la mine de cuivre d'Esperanza au Chili.

Les concasseurs et broyeurs sont pilotés par des systèmes d'entraînement électriques aux caractéristiques propres à chaque exploitation minière.

1 Différents procédés de fragmentation

Procédés	Granulométrie (mm)
Abattage	$\infty - 1000$
Concasseur primaire	200 - 1000
Broyeur à cône	20 - 200
Broyeur autogène/semi-autogène	2 - 200
Broyeur à barres	5 - 20
Broyeur à boulets	0,2 - 5
Cylindre de broyage haute pression	1 - 20
Broyeur agitateur	0,001 - 0,2

 Abattage	 Concassage
 Broyage	

2 Broyeur à boulets de la mine d'Aitik (Boliden)



L'exemple de circuit SAG de grande capacité → 3 consomme toutefois beaucoup d'énergie spécifique par tonne de minerai traité, essentiellement à cause du rendement médiocre des broyeurs à boulets et de l'utilisation de sphères d'acier comme corps broyants.

Réduite à sa plus simple expression, l'activité minière consiste à valoriser un métal à partir de son minerai. Or la fragmentation des blocs de minerai n'a rien de simple car elle fait intervenir une succession complexe d'opérations de concassage-broyage visant à réduire la taille des fragments selon une granulométrie plus exploitable → 1. Entre ces différentes étapes, le minerai traité circule en général sur des bandes transporteuses. Les concasseurs et les broyeurs nécessitent des équipements fiables et à haut rendement énergétique, notamment des systèmes d'entraînement électriques.

Il existe globalement deux types de circuits de fragmentation : les circuits auto-gènes (AG) et les circuits semi-auto-gènes (SAG). Les premiers mettent en œuvre un concasseur, un broyeur auto-gène et un broyeur à boulets, et les seconds un concasseur, un broyeur semi-autogène et un broyeur à boulets. Celui-ci est un tambour rotatif horizontal légèrement incliné et partiellement rempli de corps broyants (billes de porcelaine, galets ou sphères d'acier). Le broyage se fait par chocs et frottement entre les fragments de minerai et les corps broyants jusqu'à obtenir la granulométrie requise → 2.

Entraînement de broyeur à couronne

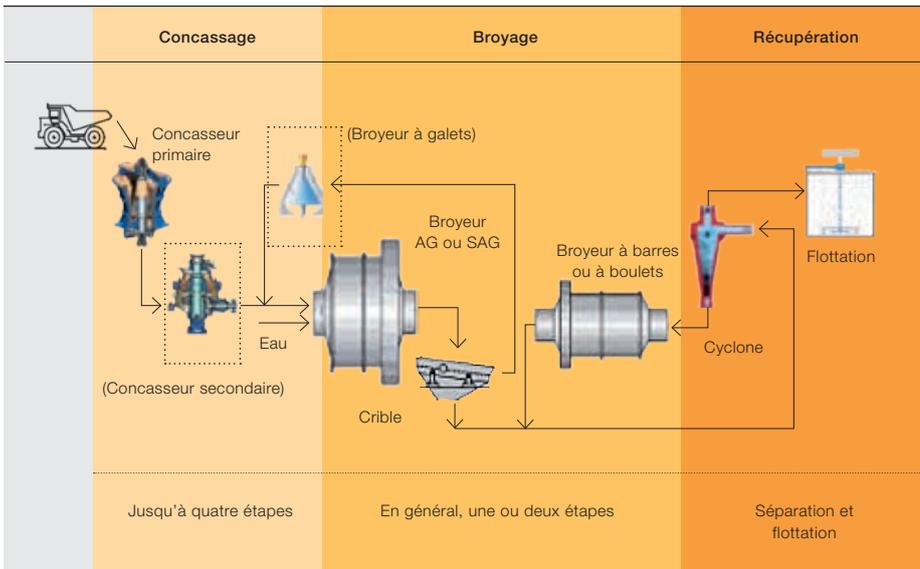
Les concasseurs et broyeurs sont pilotés par des systèmes d'entraînement électriques. ABB propose différents types d'entraînement répondant aux caractéristiques propres à chaque application minière.

Les systèmes d'entraînement à couronne dentée, par exemple, sont bien adaptés aux broyeurs de puissance inférieure à 18 MW, soit 9 MW maxi par pignon → 4. Or la taille des broyeurs tubulaires ne cessant d'augmenter pour des raisons de productivité, il en va de même des puissances d'entraînement. Même si ABB est capable de fabriquer des systèmes d'entraînement de très grosse puissance, les limites physiques du réducteur mécanique interdisent son utilisation avec les broyeurs tubulaires de plus de 18 MW.

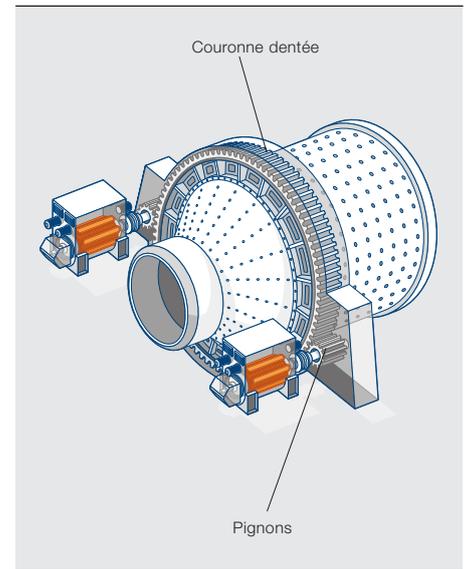
Entraînement de broyeur sans réducteur

En 1969, ABB levait cet obstacle en fournissant le tout premier entraînement de broyeur sans réducteur à l'industrie cimentière puis, en 1985, à l'industrie minéralurgique. Depuis, cette solution est devenue un standard de fait dans les très grands ateliers de broyage. ABB a vendu et installé plus de 120 entraîne-

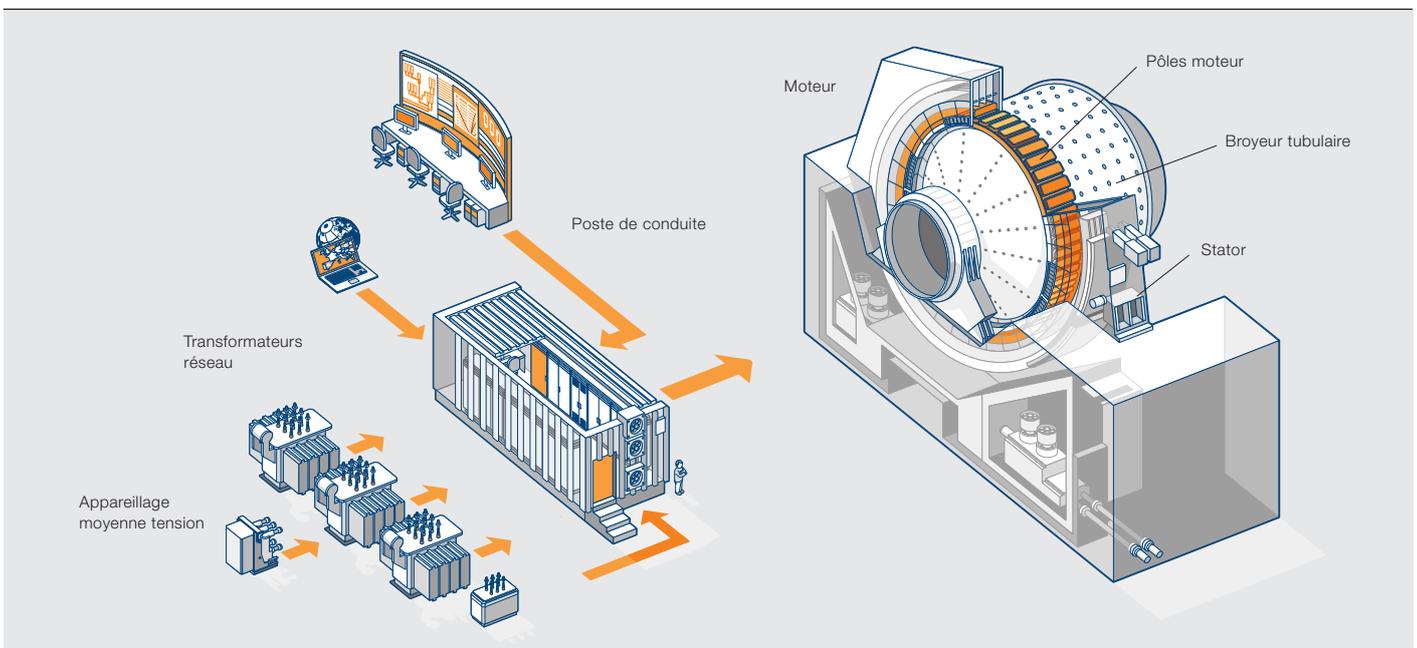
3 Circuit de fragmentation semi-autogène (SAG)



4 Entraînement de broyeur à couronne



5 Solution d'entraînement de broyeur sans réducteur ABB



ments de broyeur sans réducteur dans le monde.

Leurs avantages pour le broyage de minerai se sont confirmés au cours des 40 dernières années et d'autant plus renforcés avec la taille croissante des broyeurs.

Dans la solution d'entraînement sans réducteur d'ABB, le tambour du broyeur forme le rotor du moteur, les pôles se trouvant sur la circonférence externe → 5. L'ensemble statorique est monté autour des pôles avec une précision telle que la distance qui les sépare ne dépasse pas 14–16 mm, selon la taille du broyeur.

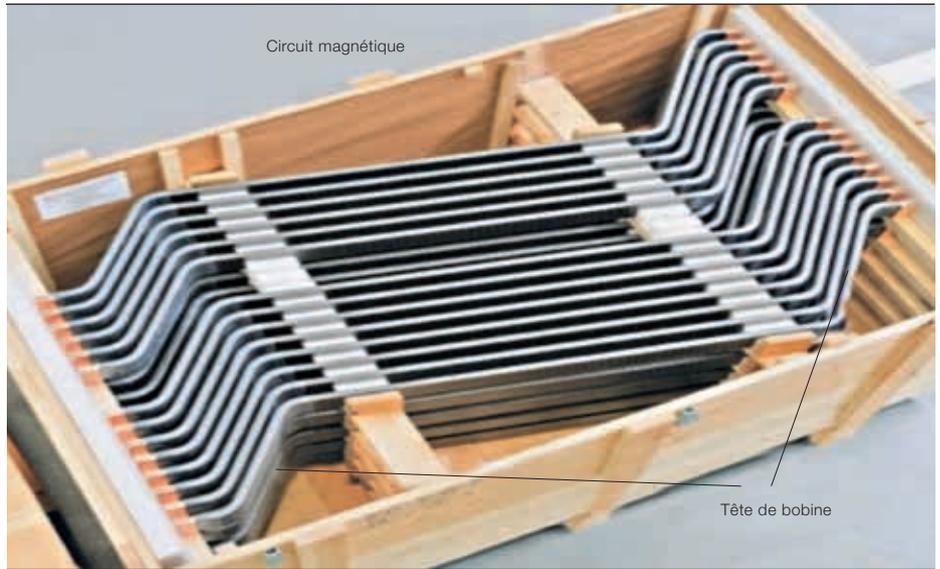
La suppression du réducteur mécanique (couronne dentée et pignon) permet de s'affranchir de certaines restrictions et, donc, d'augmenter le diamètre des broyeurs selon les besoins. ABB livrera le plus grand broyeur au monde (12,8 m de diamètre) à la mine de Conga au Pérou.

L'absence de réducteur dope le rendement et la disponibilité des broyeurs tout en simplifiant leur maintenance. La commande en vitesse variable est un autre levier d'amélioration des performances globales en termes de bilan énergétique et de granulométrie. Elle sollicite également moins le réseau électrique au démarrage du broyeur et autorise des fonctions de

L'absence de réducteur dope le rendement et la disponibilité des broyeurs tout en simplifiant leur maintenance.

ABB propose des solutions d'entraînement avancées et optimisées pour les cylindres de broyage haute pression, et dispose actuellement du plus important parc installé dans les puissances supérieures à 2 MW.

6 Imprégnation globale sous vide et pression des bobines



maintenance comme l'élimination des charges solidifiées, le contrôle de l'oscillation avant-arrière et le positionnement automatique.

Avancée conceptuelle

Depuis le lancement de ses systèmes d'entraînement sans réducteur, ABB a fourni des solutions sur mesure à un grand nombre de sites miniers aux exi-

manière presque homogène la section complète du cuivre tout en réduisant les pertes et les courants de Foucault. Ces fils sont regroupés dans une isolation imprégnée sous vide et pression à base de mica → 6. La barre statorique complète est ainsi imprégnée, y compris la section d'encoche et les têtes de bobine, ce qui est déterminant pour les applica-

tions en altitude. Les tôles stator sont compressées afin d'accroître la rigidité globale, minimisant les opérations de resserrage sur la durée de vie du moteur à bagues.

Travaillant à sec, les cylindres de broyage haute pression économisent les ressources en eau souvent peu abondantes sur les sites miniers en zone aride.

Télédiagnostic

ABB a développé des outils avancés d'aide au dépan-

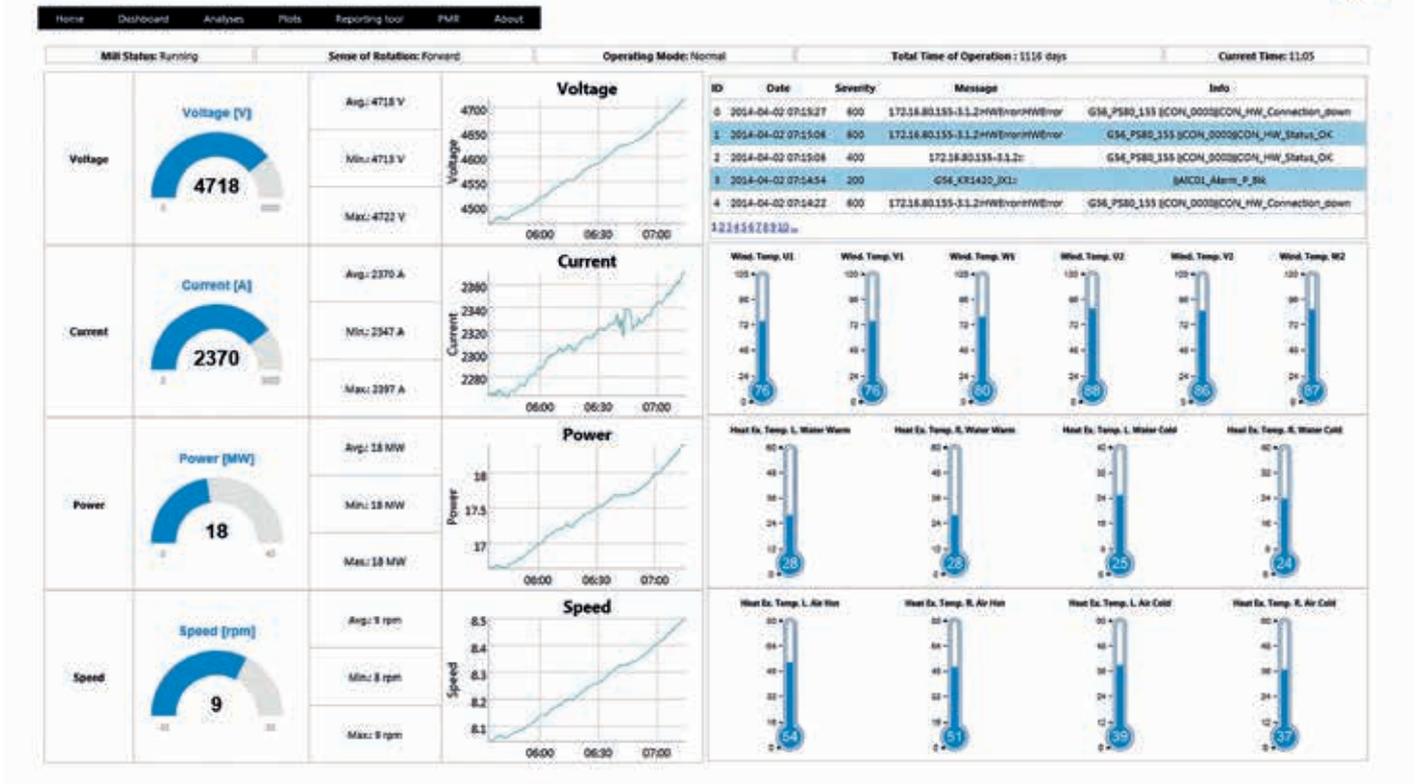
gences spécifiques en matière de puissance, de taille et d'altitude. Dernier exploit en date : la mise en service d'un système de 28 MW à 4600 m au-dessus du niveau de la mer.

nage et de maintenance prédictive. À partir de données d'état rafraîchies, le système signale, par exemple, aux opérateurs tout problème potentiel bien avant une alarme ou un déclenchement automatique. L'information est transmise par courriel ou texto aux exploitants de la mine ainsi qu'aux ingénieurs ABB du centre de télédiagnostic → 7.

ABB continue de développer de nouvelles fonctions et exécutions pour garantir une meilleure disponibilité et une maintenance plus simple, notamment pour les mines isolées et en altitude.

Les outils de télédiagnostic surveillent une large palette de signaux provenant de composants clés du système d'entraînement de broyeur sans réducteur, y compris les transformateurs, les cycloconvertisseurs et le moteur à bagues. Ces signaux permettent d'analyser en continu

À titre d'exemple, citons l'attention particulière accordée à l'isolation des bobines du stator. Le bobinage est formé de barres dont les fils isolés individuellement sont entrelacés afin d'utiliser de



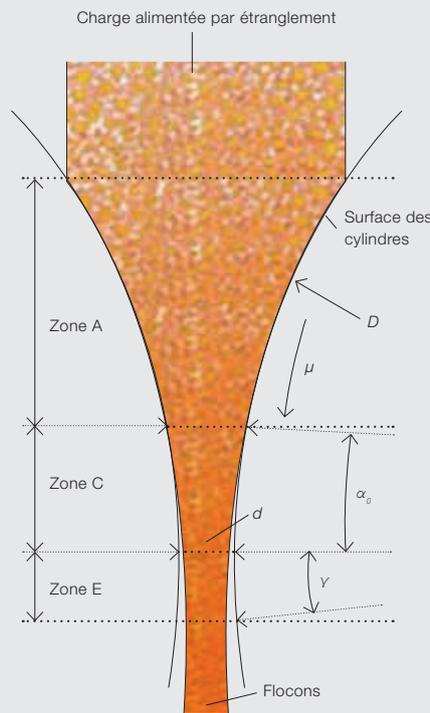
8 Cylindre de broyage haute pression : comment ça marche ?

Le broyage haute pression met en œuvre une technologie avancée. La machine est pourvue de deux cylindres tournant en sens contraire, l'un fixe et l'autre mobile dans le plan horizontal. Une pression constante est appliquée au cylindre mobile par des vérins hydrauliques pour fragmenter le minerai.

Contrairement aux cylindres de concassage classiques, les fragments sont écrasés par compression dans un lit de particules compactées et non par écrasement direct entre les deux cylindres. Ce lit de particules est compressé jusqu'à une densité d'environ 85 % de la densité réelle du matériau.

La pression appliquée peut atteindre près de 300 Mpa, soit plus que la résistance à la compression du minerai chargé. Pendant le compactage, le matériau est broyé en une large dispersion granulométrique avec une importante proportion de grains fins compactés en flocons.

La figure ci-contre montre l'avance du matériau entre les deux cylindres et les différentes zones : zone A, dans laquelle le matériau est poussé ou accéléré vers la zone de compactage C, où il est pressé et déversé dans la zone E.



- Zone A = accélération
- Zone C = compactage
- Zone E = expansion
- D = diamètre des cylindres
- d = épaisseur des flocons
- α_0 = angle de la zone de compactage
- γ = angle de la zone d'expansion
- μ = vitesse périphérique

l'état fonctionnel du système et d'informer le client de manière précise et opportune de tout problème susceptible d'apparaître en cours d'exploitation.

Évolution technologique

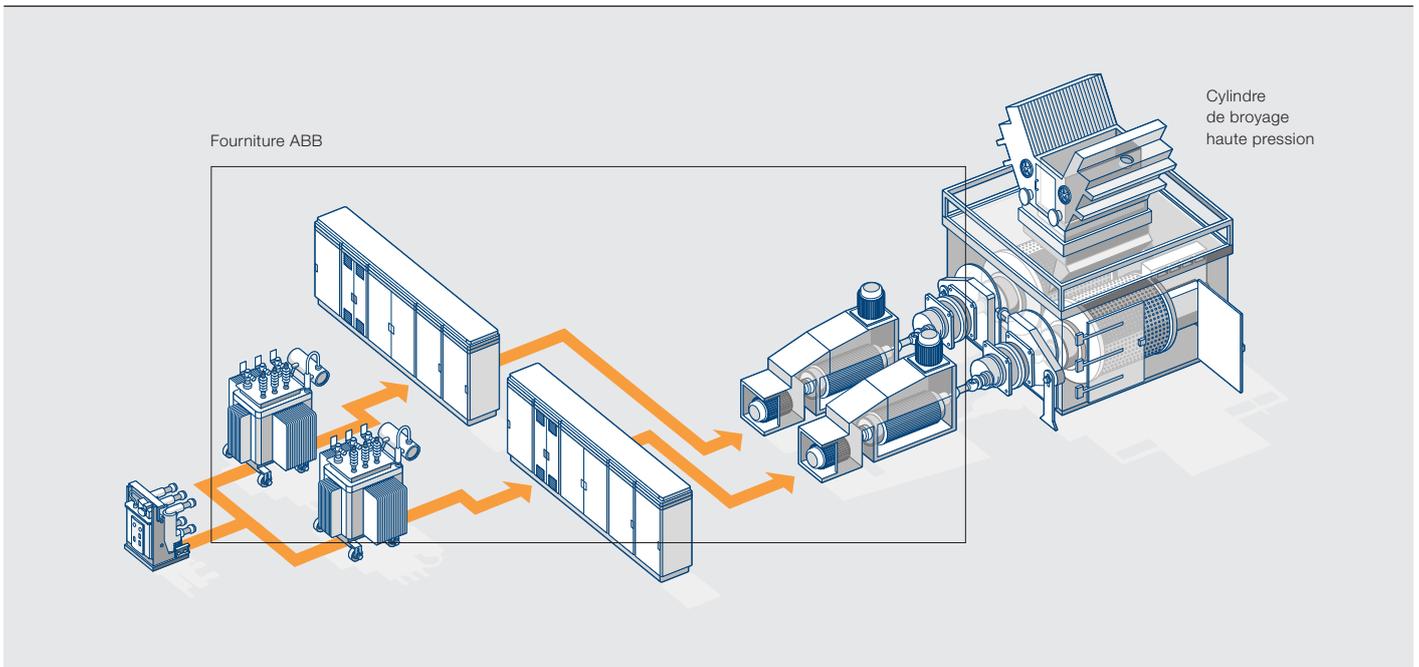
L'industrie minière est aujourd'hui de plus en plus confrontée à un défi sans précédent : augmenter la taille des broyeurs pour produire plus à partir de minerais plus pauvres tout en consommant moins d'énergie.

Les cylindres de broyage haute pression → 8 constituent une alternative intéressante car ils sont extrêmement efficaces pour fragmenter des charges minéralisées, en particulier depuis que leurs constructeurs ont mis au point des systèmes protégeant les cylindres de l'usure provoquée par les produits durs et abrasifs

Travaillant à sec, ces cylindres permettent par ailleurs d'économiser les ressources en eau souvent peu abondantes sur des sites miniers en zone aride, par exemple au Chili.

Circuits de fragmentation avec cylindres haute pression

Cette solution offre plusieurs avantages, notamment pour optimiser la consommation totale d'énergie spécifique d'une installation.



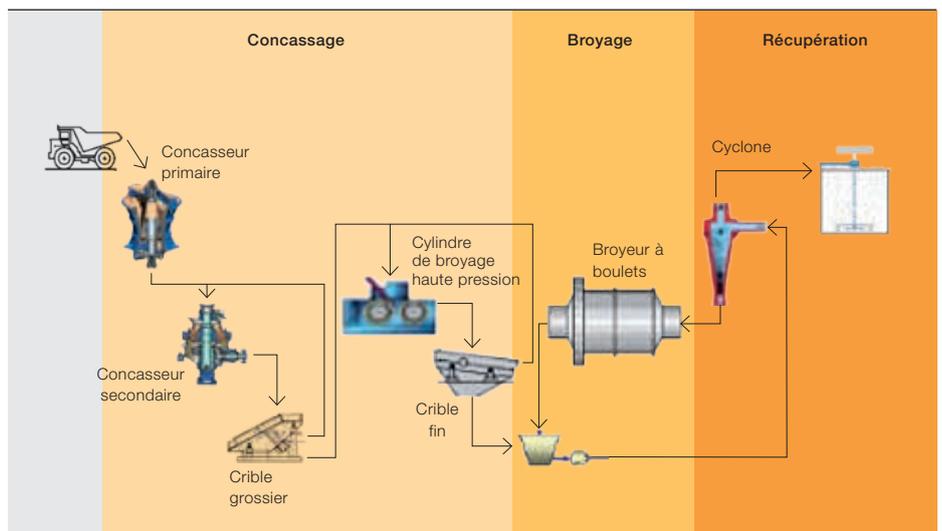
Comparés aux circuits SAG traditionnels, leur intérêt majeur réside dans une baisse de la consommation d'énergie pouvant atteindre 20%. De plus, ces cylindres améliorent la libération des constituants des minerais, abaissent l'indice de broyabilité, raccourcissent les délais de mise en service et diminuent la taille des installations.

Utilisés avec succès depuis des années sur différents sites miniers, les cylindres de broyage haute pression accèdent à la maturité technologique. Au fur et à mesure qu'ils augmentent de taille et de capacité, donnant de meilleurs taux de réduction que les concasseurs tertiaires, des circuits associant concasseurs secondaires et cylindres de broyage haute pression → 10 remplaceront de plus en plus souvent les circuits SAG → 3.

Offre ABB

ABB propose des solutions d'entraînement avancées et optimisées pour les cylindres de broyage haute pression → 9 et dispose actuellement du plus important parc installé dans les puissances supérieures à 2 MW. Ces entraînements répartissent la charge de manière identique entre les deux cylindres à la vitesse désirée. En adaptant la vitesse aux propriétés du minerai, les organes mécaniques des broyeurs sont moins sollicités. Le système d'entraînement compense la réduction de vitesse périphérique résultant de l'usure des cylindres

10 Circuit de fragmentation haute pression



en accélérant le moteur. Le rendement productif est alors maintenu à des valeurs optimales sur la durée de vie complète des cylindres. La commande DTC (*Direct Torque Control*) donne les meilleurs temps de réponse couple/vitesse du marché pour une adaptation rapide et précise aux fréquents transitoires de charge liés à la variabilité de la taille des fragments entre les cylindres.

Cette technologie est en passe de s'imposer face aux circuits SAG du fait des exigences de réduction des coûts énergétiques, de consommation d'eau et d'encombrement. Même s'il s'agit d'une solution aujourd'hui classique dans le traitement des minerais, elle fait l'objet

de développements constants, notamment chez ABB, chef de file dans le domaine des innovations ciblant l'optimisation des performances des systèmes d'entraînement.

Venkat Nadipuram

ABB Process Automation, Industry Solutions
Baden-Dättwil (Suisse)
venkat.nadipuram@ch.abb.com



Évolution industrielle

L'intégration électrique avec l'offre 800xA d'ABB normalisée CEI 61850

ALAN FERNANDES TEIXEIRA, LEANDRO HENRIQUE MONACO – Même s'ils ont beaucoup progressé ces dernières décennies, les automatismes industriels doivent relever de nouveaux défis dont le maître mot est « intégration ». Plus précisément, il leur faut fédérer différents sites et systèmes dans le triple dessein de réduire les coûts, d'améliorer l'efficacité opérationnelle et de sécuriser l'exploitation. Le système d'automatisation étendue et unifiée 800xA d'ABB s'appuie sur l'intégration des postes électriques normalisée CEI 61850 pour gérer les capacités de production d'un complexe industriel de même que la consommation d'énergie de chaque partie de chaque processus. La plate-forme ABB offre pour cela un concentré de technologies performantes, qui aide les clients à gagner sur les deux tableaux de l'optimisation de la production et de l'efficacité énergétique.

1 Le couplage 800xA-CEI 61850 intègre divers systèmes et sites dans une plate-forme unifiée.



Dans l'industrie, la quête de rentabilité et d'efficacité exige de produire toujours plus avec moins. Cet objectif se double aujourd'hui d'une autre nécessité : réduire les coûts énergétiques tout en optimisant les taux de production. Les systèmes d'automatisation industrielle ont pour cela quatre missions principales :

- Assurer la sécurité du personnel ;
- Réduire les dépenses d'investissement des nouvelles installations ;
- Relier les sites éloignés, difficiles à exploiter ;
- Pallier le manque d'intégration entre systèmes.

Pour y parvenir, ABB a couplé son système d'automatisation étendue 800xA à la norme de communication dans les postes électriques CEI 61850 au sein d'une plate-forme unifiée → 1. La solution ne fait pas que diminuer les coûts d'installation et de maintenance ; elle augmente également la disponibilité en réduisant les temps d'arrêt et apporte sa dose d'« intelligence » en conciliant données process et données électriques

Photo p. 31

Totalement intégrée, la plate-forme 800xA d'ABB satisfait aux exigences d'un système de gestion de l'énergie et accroît la sécurité en facilitant les interventions à distance et en atténuant les risques.

pour permettre des programmes d'efficacité énergétique.

Préserver le personnel

La vie est le plus précieux capital de l'usine. La préserver, c'est notamment réduire l'exposition des équipes de maintenance au danger électrique pour sécuriser l'espace de travail. Les protocoles de communication habituellement utilisés dans les installations électriques (PROFIBUS et Modbus, entre autres) permettent déjà la téléconduite des postes électriques d'un site industriel. Or des opérations comme la configuration et le paramétrage, ou l'accès aux enregistrements de perturbation nécessaires à l'analyse des incidents (chutes de tension, déclenchements de protection contre les surintensités), exigent une présence physique. Pour la majorité des protocoles actuels, ces tâches obligent à raccorder en local des ordinateurs portables aux dispositifs électroniques intelligents IED¹. L'un des avantages de la norme CEI 61850 tient à ce que ses protocoles autorisent les interventions à distance, après avoir connecté les IED à un réseau Ethernet et transmis par ce biais tous les fichiers correspondants. Il n'y a de maintenance sur site que pour les problèmes mécaniques.

Alléger le budget

Qui dit nouvelles installations dit lourds investissements : c'est là l'un des premiers soucis de l'industriel. Certes, le nombre de liaisons câblées à l'intérieur des appareillages électriques renchérit

Dans l'industrie, la quête de rentabilité et d'efficacité exige de produire toujours plus avec moins.

considérablement l'installation mais il est possible de repérer le « schéma » récurrent suivant lequel les armoires et équipements électriques (IED, par exemple) sont interconnectés au sein d'un poste ou de plusieurs postes dans l'usine. Si l'on pouvait raccorder des armoires de même type en créant un protocole de communication *ad hoc*, les coûts d'installation chuteraient considérablement. C'est ce que propose la CEI 61850 avec le protocole GOOSE² (*Generic Object-Oriented Substation Event*). Ainsi, à

Note

¹ Acronyme anglo-saxon de *intelligent electronic device*, couramment utilisé pour désigner les dispositifs et appareillages secondaires programmables (relais de protection, commandes de disjoncteur, régulateurs de tension, etc.) se chargeant de la conduite, de la surveillance et de la protection avancées d'un poste électrique, en lien direct avec un système de téléconduite (SCADA).

La norme de communication CEI 61850

Ce référentiel de l'intégration des postes électriques précise les exigences de communication, les caractéristiques fonctionnelles, la structure et les conventions de nommage des données, le mode d'interaction des applications et leur pilotage des équipements, ainsi qu'une méthodologie d'essais de mise en conformité.

Pour en savoir plus : « Special Report : IEC 61850 », *ABB review*, août 2010.

Le système d'automatisation étendue 800xA

800xA est une plate-forme unifiée de développement, de mise en service, de pilotage et d'exécution des automatismes pour le procédé, l'installation électrique et la sécurité d'une usine. Sa stratégie d'intégration, basée sur la technologie *Aspect Object* d'ABB, relie l'ensemble des données ou « aspects » du site à ses éléments constitutifs ou « objets ». Le développement et la restitution de la bonne information, au bon moment et à la bonne personne s'effectuent en un clic.

Une plate-forme commune diminue les coûts d'installation et de maintenance, augmente la disponibilité et apporte sa dose d'« intelligence » par une judicieuse combinaison des données process et électriques.

chaque armoire type correspond une configuration d'IED type, réutilisable durant tous les travaux d'optimisation du site. Qui plus est, le protocole utilisé par les IED étant numérique, la fibre optique prend le relais des câbles de communication et, du fait de son immunité électromagnétique, peut se rapprocher des jeux de barres.

Autres avantages de cette configuration logique commune: il n'y a qu'un IED à tester et n'importe quelle retouche de configuration nécessaire à cet IED est facilement répliquée dans tous les autres. L'emploi de postes modulaires préfabriqués facilite également les essais et la mise service puisque les armoires peuvent être testées en usine avant expédition.

Tenir la distance

Les mines évoluent en terrain difficile: très souvent éloignées des grands centres économiques, elles obligent à creuser toujours plus profond pour trouver des minerais plus complexes. Ces facteurs, aggravés par une pénurie de main-d'œuvre qualifiée, poussent les minières à automatiser davantage leurs opérations. Pour ce qui est de l'appareillage électrique, plusieurs postes disséminés doivent être raccordés au même système de supervision de façon à centraliser la téléconduite et la télémaintenance. Avec la communication CEI 61850, la

liaison numérique établie entre les IED et les serveurs du système 800xA → 2,3 rapatrie au personnel de maintenance l'information nécessaire pour identifier et résoudre rapidement le problème à distance. Les questions matérielles sont ainsi réglées dans les plus brefs délais, avec l'avantage d'accroître la disponibilité du site et, par voie de conséquence, la productivité.

Intégrer

Avec l'informatisation des applications industrielles, plusieurs systèmes d'information ont été développés pour fournir une base de données plus complète des différentes strates de l'usine. De nos jours, il est fréquent de cumuler une multitude de systèmes applicatifs (supervision, maintenance et planification de la production), tous tributaires de la même information (position d'un disjoncteur, par exemple). Cet essaimage conduit à deux scénarios contre-productifs :

- La même information est saisie plusieurs fois dans ces différents systèmes ;
- La « communication » se résume aux échanges entre les exploitants de ces systèmes.

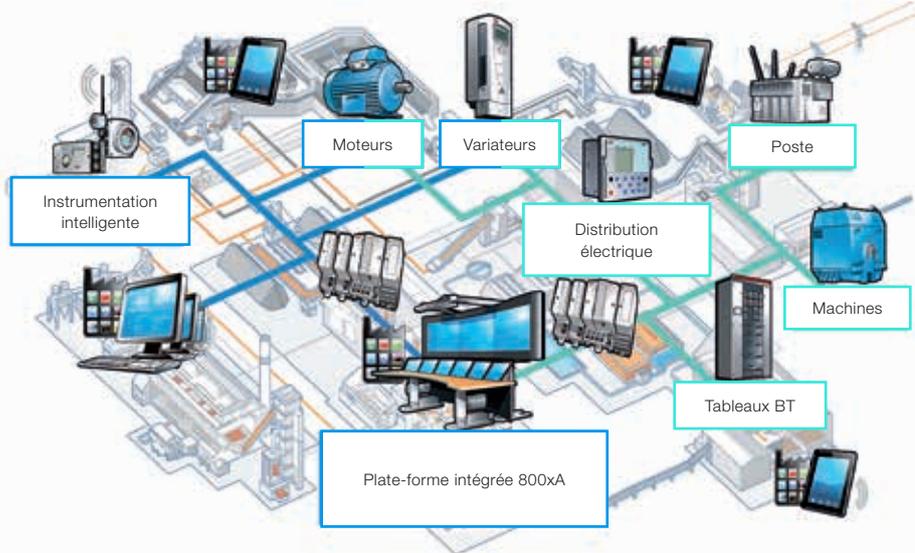
La plate-forme intégrée 800xA d'ABB y remédie complètement.

D'ordinaire, les postes électriques haute tension (HT) et moyenne tension (MT) d'une usine sont gérés par deux systèmes et équipes bien distincts. En appliquant la CEI 61850 à ces deux niveaux de tension, il est possible d'intégrer la totalité des postes du site dans un même 800xA, simplifiant les opérations et les échanges entre appareillages HT/MT, par exemple.

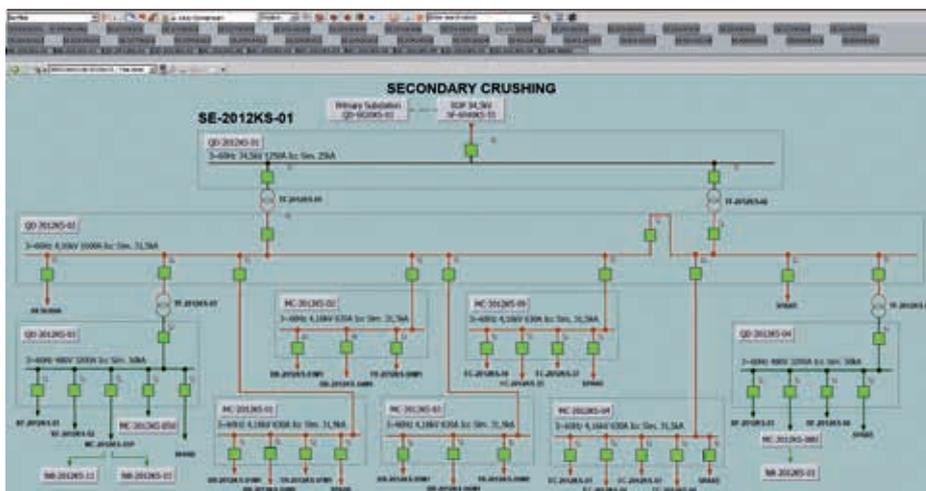
Note

- 2 Modèle de transfert de données événementielles, normalisé CEI 61850, qui permet aux IED¹ d'échanger très rapidement (en moins de 3 ms) des messages importants de déclenchement et d'interverrouillage, indépendamment de tout système de supervision ou de commande.

3 Grâce à l'architecture d'automatisation intégrée 800xA d'ABB, les industriels disposent d'une base de données process/équipements électriques commune.



4 Intégrer tous les niveaux de tension simplifie l'exploitation et la communication entre les composantes du système.



Le 800xA intègre également son système de contrôle-commande du procédé → 4. Résultat, des équipements normalisés CEI 61850 en charge du contrôle-commande au sein d'une même plate-forme 800xA permettent de compiler une base de données « mixte » (équipements process et électriques) qui pointe vers les bons indicateurs clés de performance (KPI) de l'activité.

L'un des KPI fondamentaux est l'efficacité du procédé, c'est-à-dire le rapport entre la consommation d'énergie et les taux de production, qui permet de comparer différentes lignes de production, voire différents équipements d'une même étape du process, afin de repérer plus vite les problèmes ou dérives.

Surmonter les difficultés

Si l'évolution des systèmes d'automatismes a son lot d'avantages opérationnels, elle pose également de nouveaux défis. La raréfaction des ressources naturelles, par exemple, pousse les minières à explorer toujours plus loin, à creuser plus profond et dans des conditions extrêmes qui augmentent les dépenses sur toute la durée de vie de l'exploitation. La maintenance est donc devenue primordiale pour accroître la prédictibilité du comportement des équipements et réduire les temps improductifs en cours de réparation.

Dans un système totalement intégré, cette vision à 360° a une influence positive sur la prise de décisions et, inévitablement, sur le procédé lui-même. Pour autant, ces nouveaux systèmes engendrent diffé-

rentes bases de données dont le manque d'intégration pénalise la gestion globale de l'usine. Les informations publiées tous azimuts et en même temps ne permettent pas de rendre compte de la situation ni de prendre les bonnes décisions en cas de défauts. De même, une communication inefficace entre équipes de différents secteurs peut augmenter les arrêts de production.

Plate-forme de contrôle-commande totalement intégrée, 800xA remplit le cahier des charges d'un véritable système de gestion de l'énergie. Mieux encore, la solution accroît la sécurité en diminuant l'exposition de la maintenance aux situations potentiellement dangereuses, grâce à des télédiagnostics complets transmis au centre de conduite, qui réduisent le risque avant toute intervention.

Alan Fernandes Teixeira

ABB Process Automation, Industry Solutions
São Paulo (Brésil)
alan.fernandes@br.abb.com

Leandro Henrique Monaco

ABB Process Automation, Control Technologies
Västerås (Suède)
leandro.monaco@se.abb.com

Automatiser pour plus d'efficacité

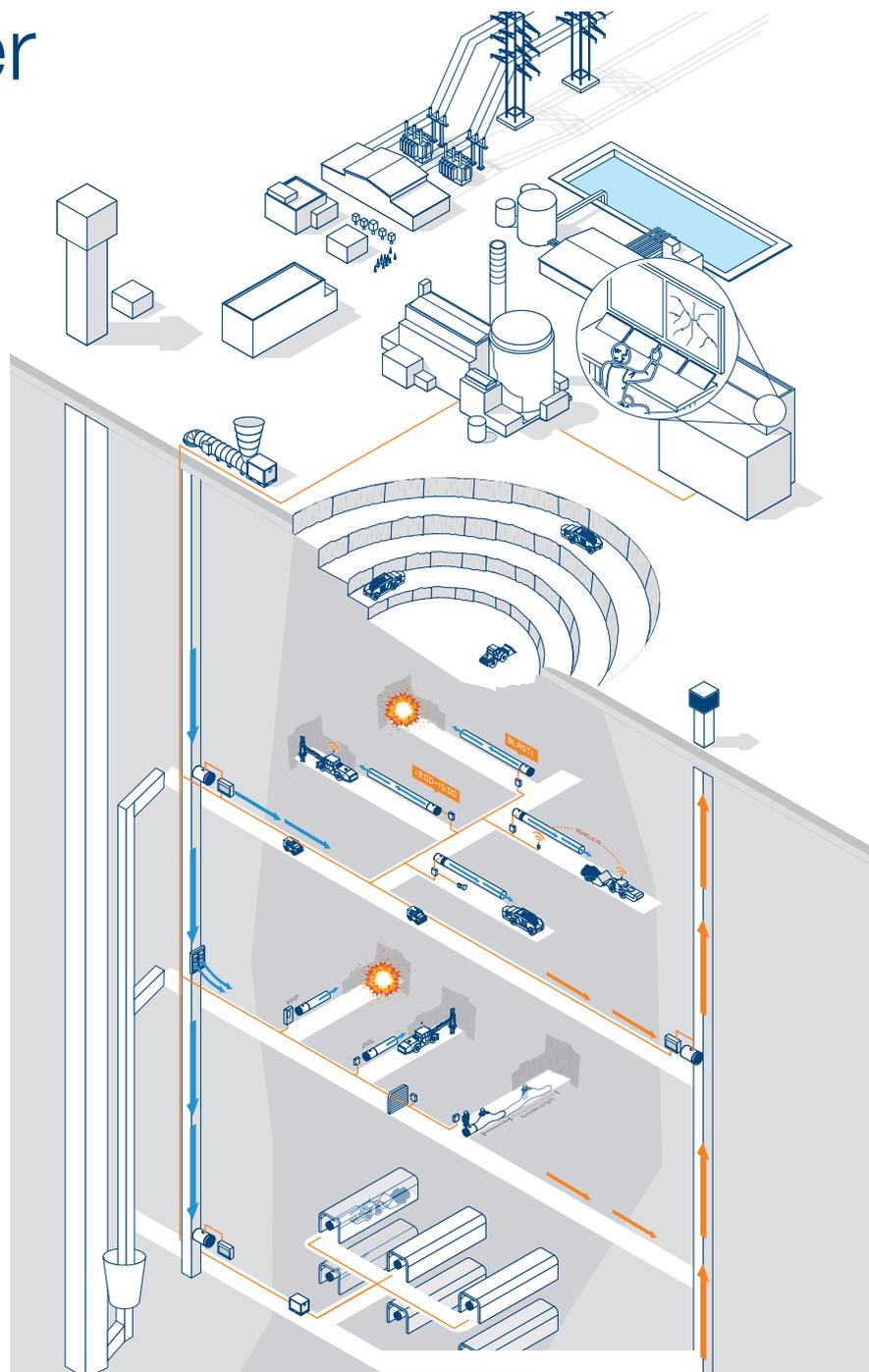
Le système d'automatisation étendue 800xA d'ABB relie tous les niveaux de la mine

JOHAN BJORKLUND, ANDERS BOMAN, MIKAEL STEINER – Si les contraintes et les enjeux de l'industrie minière sont aujourd'hui multiples, on peut y remédier par une automatisation performante des sites et des équipements. Depuis plus de dix ans, la plate-forme 800xA d'ABB domine le marché des architectures d'automatismes par sa capacité à augmenter la productivité en regroupant au sein d'un seul système les grandes fonctions et composantes de l'entreprise industrielle (système d'information, installation électrique, sécurité, télécoms, logistique, données de production, etc.). La solution est également synonyme d'environnements d'exploitation performants, parfaits pour centraliser la conduite des opérations. Après avoir fait ses preuves dans le monde entier, le système 800xA est aujourd'hui le candidat idéal pour l'automatisation intégrée de la mine.

Si l'automate programmable industriel (API) occupe le terrain de la mine depuis de nombreuses années, son utilisation s'est souvent cantonnée à des îlots d'automatisation se résumant à la simple commande de moteurs,

Illustration

Pour réduire les coûts, accroître la productivité et sécuriser la mine, une solution : l'automatisation intégrée 800xA.



d'équipements ou de parties de procédé. Pour parer aux difficultés que rencontre aujourd'hui le secteur minier, il faut une solution d'automatisation englobant toute la chaîne d'opérations qui va du puits au client final.

La plate-forme 800xA d'ABB a tout pour cela. Elle est capable d'intégrer tous types de produits et solutions industriels dans un seul environnement de contrôle-commande : API, automatismes distribués traditionnels ; systèmes de sécurité ; matériels

électriques (moteurs et variateurs) ; applications de planification de la production, de gestion de l'énergie, des actifs, de la production (ERP), de la maintenance et de la documentation.

La totalité des équipements miniers (engins d'excavation, camions, concasseurs, convoyeurs, machines d'extraction, entraînements de broyeur sans réducteur, ventilateurs, pompes, capteurs et instruments de mesure) peut être fédérée par 800xA.

Toute l'activité minière est alors pilotée et optimisée par un seul et unique système. C'est le cas, par exemple, des opérations d'abattage, de concassage et de broyage dans le concentrateur, resserrant tous les maillons de la chaîne de valeur.

800xA nouvelle génération

Fort de quelque 10 000 systèmes en service dans plus de 100 pays et plus de 50 millions d'entrées/sorties à son actif, le système 800xA domine le marché du contrôle-commande distribué et conforte ABB au premier rang mondial du secteur depuis plus d'une décennie.

Le 800xA de sixième génération, ou « v6 », ne vise pas seulement les nouveaux projets mais aussi la modernisation de systèmes de contrôle-commande distribué plus anciens tournant sur Microsoft XP, par exemple. Il dote les clients ABB d'un environnement d'automatisation plus sûr qui abaisse le coût de possession et dope la productivité.

Cyberdéfense

Le système 800xA v6 ajoutera à l'arsenal de cybersécurité en place des fonctionnalités telles que le contrôle d'accès évolué, les listes blanches (répertoriant les sites, hôtes, domaines ou adresses sûrs) et le moyen de surveiller et de gérer l'intégrité de la sécurité du système de contrôle-commande. Citons notamment :

- le support du dernier système d'exploitation Microsoft avec sa sécurité renforcée ;
- la signature numérique des applicatifs pour en garantir la légitimité ;
- un accès plus rapide, voire immédiat aux antivirus accrédités.

Baisse des coûts

800xA v6 abaisse les coûts des nouveaux projets, rénovations et mises à niveau, en actionnant deux types de leviers :

- La virtualisation, mais aussi les améliorations de performance et la technologie multicœur qui allègent considérablement le système d'automatisation, diminuant ainsi les dépenses d'investissement et les coûts du cycle de vie ;

- Un nouveau coupleur de bus de terrain Foundation Fieldbus-HSE (Ethernet haut débit) à sécurité intrinsèque, directement implanté dans des zones dangereuses de niveau 2/classe I/division 2, qui réduit encore les coûts d'installation et de développement.

Productivité

Plate-forme collaborative et intégrée, 800xA v6 permet d'engager des initiatives d'économies et de gains de productivité pour une fraction du coût d'un logiciel et d'un matériel tiers supplémentaires. À sa pléthore de fonctionnalités embarquées de gestion d'alarmes, de conduite avancée, de vidéosurveillance et de sécurité, d'intégration électrique et de gestion énergétique, s'ajoutent

- des routeurs maillés sans fil, qui permettent un déploiement sûr et fiable des clients mobiles, des ateliers de maintenance et des commandes du procédé ;

Le système 800xA v6 permet de diminuer les coûts des nouveaux projets, des rénovations et des mises à niveau.

- une nouvelle plate-forme de gestion de l'information qui fiabilise les connexions avec le système 800xA pour collecter, afficher, historiser et restituer en toute sécurité les données, en amont du contrôle-commande ;
- un système de sonorisation pour diffuser dans plusieurs langues les annonces en synthèse vocale du 800xA ;
- des courbes de tendances enrichies de fonctions d'indication d'alarmes, de mise à l'échelle automatique et de lignes de grille réglables ;
- de nouveaux moyens de visualiser les données sur un « tableau de

bord collaboratif » 800xA affichant en 3D les indicateurs clés de performance (KPI) du site ;

- l'amélioration des performances de la gestion batch par l'utilisation d'un nouvel environnement d'exécution de procédures batch parallélisées (*multithreaded*) ;
- de nouvelles offres groupées ABB et CGM (grand fabricant de postes opérateur) pour faciliter la conception et la réalisation de salles de commande à la pointe de l'innovation en matière d'ergonomie et de productivité, équipées du poste de travail multi-écran 800xA.

Lever les barrières

Les mises à niveau 800xA v6 ont bénéficié d'une attention particulière et de nettes améliorations avec un programme de satisfaction client *Sentinel* incluant

- un outil « intelligent » d'installation et de configuration fondé sur les rôles et profils des intervenants, qui réduit les tâches manuelles de plus de 80 % et peut aussi servir aux extensions et mises à jour du système sur l'ensemble du cycle de vie, à partir d'un point central ;
- des outils complémentaires, tels l'« analyseur de valeurs initiales », qui garantissent une mise à niveau en douceur et sans surprise à l'heure d'initialiser le système.

800xA dans la mine

La nouvelle génération de système 800xA d'ABB renforce encore les capacités de cette plate-forme d'automatisation vedette pour mieux l'ajuster au contexte de la mine. Elle permettra aux minières de gagner en productivité, de réduire les coûts opérationnels, d'améliorer la sécurité et de relever les défis du secteur.

Pour aller plus loin : www.abb.com/800xA et www.youtube.com/watch?v=POqw0rLJe78

Anders Boman

ABB Control Technologies

Singapour

anders.boman@sg.abb.com



Communication sans détour

Le sans-fil ABB améliore la gestion de parc minier

ROMAN ARUTYUNOV – Les mines à ciel ouvert sont connues pour être difficiles à explorer et à exploiter. Chaleur, froid, chocs et vibrations : l'homme et la machine y sont soumis à des conditions extrêmes. Pour être sûr et efficace, ce type d'exploitation de haute technologie exige une coordination précise de quelques-uns des plus gros et des plus coûteux engins de chantier au monde. La gestion des

équipements et le suivi des flux de données et de matières sont donc la priorité des opérateurs. Mais cette préoccupation ne doit pas virer au casse-tête ! L'architecture sans fil Tropos, brevetée ABB, augmente la productivité et la rentabilité des exploitations à ciel ouvert en optimisant leur gestion par la collecte et l'analyse des données en temps réel au centre de conduite de la mine.

Une exploitation sûre et efficace exige une coordination précise, dans des conditions extrêmes, de quelques-uns des plus gros et plus coûteux engins de chantier au monde.

L'extraction minière est une activité capitalistique qui met à rude épreuve des équipements lourds évoluant dans des environnements extrêmes. L'enjeu est ici de maximiser le taux d'engagement des investissements en favorisant les opérations créatrices de valeur. Concrètement, le mot d'ordre est d'extraire davantage du sol et de la meilleure qualité qui soit, pour l'acheminer à bon port dans les plus brefs délais.

Les logiciels de gestion de parc permettent aux sociétés minières d'atteindre leurs objectifs d'utilisation de leurs outils de production et de transport en orchestrant les dépendances entre ces différents équipements et en modifiant

Photo p. 37

Gérer le parc d'équipements de même que suivre et analyser en temps réel les flux de données et de matières au centre de conduite sont la priorité absolue des exploitants de mine à ciel ouvert. Les réseaux de communication sans fil Tropos, brevetés ABB, y contribuent.

en conséquence, en temps réel, les tableaux de service des opérateurs. Associées à des systèmes de guidage de précision, ces applications sont la garantie que les pelleteuses extraient le meilleur de la mine et que les gros camions bennes qui transportent le minerai → 1 savent exactement où le charger pour minimiser les temps d'attente entre opérations. Ces systèmes sont également capables de surveiller en temps réel l'état des équipements pour en diminuer le coût global et minimiser les arrêts.

On ne soulignera jamais assez l'importance des réseaux sans fil pour améliorer l'utilisation de ce capital. Pourtant, dans les mines à ciel ouvert, ces réseaux sont soumis à un cahier des charges fonctionnel des plus ambitieux, à commencer par l'obligation de gérer la mobilité des communications sur tout le domaine minier avec une solution à la fois fiable, adaptable, souple, sûre et multi-applicative. Les véhicules et engins miniers (tombereaux, pelles mécaniques, excavateurs, bulldozers, pelles à benne traînante, etc.) se comptant par dizaines ou par centaines, la couverture réseau doit pouvoir suivre en souplesse l'évolution de la mine.

Les cyberattaques provoquent des arrêts qui peuvent parfois coûter plusieurs millions de dollars par heure.

De même, les puits varient de taille et de forme : il faut donc une couverture mobile qui s'ajuste rapidement et à moindre coût au planning des opérations.

Par leur nature temps réel, les applications stratégiques de gestion de parc minier exigent de faibles temps de latence (inférieurs à 50 ms) entre le centre de commande et le véhicule. L'exploitation nécessite également des communications fiables, avec un minimum de pertes, pour transmettre en temps réel les ordres de travail aux équipements parcourant le carreau de la mine. Les débits doivent atteindre plusieurs mégabits par seconde pour ausculter et localiser en continu ces équipements, transmettre aux mineurs leurs tableaux



de service et sécuriser le site par vidéo-surveillance.

La cybersécurité est un autre enjeu majeur. Défis de service, écoutes frauduleuses ou attaques cryptographiques de type « homme du milieu » sont autant de menaces d'interception ou de coupure des transmissions entre la conduite et le terrain, occasionnant des arrêts qui peuvent se chiffrer dans certains cas en millions de dollars à l'heure.

La technologie et l'infrastructure de communication maillée sans fil Tropos d'ABB viennent à la rescousse des sites miniers les plus hostiles de la planète.

Les enjeux de la mine à ciel ouvert

La couverture radio est l'une des grandes problématiques des mines à ciel ouvert. Les solutions sans fil sur pylônes, à l'image des réseaux point-multipoints et cellulaires, sont difficiles à mettre en place et chères à déployer. Les pylônes sont en effet installés à demeure et loin du bord de la fosse, lequel peut masquer les signaux radiofréquence et faire obstacle aux transmissions au fond de la

mine. La parade consiste à multiplier les pylônes sur le pourtour de la fosse. Or toute déviation ou extension de la mine oblige à ajouter des pylônes pour couvrir les nouvelles zones : une pratique qui coûte cher et prend beaucoup de temps.

La technologie maillée sans fil Tropos d'ABB évite ces imposants pylônes, voire les élimine. Des routeurs mobiles, déployés sur des remorques autour de la fosse, se « reconnaissent » automatiquement de proche en proche pour couvrir tout le périmètre minier. Lorsque la cartographie de la mine change du fait de nouveaux chantiers ou d'extensions, les remorques sont tout simplement déplacées vers les nouveaux contours du site → 2. Quelques minutes suffisent pour assurer ainsi la couverture des applications stratégiques, là où il faut des mois avec des pylônes → 3.

Cette gestion d'équipements critiques passe obligatoirement par des réseaux sans fil à haute disponibilité de niveau « cinq 9 » (soit 99,999 %), qui intègrent un mécanisme de redondance pour minimiser la probabilité de défauts de trans-

La réussite d'une gestion de parc minier passe par une solution fiable, évolutive, souple, sûre et multi-applicative.

La mine est un environnement dynamique dans lequel le personnel et les véhicules ont besoin de se déplacer sans entrave d'un point à l'autre du réseau.

2 Routeur Tropos solaire



mission. La solution de routeurs Tropos d'ABB conjugue haute disponibilité et fiabilité grâce à une topologie maillée qui multiplie les itinéraires réseau, les fréquences d'exploitation, les canaux radio et les retransmissions de paquets.

La mine est un environnement dynamique dans lequel le personnel et les véhicules ont besoin de se déplacer sans entrave d'un point d'accès réseau à l'autre. Les retards et les pertes de paquets dus à l'itinérance ne sont pas bien tolérés dans ce milieu difficile. La perte d'ordres de travail peut beaucoup ralentir et, dans certains cas, interrompre l'enchaînement des tâches, occasionnant des retards en chaîne dans toute la mine. Ces incidents surviennent en grande majorité avant le transfert de communication. Pour garantir la continuité de la transmission, des algorithmes de routage radio prédictif tels que le protocole *PWRP (Predictive Wireless Routing Protocol)* identifient les nouveaux trajets réseau sans attendre que les itinéraires en cours se dégradent. En outre, quand les routeurs mobiles Tropos sont embarqués dans des véhicules,

cette connectivité mobile s'appuie sur le mode « connexion avant déconnexion » (*make-before-break*), qui établit une nouvelle liaison avant même de libérer la précédente : la transmission se fraie ainsi un nouveau chemin dans le réseau parallèlement aux parcours existants, toujours opérationnels.

Cybersécurité

La sécurité informatique est un réel souci pour les exploitants de mines à ciel ouvert qui utilisent de plus en plus les réseaux de communication pour surveiller et piloter des centaines d'automatismes miniers et de vastes installations extérieures. Ces réseaux prennent en charge un large éventail d'applications cruciales comme la gestion de parc. Dans un réseau minier type, la communication bidirectionnelle entre équipements de chantier et poste de commande local ou centre de téléconduite s'effectue par des liaisons série ou TCP/IP, qui sont autant de portes d'entrée aux cyberattaques. Déterminer où seront mises en place les défenses dans un réseau de terrain est tout aussi important que de savoir ce qui est sécurisé et comment.



Les routeurs mobiles Tropos, déployés sur des remorques autour de la fosse, se « reconnaissent » automatiquement pour couvrir tout le périmètre minier.

Pour une protection maximale, la sécurité doit être implantée en bordure comme au plus près du centre du réseau.

On peut protéger la mine en amenant la sécurité informatique au pied des équipements de terrain et en la déployant sur tout le territoire minier, jusqu'en périphérie. La solution mise en œuvre est un modèle multi-application qui assure une défense en profondeur par l'empilement et le chevauchement de plusieurs couches de sécurité normalisées pour minimiser

La mine est protégée par un modèle multi-application qui assure une défense en profondeur par l'empilement et le chevauchement de plusieurs couches de sécurité normalisées pour minimiser l'impact d'une faille.

l'impact d'une brèche dans un mécanisme de protection et la probabilité de faille.

En voici les principales exigences fonctionnelles et les mécanismes correspondants :

- Gestion des modalités d'accès réseau par normes 802.1x, listes de contrôle d'adresses MAC (*Media Access Control*) et surcouche protocolaire de sécurité 802.11i/WPA2 avec authentification centralisée sur serveur RADIUS (*Remote Authentication Dial-In User Service*) pour vérifier les autorisations d'accès des personnes et équipements, avant l'envoi de données sur le réseau ;
- Protection des ressources et extrémités du réseau à l'aide de pare-feux qui filtrent les données indésirables et malveillantes ;
- Transmissions de bout en bout sécurisées par chiffrement AES (*Advanced Encryption Standard*) sur réseaux privés virtuels pour bloquer les écoutes frauduleuses et attaques cryptographiques intermédiaires ;
- Segmentation et hiérarchisation du trafic pour exécuter plusieurs applications sur une infrastructure commune tout en donnant la priorité aux applications critiques et en se protégeant des attaques par déni de service ;
- Sécurisation de la configuration réseau pour une gestion et une mise

en œuvre souples de la politique de sécurité.

L'architecture distribuée des routeurs Tropos permet d'implanter ces fonctionnalités dans chaque équipement réseau. Les mécanismes de sécurité intégrés se déploient dans toute la mine et dans chaque véhicule et dispositif de terrain parallèlement aux routeurs Tropos, dotant le réseau de protections actives contre les cyberattaques.

L'ère de l'autonomie

Non contents de relever les défis opérationnels des mines à ciel ouvert, les réseaux maillés sans fil Tropos apportent durablement de la valeur stratégique aux clients ABB. Les applications de gestion de parc préfigurent une exploitation minière autonome où des véhicules sans conducteur seront programmés et pilotés à partir du centre de conduite. Fiable et évolutive, l'architecte maillée multi-applicative Tropos permet aux minières de passer de la simple gestion d'équipements à des opérations totalement autonomes, sans lourd investissement.

Roman Arutyunov

ABB Power Systems,
Wireless Communication Networks
Sunnyvale (Californie, États-Unis)
roman.arutyunov@nam.abb.com

Des mines à la hauteur

Technologie ABB pour l'extraction minière

TIM GARTNER – Plus grand que les États-Unis mais dix fois moins peuplé, le Canada possède d'immenses étendues riches de ressources naturelles que les industriels ont appris à mettre en valeur sans dégrader le paysage. Le secteur minier, par exemple, déploie beaucoup d'efforts pour exploiter ces ressources avec un maximum d'efficacité énergétique et un minimum d'impact environnemental. Ainsi, l'extraction des produits de la mine est un des domaines dans lesquels l'innovation technologique est au service de la Nature. Depuis longtemps, ABB fournit des machines d'extraction performantes non seulement pour les nouveaux projets miniers, mais aussi pour la modernisation d'anciens puits, notamment des mines de potasse.

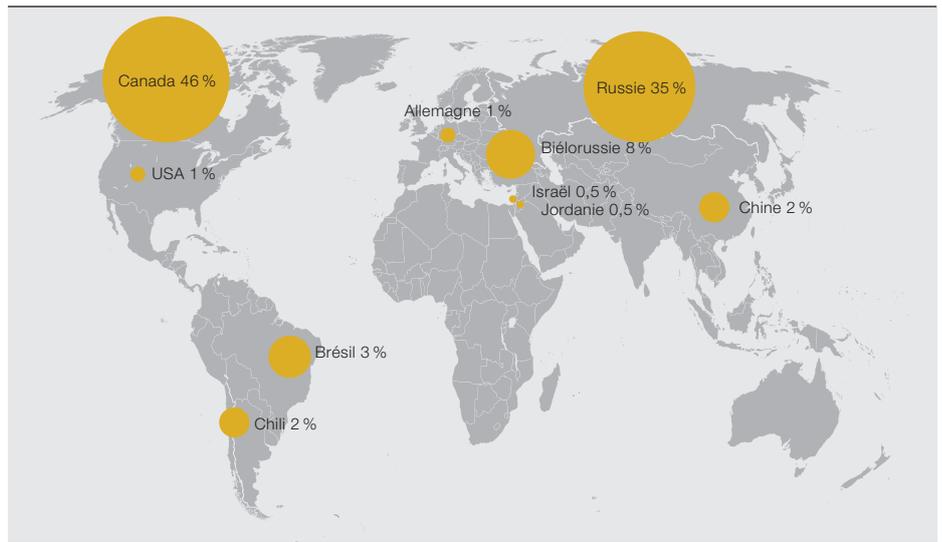
Photo

Efficacité énergétique, développement durable et rentabilité sont des critères de choix importants de l'extraction minière. Dans ce domaine, les efforts de développement d'ABB se traduisent par une offre complète, y compris des machines à poulie d'adhérence de haute technologie.





1 Réserves mondiales de potasse selon le *United States Geological Survey* (1 % restant réparti dans d'autres pays)



Alors que la population mondiale franchit la barre des sept milliards d'individus dont une part croissante prospère, les besoins alimentaires augmentent inexorablement. Depuis longtemps, la production agricole aurait été incapable de satisfaire à ces besoins sans l'apport d'engrais, véritable « potion magique ». Les trois principaux fertilisants utilisés sont l'azote, le phosphate et le potassium. Les gisements de potasse sont des résidus de l'évaporation d'océans disparus. Le minerai doit être remonté à la surface au moyen d'équipements efficaces, sûrs et écologiques. Les machines d'extraction minière les plus modernes répondent à ces exigences.

La potasse n'est produite que dans 12 pays, le Canada, la Russie et la Biélorussie concentrant à eux seuls plus des deux tiers de la production mondiale et, selon l'Institut d'études géologiques des États-Unis, près de 90 % des réserves estimées → 1. Pratiquement la moitié de ses réserves se situe dans la province canadienne du Saskatchewan qui représente 35 % de la production mondiale.

Machines d'extraction minière

On distingue principalement deux types de machine : à tambour et à poulie d'adhérence. Les récents projets ABB pour

Si les machines à quatre et six câbles sont les plus répandues, ABB a conçu des machines à poulie d'adhérence comptant jusqu'à dix câbles.

des mines de potasse canadiennes concernaient des machines à poulies d'adhérence.

Une machine d'extraction sert à descendre et à remonter, par le puits de mine, une charge fixée à un câble en acier : skip (transport du minerai), cage (transport du personnel et du matériel) ou contrepoids, sur certains types de machine. Une extrémité du câble est directement fixée à la charge. Dans le cas d'une machine à poulie d'adhérence, l'autre extrémité est fixée à une charge suspendue côté opposé de la machine ; sur une machine à tambour, elle est directement fixée au tambour qui tourne pour remonter ou descendre le câble d'acier et, donc, la charge → 2.

Contrairement à une machine à tambour, le câble d'acier ne s'enroule pas directement autour du tambour mais est entraîné par adhérence lors de la rotation de la poulie. Son principe est similaire à celui

de la poulie entraînée d'une machinerie d'ascenseur. La puissance et le couple moteur sont transmis au câble d'acier par adhérence entre le câble et la poulie. Le câble ne s'enroulant pas autour d'un tambour, une machine à poulie d'adhérence peut utiliser plusieurs câbles pour déplacer la charge utile. Si les machines à quatre et six câbles sont les plus répandues, ABB a conçu des machines à poulie d'adhérence comptant jusqu'à dix câbles → 3. Les machines à tambour disposent normalement d'un seul câble par tambour, parfois deux dans le cas de puits de grande profondeur ou d'installations spéciales.

ABB conçoit et fournit des machines à poulie d'adhérence, des machines à tambour, des molettes et poulies, des skips et autres équipements pour systèmes d'extraction minière.

Les machines à poulie d'adhérence constituent la solution idéale pour l'industrie canadienne de la potasse du fait de leur rendement énergétique et leur capacité d'extraction élevés.

Remplacement d'anciennes machines

Souvent, les sociétés améliorent les capacités de leurs puits d'extraction, surtout si les tonnages augmentent. Parfois, la machine d'extraction d'origine est remplacée. Pour limiter les arrêts de production, le chantier doit être aussi rapide que possible. Dans certains cas, la tâche est complexe car d'importantes modifications structurelles doivent être apportées au chevalement existant qui

Chevalement (tour)

Machine à poulie d'adhérence

Molettes

Câbles d'extraction

Skips

La charge utile des machines à poulie d'adhérence modernes peut atteindre 65 000 kg, soit l'équivalent de 13 éléphants d'Afrique adultes.

La puissance des moteurs des grosses machines à poulie d'adhérence peut dépasser 10 000 kW, soit l'équivalent de la puissance fournie par 44 grosses berlines.

Les machines à poulie d'adhérence peuvent remonter des charges de puits allant jusqu'à 2 000 m de profondeur, soit la hauteur de 6 tours Eiffel.

Les grosses machines à poulie d'adhérence actuelles comptent jusqu'à 6 câbles d'acier de 56 mm de diamètre, composés chacun de plusieurs centaines de brins. Leur longueur totale dépasse 5 300 km, soit pratiquement la distance entre New York et Londres.

Les machines à poulie d'adhérence utilisent des câbles-queue pour équilibrer le poids des câbles. Ainsi, seul le poids de la charge utile nécessite une puissance motrice.

doit accueillir les nouvelles machines de plus grande capacité.

Deux projets de modernisation

Dans une mine du Saskatchewan, par exemple, un puits était équipé de deux machines d'extraction. ABB fut mandaté pour les moderniser sans toucher au chevalement ni à ses fondations. En d'autres termes, les composants électriques et mécaniques de ces nouvelles machines devaient s'intégrer parfaitement à la structure existante. La nouvelle

ABB conçoit et fournit des machines à poulie d'adhérence, des machines à tambour, des molettes et des skips.

machine ne pouvant être installée qu'après dépose de l'ancienne, ABB et le client durent étroitement coordonner leur planning.

Le projet se déroula sur deux étés consécutifs pendant l'arrêt de la mine. Le premier été, l'une des anciennes machines fut remplacée par une machine à poulie

d'adhérence neuve, un moteur synchrone à courant alternatif (CA) et un variateur de vitesse, ainsi qu'un nouveau système de commande et poste de machiniste. Parallèlement, ABB commençait à moderniser l'autre machine d'extraction notamment en remplaçant le redresseur à thyristors à courant continu (CC) d'un autre constructeur et en installant un nouveau système de commande et poste de machiniste. Les composants mécaniques de cette seconde machine furent remplacés durant la trêve estivale suivante ; plus tard, le système d'entraînement à moteur CC et redresseur à thyristors fut remplacé par un nouveau système composé d'un moteur synchrone CA et d'un variateur de vitesse.

Au sommet du chevalement

Autre cas exemplaire : à la demande d'un client, ABB devait reproduire un projet précédemment réalisé sur une mine différente où une machine d'extraction entièrement nouvelle avait été conçue et construite au sommet du chevalement existant. Malgré d'importants travaux de construction, ce projet présentait différents avantages, notamment :

- Pas de limitation d'encombrement et de capacité imposée par les fondations existantes, laissant toute liberté au client dans le choix de la machine la mieux adaptée au puits ;

Les machines à poulie d'adhérence sont la solution idéale pour l'industrie canadienne de la potasse du fait de leur rendement énergétique et de leur capacité d'extraction élevés.

Les composants électriques et mécaniques des nouvelles machines devaient s'intégrer parfaitement à la structure existante. La nouvelle machine ne pouvant être installée qu'après dépose de l'ancienne, ABB et le client durent faire coïncider leur planning.

- Pas d'interruption de la mine lors de la construction du bâtiment et de l'installation de la machine d'extraction. Celle-ci a pu être installée sans câble, en temps masqué, le basculement de l'ancienne machine vers la nouvelle se faisant très rapidement.

Le choix se porta sur une machine à poulie d'adhérence (5,95 m) à quatre câbles, équipée de deux moteurs synchrones CA et d'un variateur ACS6000 ABB. Un nouveau système de commande et poste de machiniste fut installé et mis en service en même temps.

Au sol

La construction d'une nouvelle machine d'extraction au sommet du chevalement n'est pas systématique dans le cas d'un projet de modernisation : celle-ci peut également être installée au sol. Récemment, ABB a construit une nouvelle machine au sol à proximité du chevalement et du puits de mine existants. Deux systèmes de renvoi (quatre molettes chacun) furent installés au sommet du chevalement. Les câbles entre la machine au sol et les molettes au sommet sont totalement protégés. Dans le même temps, un nouveau système de commande et poste de machiniste était installé et mis en service.

3 Caractéristiques comparées des machines à poulie d'adhérence et à tambour

	Poulie d'adhérence	Tambour
Nombre de câbles	4 ou 6	1, parfois 2
Adéquation aux mines multiniveaux	Bonne, avec contrepoids	Très bonne
Profondeur d'extraction maxi	2000 m (limitée par la résistance à la fatigue des câbles)	3000 m, avec deux câbles
Puissance moteur	Inférieure à celle d'une machine à tambour de même capacité	Supérieure à celle d'une machine à poulie d'adhérence de même capacité
Charge utile (mine de potasse)	45 t	30 t
Coût relatif	Inférieur à celui d'une machine à tambour de même capacité	Supérieur à celui d'une machine à poulie d'adhérence de même capacité
Installation de la machine d'extraction	Au sol ou au sommet du chevalement	Presque toujours au sol
Chevalement	Plus lourd qu'avec une machine à tambour	Plus léger qu'avec une machine à poulie d'adhérence équivalente

Là encore, l'ancien système est resté opérationnel pendant la construction et l'installation des nouveaux équipements d'extraction.

Nouveaux projets miniers

Construire un système d'extraction *ex nihilo* est bien plus simple car il ne doit être raccordé à aucune infrastructure d'exploitation ou de service existante. Dans un projet récent, des chevalements en béton à coffrage glissant furent construits au-dessus de puits nouvellement foncés. ABB installa et mit en service par la suite les nouveaux systèmes complets d'extraction de la mine, y compris les éléments mécaniques, les moteurs synchrones CA et les variateurs ACS6000 de même que les systèmes de commande et postes de machiniste.

Les machines d'extraction à quatre câbles (5 m de diamètre) sont entraînées chacune par un seul moteur synchrone CA de 7 MW et un variateur ACS6000. La machine du puits de service, installée fin 2013, est désormais opérationnelle. La machine d'extraction sera mise en exploitation en 2015.

ABB, fournisseur de machines d'extraction minière

ABB travaille étroitement avec des producteurs de potasse pour sélectionner, configurer et installer le plus rapidement et économiquement possible des machines pour puits d'extraction et de service en remplacement d'anciens équipements. Ces solutions modernes et écoproductives permettent au client

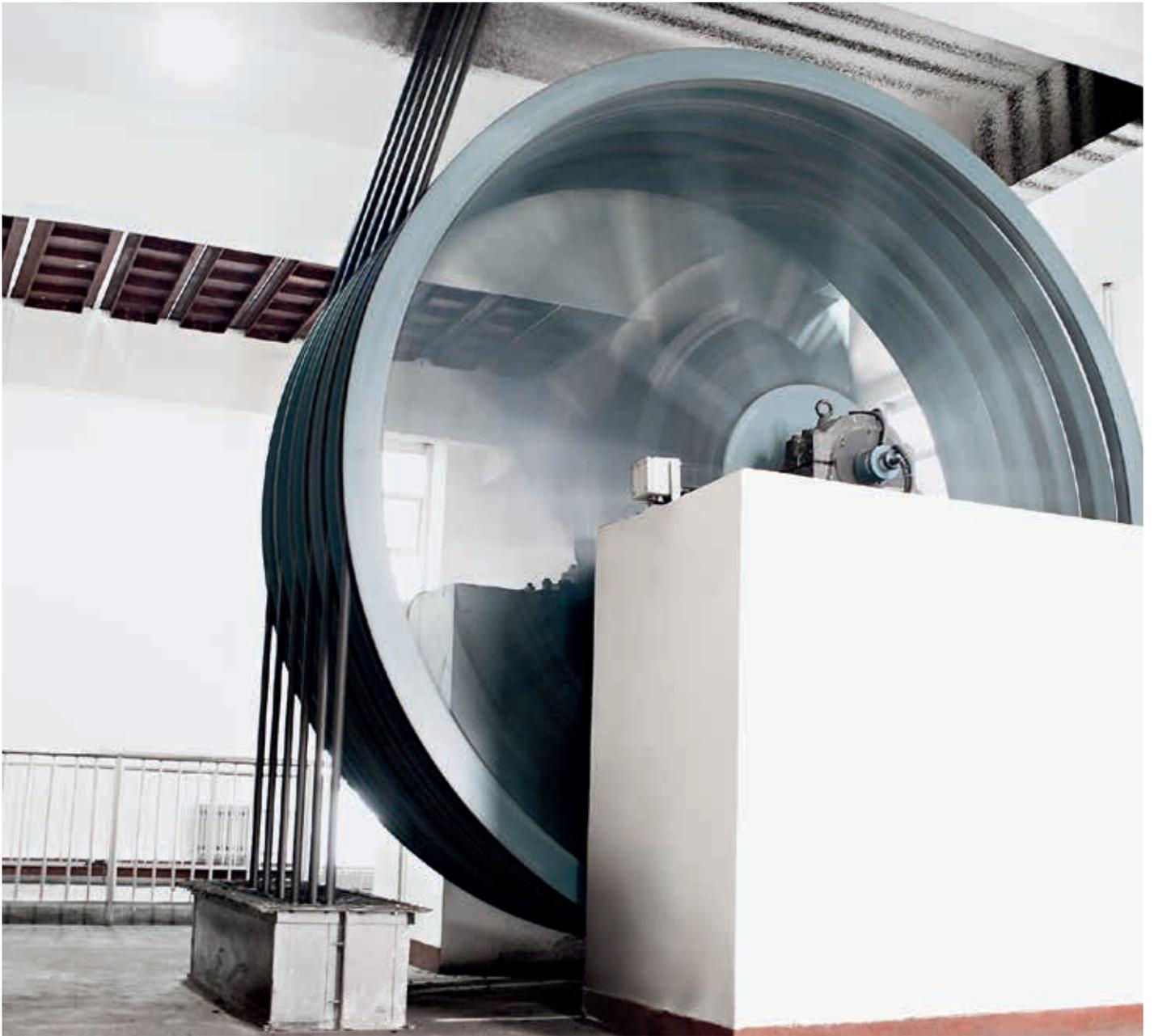
- d'améliorer significativement les capacités d'extraction de minerai de potasse ;

- de rationaliser son stock de pièces de rechange avec des composants communs à plusieurs machines (variateurs, moteurs, transformateurs, roulements, etc.) ;
- de simplifier l'exploitation de la mine, notamment avec des pratiques de maintenance communes aux machines fonctionnant de manière identique.

Les machines d'extraction ABB sont bien évidemment utilisées sur de nombreux sites autres que les mines de potasse (charbon, minerais divers, etc.). ABB continuera de faire progresser sa technologie d'extraction minière au cours des prochaines années et de collaborer avec les clients pour améliorer leurs performances opérationnelles et environnementales.

Tim Gartner

ABB Underground Mining and Mill Drive Systems
Dollard-Des-Ormeaux (Canada)
tim.gartner@ca.abb.com



Maintenance à 360°

Des solutions de pointe pour la mine et la minéralurgie

EDUARDO LIMA, JESSICA ZÖHNER, ALIREZA OLADZADEH – Comme bien d’autres secteurs industriels, l’exploitation minière doit continuellement améliorer sa rentabilité pour évoluer au rythme des fluctuations du marché et de la production. L’une des pistes pour y parvenir est de baisser les coûts et d’augmenter la productivité en améliorant durablement la performance des équipements de production, à la faveur d’une maintenance et d’un service de

premier ordre. C’est depuis longtemps la stratégie privilégiée par ABB, avec une gamme de prestations élargie allant des contrats de maintenance préventive et prédictive longue durée aux interventions « express », comme la fourniture de pièces détachées en urgence. Ce vaste portefeuille met en œuvre le dernier cri des techniques de maintenance, dont beaucoup sont estampillées ABB.

ABB est convaincu qu'une stratégie de service et de maintenance à la hauteur des enjeux de la mine est capitale pour la rentabilité à long terme de l'exploitation.

1 La maintenance des convoyeurs à bande coûte cher. C'est pourquoi ABB travaille actuellement sur une solution de télésurveillance.



Maximiser la productivité d'une exploitation minière, c'est mieux utiliser les actifs de production à l'aide d'automatismes, d'outils de téléconduite, de diagnostic et de visibilité de la production, ainsi que de technologies fournissant des informations continues, en temps réel, sur l'état du parc d'équipements. ABB en est depuis longtemps convaincu : une stratégie de service et de maintenance à la hauteur de l'enjeu est capitale pour la rentabilité à long terme de toute entreprise minière.

Inventaire

L'expertise d'ABB en matière de service et de maintenance est le fruit de nombreuses années de fourniture de produits et systèmes dédiés à la mine :

- Machines d'extraction qui descendent et remontent minerais, personnel et matériel, de manière fiable, rapide et sûre ;
- Solutions de fragmentation de minerais à vitesse variable, comme les entraînements sans réducteur des énormes

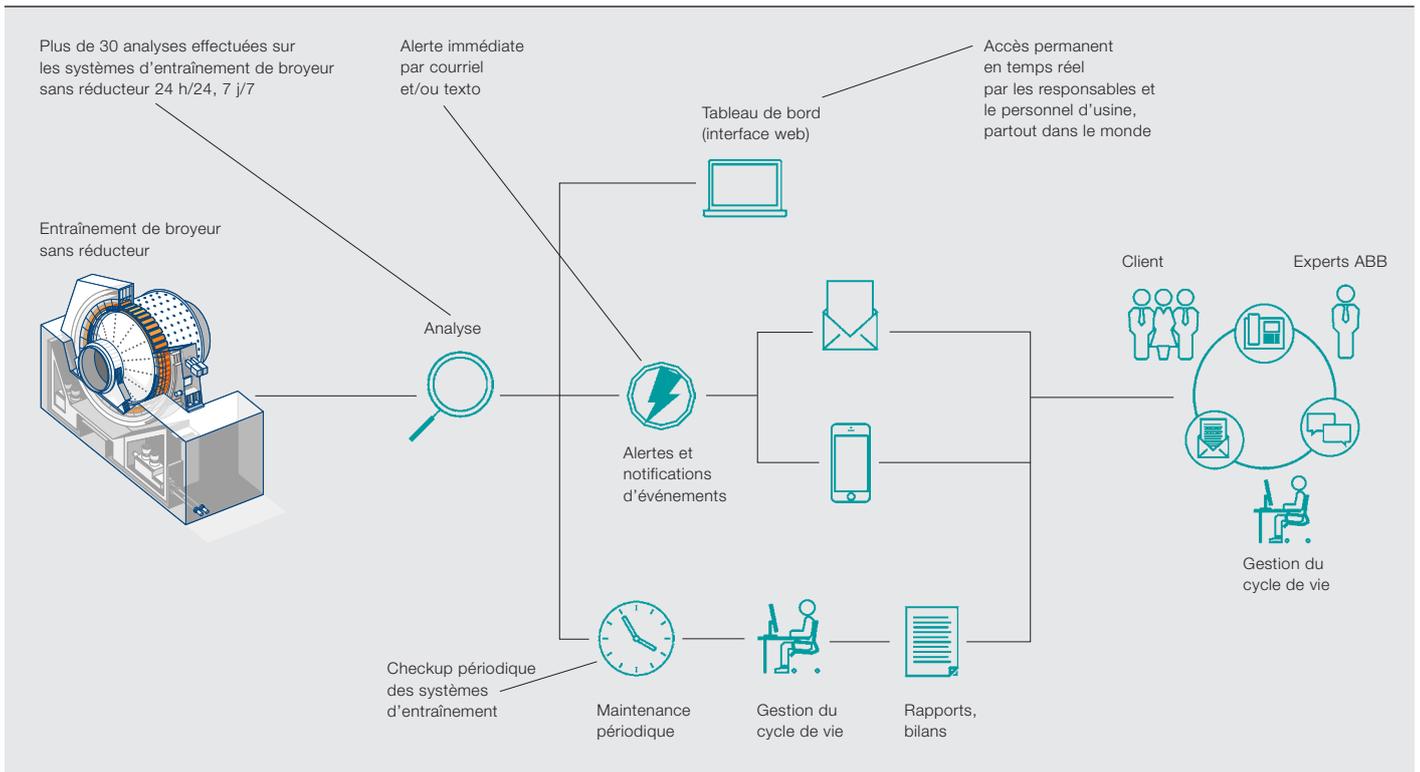
broyeurs, qui garantissent les plus hauts niveaux de disponibilité et d'efficacité énergétique ;

- Entraînements à vitesse variable permettant un fonctionnement plus économique et écoénergétique des convoyeurs, pelles mécaniques et autres engins d'excavation ;
- Solutions complètes intégrant systèmes électriques, contrôle-commande et instrumentation pour alimenter, automatiser et piloter tout un site ;
- Logiciels associés faisant le lien entre gestion, automatisation et production pour créer un environnement de travail collaboratif sur toute la chaîne de valeur qui va de la mine au marché.

ABB possède un immense parc d'équipements miniers dans le monde entier : plus de 600 machines d'extraction, 125 systèmes d'entraînement de broyeur sans réducteur, plus de 300 convoyeurs à bande → 1 et plus de 80 installations complètes (électrification, automatisation et instrumentation). Pour aider ses clients à maintenir ces équipements en parfait état de marche, ABB propose un riche portefeuille de services sur le long terme (contrats de maintenance préventive et prédictive) comme à très brève échéance (fourniture de pièces en urgence). L'offre

Photo p. 47

Maintenir au meilleur niveau l'équipement minier moderne, comme cette poulie à gorges d'une machine d'extraction, requiert des stratégies de service pointues.



s'appuie sur les techniques de maintenance les plus modernes, dont beaucoup sont d'origine ABB. Citons notamment la télésurveillance et le télédagnostic, les « empreintes » (*fingerprints*) du site et de l'équipement qui pointent les actifs contre-performants, et les ser-

et processus miniers mais aussi éclairer la prise de décisions sur des actifs spécifiques et la production. Objectifs : améliorer la disponibilité, l'efficacité du processus et la qualité des produits tout en réduisant les risques et les coûts énergétiques.

ServicePort est une solution tout en un : ses « canaux » travaillent à l'unisson et permettent à ABB de configurer des stratégies de services en phase avec les besoins du client.

ABB a par ailleurs développé des services de télédagnostic *RDS (Remote Diagnostics Services)* dédiés à la mine et à la minéralurgie pour entretenir, évaluer et analyser les entraînements de broyeurs (sans réducteur, à couronne, cylindres haute pression).

L'offre comporte trois volets.

Téléassistance

Les experts *ABB SupportLine* assurent depuis longtemps le diagnostic et le dépannage à distance, 24 heures sur 24, de la plupart des solutions d'automatisation et d'énergie ABB pour l'industrie minière : systèmes de broyage, machines d'extraction, automatismes, entraînements à vitesse variable, etc.

ABB SupportLine est sans doute le support technique le plus complet et le plus évolué du secteur minier. Ses ingénieurs ont l'expertise et les moyens de traiter sur-le-champ les demandes clients.

ABB SupportLine est sans doute le support technique le plus complet et le plus évolué du secteur minier.

vices d'optimisation qui minimisent le coût des équipements miniers sur l'ensemble du cycle de vie. Voyons de plus près certaines composantes de cette offre technologique ABB pour mieux appréhender leur contribution à la rentabilité de l'exploitation minière.

Le meilleur du service client

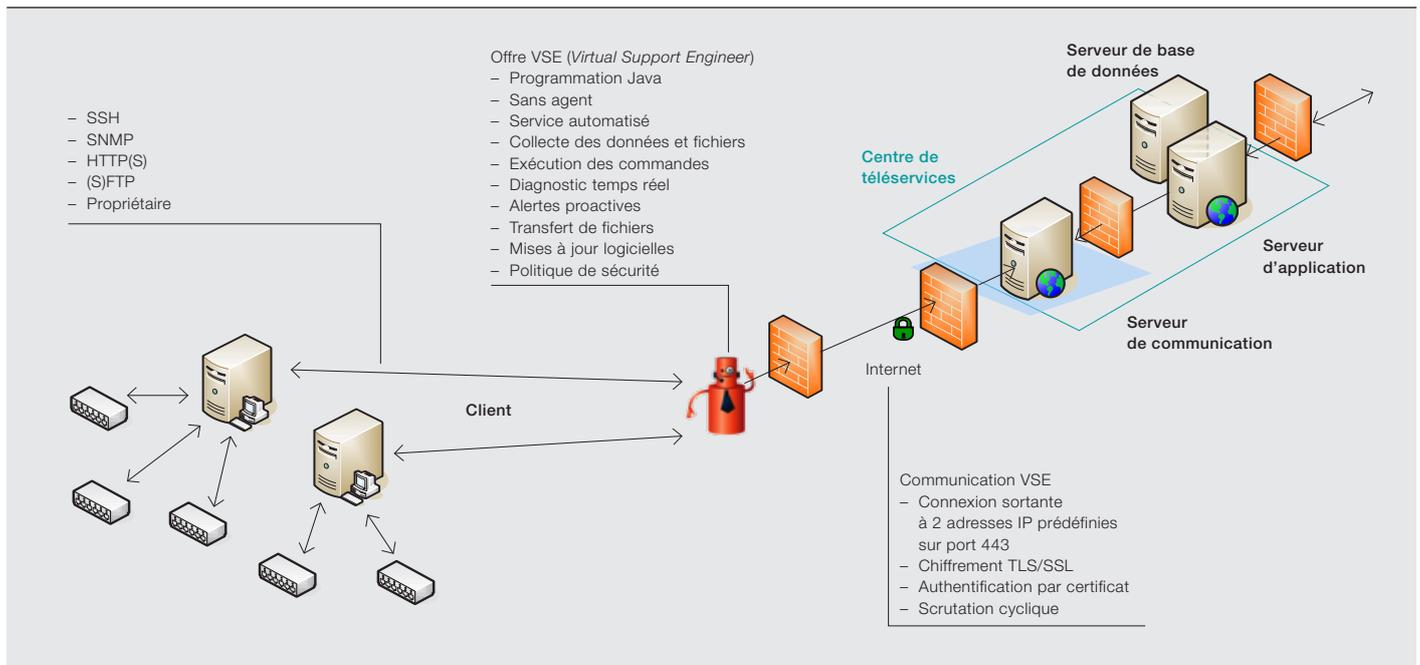
ABB a développé une plate-forme de téléservices sécurisée, *ServicePort™*, qui permet aux clients et experts ABB de collecter, de visualiser, d'analyser et de suivre automatiquement les indicateurs clés de performance (KPI) pour maximiser les rendements des équipements

ou de processus particuliers pour en déduire les KPI. Ces services se déclinent en trois catégories orientées

- *équipement* : surveillance de l'utilisation et de l'efficacité de la fourniture ABB (systèmes de contrôle-commande, entraînements, etc.) ;
- *process* : diagnostic et amélioration des processus de production ou de gestion (performances des boucles de régulation, cybersécurité, etc.) ;
- *métier* : diagnostic et amélioration des équipements ou procédés spécifiques à la filière (machines d'extraction, par exemple).

ServicePort peut héberger de multiples applications de service ou « canaux de performance » qui recueillent et analysent automatiquement les données d'équipements

3 L'architecture de télédiagnostic RDS garantit au système client une sécurité maximale.



Le télédiagnostic permet aux experts ABB d'accéder aux équipements miniers du Groupe par une connexion distante sécurisée.

Le télédiagnostic est un plus ; il permet aux experts ABB d'accéder aux équipements du Groupe (systèmes de broyage ou d'extraction, par exemple) par une connexion distante sécurisée et d'établir un diagnostic de la situation. De quoi accélérer le support client, supprimer les déplacements et aider des spécialistes de différents horizons à travailler de concert sur une même problématique.

Rapport de maintenance périodique

Des *checkups* dressent à échéances fixes un « bilan de santé » des systèmes d'entraînement.

Suivi d'état

Clients et experts ABB disposent en temps réel d'un tableau de bord affichant toutes les données opératives du système d'entraînement sous surveillance → 2.

Le télédiagnostic RDS comporte également un outil qui analyse automatiquement en continu le fonctionnement global du système. Plus de 30 analyses sont ainsi effectuées *non stop* pour optimiser la performance de l'équipement et alléger la maintenance, systématique ou non. Analyses de tendance et prévisions sont produites 24 heures sur 24 avec des méthodes prédictives pointues.

RDS est bâti sur une plate-forme d'accès à distance *RAP (Remote Access Platform)* qui établit une liaison sécurisée avec le site minier. Elle se compose d'un

centre de téléservices, d'une application logicielle de support virtuel *VSE (Virtual Support Engineer)* implantée sur le site client dont elle surveille les dispositifs et systèmes, et des équipements de terrain internes au réseau client. Clé de voûte de l'architecture, le centre de téléservices est un serveur d'application web qui fait office d'entrepôt de données, de centre de commande et de plaque tournante des échanges → 3.

Tous les utilisateurs de la plate-forme RAP sont régis par des autorisations strictes. Les données sont chiffrées, les scénarios d'intervention consignés et les sessions d'accès à distance visées par le client.

Gestion optimisée des actifs

Selon le cabinet d'études ARC Advisory, la maintenance réactive est cinq fois plus coûteuse que la maintenance préventive et dix fois plus que la gestion prédictive des actifs industriels ! Déclenchée par l'état d'un équipement plutôt qu'à date fixe ou au terme d'un certain nombre de cycles de marche, la maintenance prédictive est nettement plus efficace et économique [1].

ARC Advisory distingue deux types de gestion d'actifs industriels, pour les équipements de production et pour les automatisés. Ces systèmes englobent le matériel, le logiciel et les services qui surveillent l'état des équipements pour



identifier les dysfonctionnements potentiels avant qu'ils ne dégénèrent.

ABB regroupe ces deux types d'actifs dans une solution unique, développée spécialement pour l'industrie minière. Celle-ci assure en temps réel la surveil-

du logiciel, des données constructeurs, des paramétrages, des standards et normes techniques. Elle s'appuie sur des outils méthodologiques de type arbre de défaillances (AdD) et sur une représentation hiérarchique de l'équipement. L'AdD est une construction graphique qui

retrace l'enchaînement des différents sous-événements conduisant à un événement redouté bien identifié (anomalie du système), au sommet de l'arbre. Partant de cet événement « de tête »,

la structure arborescente se divise en plusieurs branches et nœuds liés par des portes logiques.

Une analyse de criticité (classification méthodique des équipements en fonction de leur caractère stratégique) peut encore affiner ce formalisme en cernant l'équipement incriminé.

L'offre abondante de dispositifs et systèmes d'énergie et d'automatisation ABB permet de gérer et d'optimiser toute la panoplie d'actifs miniers: instrumentation, matériel électrique, surveillance des boucles de régulation, contrôle de l'appareil productif, intégration des systèmes de gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO), surveillance

mécanique et vibratoire, suivi d'actifs sur mesure.

État des lieux

Un « diagnostic d'empreintes » ABB peut rapidement évaluer les performances de l'équipement, l'efficacité de la maintenance, l'optimisation du contrôle-commande et le taux de rendement synthétique de toute l'installation. Il ne nécessite généralement que deux jours d'intervention sur site, soit nettement moins que les audits traditionnels qui peuvent durer des semaines ou des mois.

On obtient ainsi un véritable bilan de performance des automatismes et matériels électriques, et du pilotage de la production. Cette analyse hors site préconise des pistes d'amélioration et en calcule l'impact sur l'entreprise.

À défaut d'estimation globale, on peut aussi réaliser un diagnostic approfondi sur un équipement donné, comme par exemple l'étude électrique et mécanique des machines d'extraction.

La différence

ABB possède une longue et solide expertise de l'alimentation électrique et de l'automatisation des complexes miniers et minéralurgiques → 4. Ses contrats de service accompagnent les clients dans leur quête de productivité par une utilisation efficace de l'outil industriel. ABB n'a de cesse de développer de nouveaux produits et technologies de service pour accroître la performance des équipements et la rentabilité de la mine. En regroupant ces offres dans un contrat global, pérenne et centré sur les besoins du client, ABB est l'allié stratégique des projets miniers.

Eduardo Lima

ABB Process Automation, Mining Service
São Paulo (Brésil)
eduardo.lima@br.abb.com

Jessica Zöhner

Alireza Oladzadeh
ABB Process Automation, Mining Service
Baden-Dättwil (Suisse)
jessica.zoehner@ch.abb.com
alireza.oladzadeh@ch.abb.com

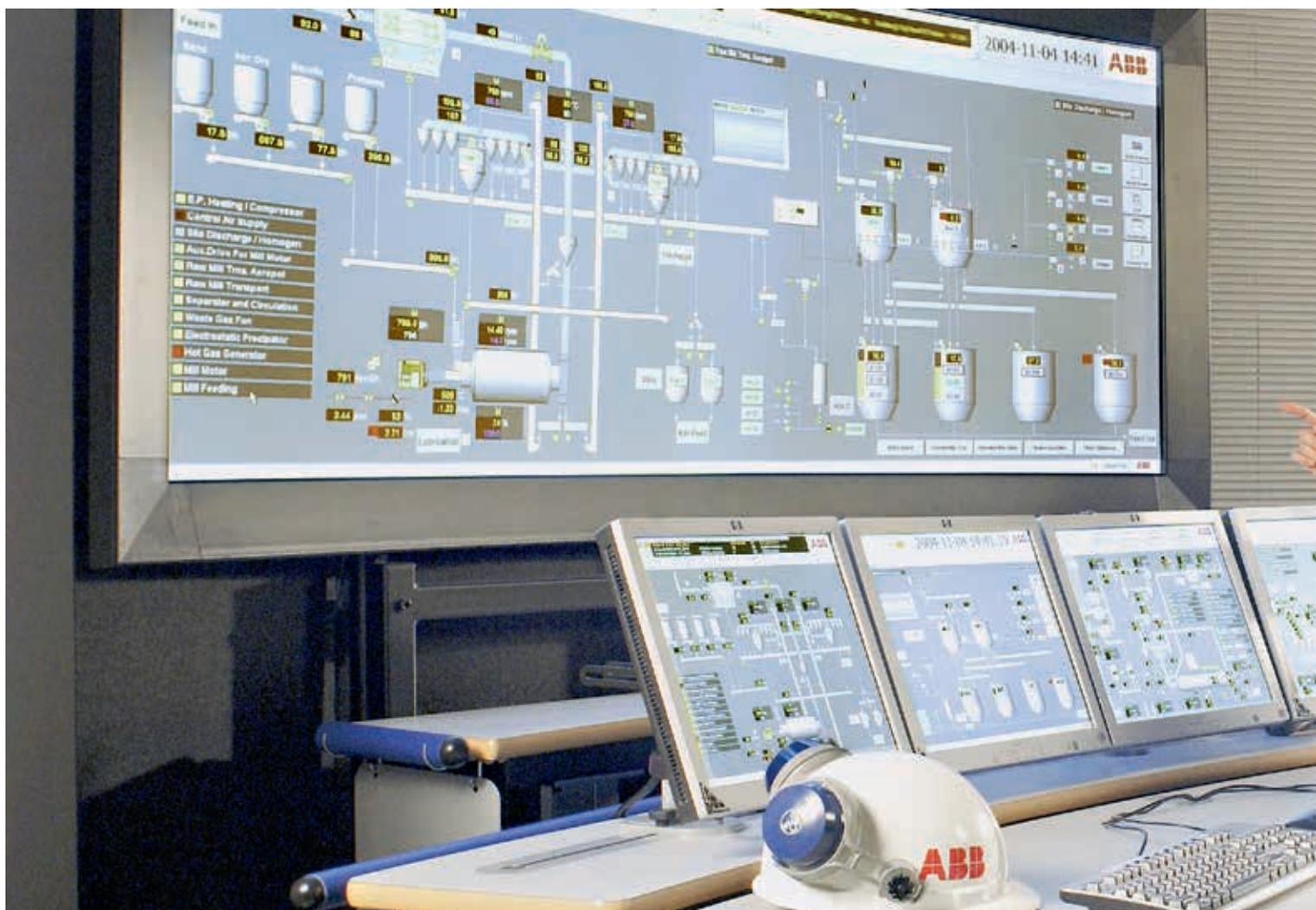
Bibliographie

[1] *Plant Asset Management Systems – Worldwide Outlook, Market Analysis and Forecast through 2016*, ARC Advisory Group, décembre 2012.

La maintenance réactive est cinq fois plus coûteuse que la maintenance préventive et dix fois plus que la gestion prédictive des actifs.

lance, la notification d'événements et la maintenance optimisée des automatismes et équipements du site mais aussi des appareils de terrain, des ressources informatiques et du procédé. Elle rassemble dans une seule interface contextuelle, pour chaque catégorie d'utilisateurs concernés (machinistes, agents de maintenance, ingénieurs et gestionnaires), toutes les informations des différents systèmes d'automatisation et de surveillance en vue d'établir le bilan de santé et de performance de chaque actif.

L'application ABB de suivi d'actifs analyse ces données en temps réel suivant une logique de surveillance propre à chaque catégorie d'équipements, qui tient compte des variables process ou



Optimisation 800xA

Progrès et déploiement : au-delà de l'écran

EDUARDO GALLESTEY, MICHAEL LUNDH, TOM ALLOWAY, RICCARDO MARTINI, MICHAEL STALDER, RAMESH SATINI – La commande prédictive par modèle MPC (*Model Predictive Control*) repose sur une modélisation dynamique du procédé à base d'équations mathématiques représentatives du comportement physique du système à piloter. Apparue dans les années 1970 [1,2], elle n'a pas sa pareille pour résoudre des problèmes de régulation complexes mêlant contraintes et retards, sollicitations externes, variables multiples et boucles interactives. C'est aujourd'hui un classique de la régulation industrielle [3].



Il n'y a pas de commande prédictive par modèle sans objectif d'optimisation.

La commande MPC offre de nombreux avantages. Elle autorise notamment une moindre variation des variables *process* qui permet de choisir des valeurs de consigne plus proches des limites de performance et, partant, d'augmenter les rendements productifs et les profits. Cette approche algorithmique apporte une réponse structurée à des problèmes de régulation complexes, quand d'autres stratégies de commande cumulent action anticipatrice, rétroaction et PID (Proportionnelle, Intégrale et Dérivée), et éventuellement des fonctions prioritaires.

La commande MPC va plus loin en offrant

- une meilleure connaissance du procédé (estimation des variables masquées);

Photo

En automatisant une multitude de fonctions de conduite, la commande prédictive par modèle libère l'opérateur pour se concentrer sur des tâches plus importantes.

- une automatisation plus poussée qui libère les opérateurs pour se concentrer sur des tâches prépondérantes;
- des perspectives d'optimisation, notamment de la consommation énergétique.

L'optimisation est en effet indissociable de la commande prédictive → 2, par exemple dans les mélangeurs, les broyeurs, les fours de cimenterie, les chaudières et les colonnes de distillation.

En limitant la variation des paramètres *process*, la MPC augmente les rendements productifs et les profits.

Définition et principe

Du point de vue de l'utilisateur, la commande MPC a quatre grandes composantes :

- un modèle explicite de l'unité industrielle;
- une fonction objectif;

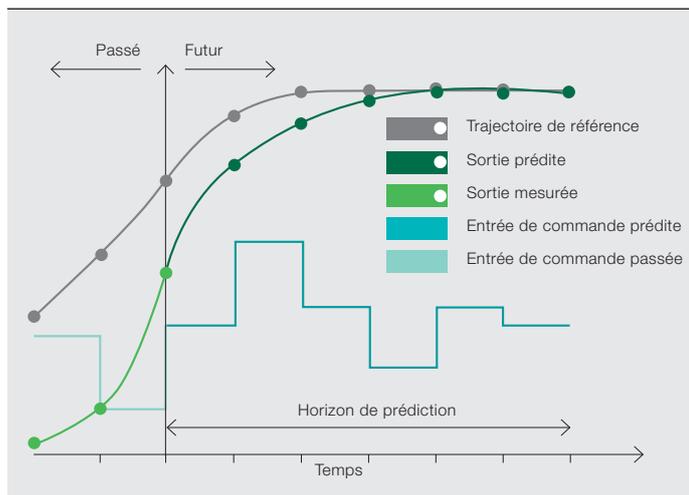
- un estimateur d'état;
- un algorithme de résolution des problèmes d'optimisation sous contraintes.

À chaque période d'échantillonnage choisie en fonction de l'échelle de temps du procédé piloté, la commande prédictive exécute, à intervalles équidistants, les actions cycliques suivantes :

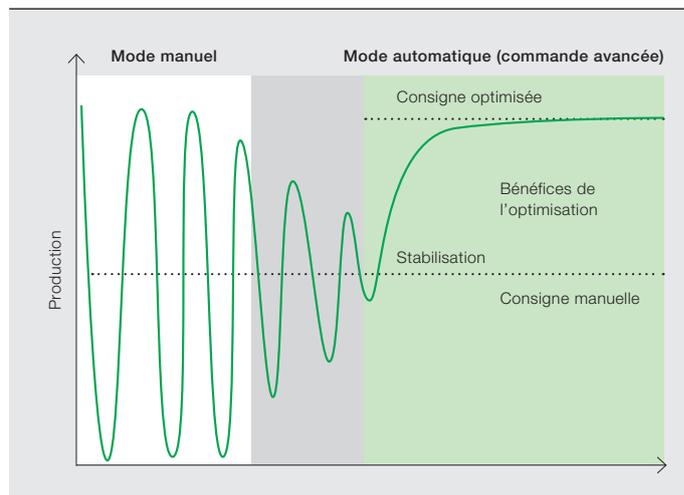
- Évaluation de la situation réelle du procédé par l'estimateur d'état, à partir de mesures, présentes et passées, et de l'état du ou des précédents échantillons. Les filtres Kalman et les méthodes d'estimation à

horizon glissant ont pour cela fait leurs preuves. On suppose que l'état estimé $\hat{x}(k)$ est une approximation précise de l'état parfois non mesurable du procédé réel : c'est le point de départ de l'optimisation réalisée à l'étape suivante ;

1 Trajectoires passées et futures en commande prédictive par modèle

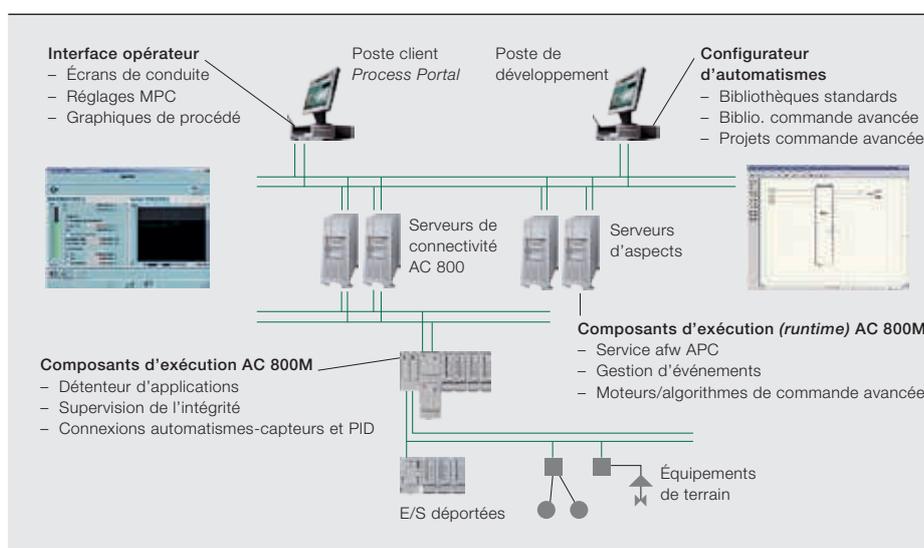


2 Optimisation de la commande avancée



L'emploi d'une forme carrée dans la fonction objectif garantit le « bon comportement » de la boucle de régulation.

3 Principaux constituants de la commande avancée 800xA



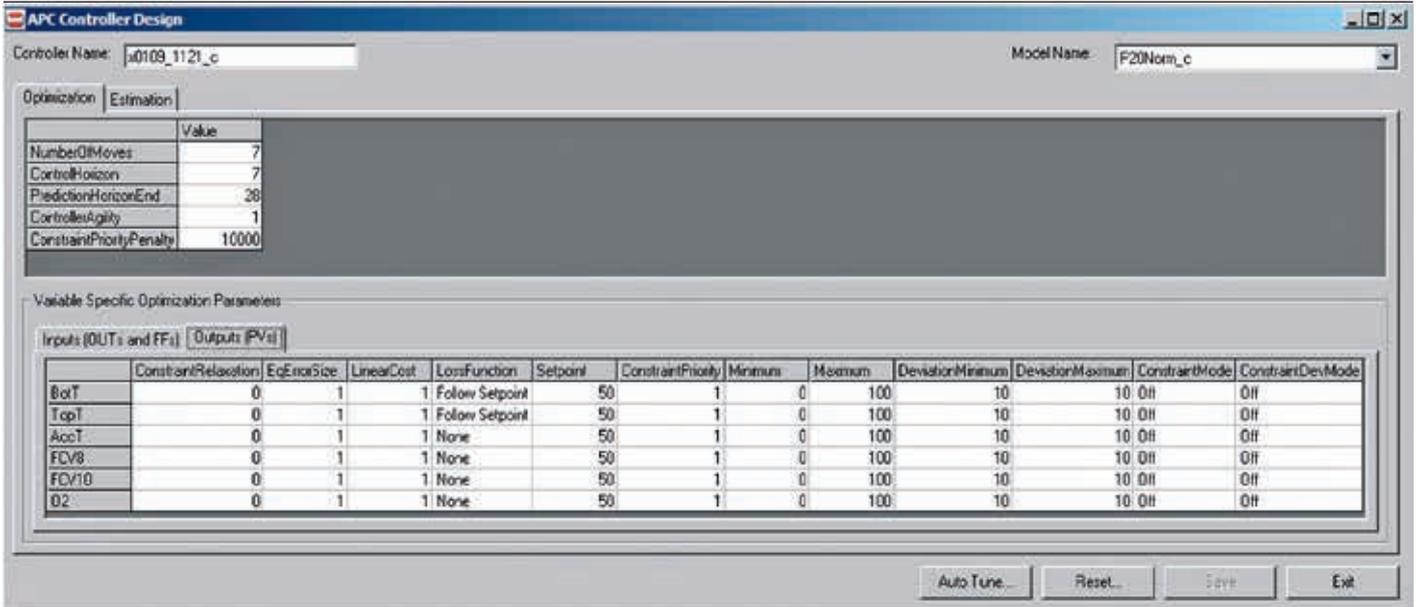
- Prédiction des trajectoires futures des sorties du procédé → 1 pour une séquence/trajectoire donnée des signaux de commande futurs. L'optimisation détermine cette commande future de façon à minimiser la fonction objectif. Elle peut aussi tenir compte des contraintes sur les entrées/sorties du procédé ;
- Application au procédé de la première instance de chaque signal de commande futur ainsi calculé.

Notons que la fonction objectif est normalement la somme pondérée des écarts dans les sorties du procédé et les incréments des signaux de commande. Il peut aussi y avoir des termes linéaires pour minimiser ou maximiser certaines variables. L'emploi d'une forme carrée dans la fonction objectif garantit le « bon comportement » du problème de régulation.

Régulation MPC classique...

ABB a une longue expérience de la commande MPC. Au départ, le Groupe utilisait des solutions tierces, relayées depuis par ses offres *Predict & Control* et *Expert Optimizer*. Habituellement, la MPC fournit des consignes aux régulateurs PID en cascade sous-jacents. Ces solutions ont un dénominateur commun : la MPC s'exécute sur un serveur distinct du contrôle-commande de procédé. Les échanges de données se font sous protocole OPC (*OLE for Process Control*) ; les mesures (variables process *PV* et anticipatrices *FF*) sont transmises à la MPC, et les sorties MPC (variables manipulées *MV*), au contrôle-commande.

Il faut également échanger sur le serveur externe un certain nombre de signaux supplémentaires afin de savoir, par exemple, quels régulateurs PID de niveau 1 acceptent une consigne venant de la



MPC et si la sortie PID est saturée ou non. À cela s'ajoutent des échanges entre commande MPC et écrans opérateur, ainsi que des informations d'état sur le fonctionnement de la MPC. Toutes ces exigences de communication doivent être configurées avant même que l'ingénieur ne s'attaque à la problématique de contrôle-commande, ni ne décide d'ajouter ou de supprimer des signaux de la MPC. Il va sans dire que l'attrait de la MPC franchit ici un nouveau seuil.

... et avancée 800xA

Le nouveau régulateur prédictif 800xA APC (*Advanced Process Control*) d'ABB est une extension totalement intégrée au système d'automatisation étendue 800xA → 3. Il inclut un outil de création de modèle, de réglage de la commande et de simulation, baptisé *Model Builder*, et un module de commande de régulateur MPC implanté dans l'automate programmable AC 800M, lequel permet de relier facilement la MPC aux signaux mesurés et aux PID aval. Cela étant, et après téléchargement de l'application dans l'AC 800M, la MPC peut être exploitée manuellement à l'aide des écrans et vues de conduite préconfigurés. Les connexions entre MPC et les autres objets de communication sont établies à l'aide de « liaisons de contrôle » bidirectionnelles et multiségnaux qui acheminent non seulement les valeurs des signaux mais aussi des informations booléennes sur les modes de fonctionnement du PID aval.

Le système 800xA APC utilise pleinement l'architecture 800xA. Un régulateur prédictif pouvant nécessiter une grande puissance de calcul, l'exécution du service du moteur MPC est répartie sur n'importe quel serveur 800xA. Si nécessaire, une redondance est également configurable pour plus de fiabilité, par exemple.

En outre, l'infrastructure 800xA assure toute la supervision nécessaire et la consignation de la totalité des événements et anomalies par sa fonction Alarmes & Événements.

800xA APC a d'autres atouts :

- Une exécution s'appuyant sur des produits ABB aboutis ;
- Une possibilité de migration vers les solutions ABB Predict & Control et Expert Optimizer ;
- Une mise en œuvre structurée qui simplifie la maintenance, tous les éléments associés étant stockés en un seul endroit.

Libéré de toutes les autres problématiques, l'automaticien ou le régleur peut se consacrer entièrement à la commande.

Configuration

Rappelons que ce régulateur MPC est une extension (avec bibliothèque et service) du 800xA. Dans 800xA APC, la configuration d'une instance du régulateur MPC commence dans le configurateur d'automatismes *800M Control Builder*. Les PV, MV et FF étant reliées, l'application peut être chargée dans

un automate 800xA. Normalement, les variables manipulées MPC sont reliées à des consignes externes pour des régulateurs PID cascades de niveau 1.

Il est alors possible

- d'exploiter la MPC en manuel, à partir des écrans de conduite ; tous les signaux étant visualisables, on peut par exemple tester le procédé afin d'obtenir les données utiles à la modélisation empirique ;
- de superviser le transfert de données entre le module de commande et le service 800xA avec le moteur MPC ;
- de savoir, grâce aux liaisons de contrôle entre la MPC et la régulation cascade, quand un PID ne fonctionne pas en automatique avec une consigne externe et quand il sature : la MPC est alors en mesure d'appliquer les bonnes actions correctrices au bon moment.

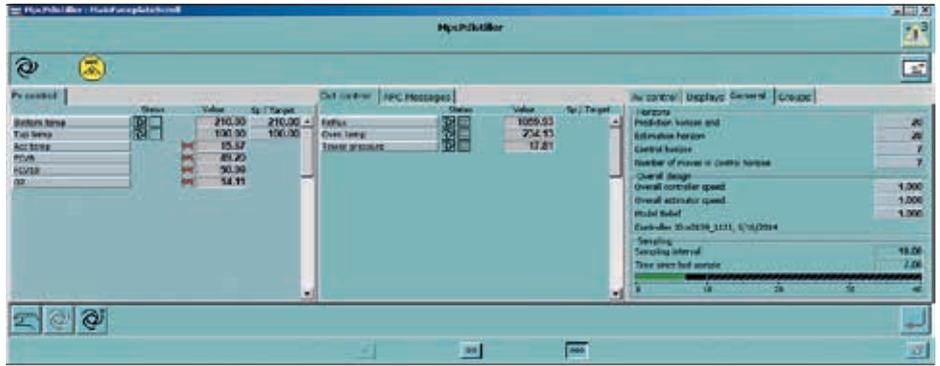
Modélisation et conception

Trois démarches sont envisageables pour créer un modèle dédié MPC avec *Model Builder*.

La première consiste en une modélisation empirique par calcul d'un modèle état-espace à temps discret fondé sur les données enregistrées ; celles-ci seront de préférence issues d'une identification des MV variant à la hausse et à la baisse. Il y a plusieurs façons d'y parvenir, la plus simple étant d'effectuer des changements indiciels dans chacune des MV, les unes après les autres.

L'infrastructure 800xA assure toute la supervision nécessaire et la consignation de la totalité des événements et anomalies par sa fonction Alarmes & Événements.

5 Principal écran de conduite



On peut aussi concevoir le modèle avec un ensemble de fonctions de transfert d'ordre faible (une pour chaque relation d'entrée-sortie dans le modèle multivariable). Une fonction type s'exprime comme suit :

$$G(s) = \frac{K}{sT + 1} e^{-Ls}$$

De plus complexes peuvent également être définies.

Troisième solution : construire un modèle de « connaissance » ou « physique » à l'aide de blocs graphiques prédéfinis ; c'est la méthode générique de Model Builder.

Même si ces démarches sont radicalement différentes, il est possible de bâtir un modèle en fusionnant des modèles plus petits d'un quelconque de ces trois types.

Model Builder se charge d'analyser le modèle avec des fonctions destinées aux réponses indicielles et à la validation : le modèle est alors alimenté par les entrées enregistrées et ses sorties simulées sont comparées aux sorties enregistrées.

Dès qu'un modèle est jugé satisfaisant pour être implanté dans le régulateur, on peut élaborer la commande MPC. Model Builder s'en charge également. Les paramètres de conception sont saisis dans un tableau → 4. Un réglage automatique fournit les paramètres initiaux pour faciliter la tâche des utilisateurs moins expérimentés.

On peut évaluer l'influence des paramètres de réglage choisis en menant des simulations sur différentes entrées, avec des possibilités de simulation par pas dans les consignes, les actions anticipatrices et les grandeurs perturbatrices. La

robustesse de la commande est facilement évaluée avec un modèle de simulation différent de celui utilisé dans le régulateur MPC.

Réglages et modèle sont mémorisés dans un fichier xml.

Mise en service dans 800xA

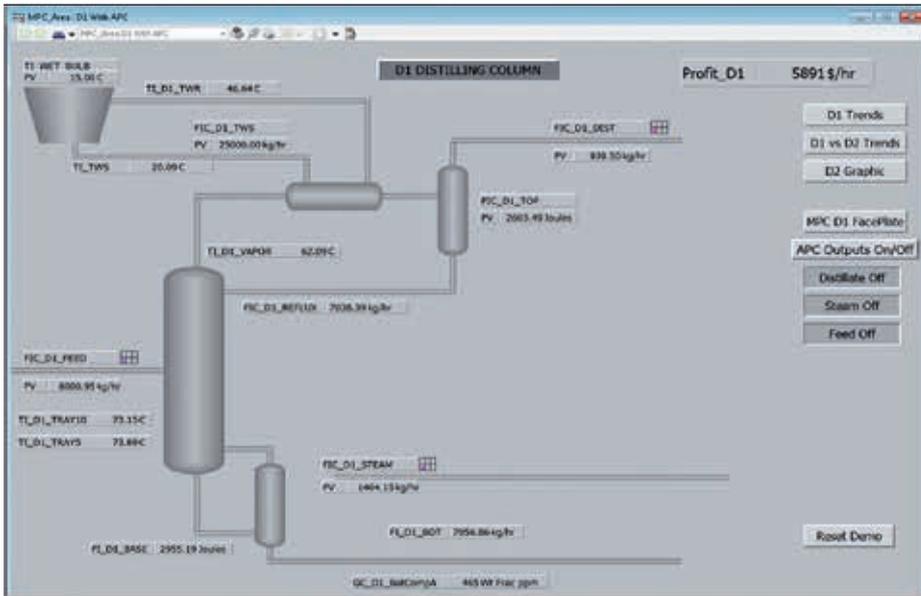
La dernière étape consiste à déployer la solution MPC dans le système 800xA. Pour cela, on sélectionne dans l'explorateur *Plant Explorer* le fichier xml contenant les réglages et le modèle pour configurer l'algorithme MPC en ligne avec l'un des régulateurs MPC définis dans Model Builder. La commande MPC, pleinement opérationnelle dans 800xA, peut alors passer en automatique pour accomplir sa tâche.

La configuration de base achevée, le système génère un certain nombre de vues personnalisées → 5 qui renseignent aussi bien l'opérateur que l'ingénieur APC : consignes, seuils et paramétrage interne du régulateur sont ainsi accessibles aux utilisateurs habilités 800xA.

Les paramètres de réglage sont en majorité affichés dans les vues de conduite fournies par le système ou les écrans opérateur : une visibilité bien utile quand il faut procéder à d'autres réglages en ligne.

Si plusieurs régulateurs APC sont déployés sur un même serveur, il peut s'avérer nécessaire de répartir la charge de traitement. Pour cela, l'ordonnanceur de 800xA APC attribue à chacun un créneau temporel offrant un point de démarrage optimal.

L'intégration 800xA ouvre d'autres fonctionnalités à APC : gestion des alarmes, prise en charge multilingue (*National*



Le modèle étant jugé satisfaisant pour être implanté dans le régulateur, on peut élaborer la commande MPC.

Language Support) et tableaux d'indicateurs de performance (KPI).

Applications phares

Voyons cinq cas de régulation APC.

Pétrole et gaz : colonnes de distillation

Les colonnes de distillation sont très répandues dans l'industrie de transformation pour séparer un ou plusieurs constituants d'un mélange de liquides miscibles plus ou moins complexe. Leur fonctionnement repose sur la différence de température d'ébullition des composés purs du mélange introduit à mi-hauteur de la colonne. Au terme de plusieurs étapes successives de vaporisation-condensation, les fractions gazeuses plus volatiles, à bas point d'ébullition, s'élèvent dans la colonne, tandis que les produits lourds, à haut point d'ébullition, se concentrent dans le fond. C'est le principe même de la « distillation atmosphérique » utilisée pour fractionner le brut en différentes coupes d'hydrocarbures (essence, kérosène et gazole).

Ces étapes s'influençant mutuellement, la régulation est multivariable. Néanmoins, par sa répétabilité, le procédé se prête bien à la modélisation empirique ou algorithmique. Les variables PV sont ici les températures et pressions process, ainsi que la composition des coupes de distillation soutirées le long de la colonne. Les principales variables MV sont l'alimentation en pétrole brut, l'allumage du four de chauffe, le rebouillage en pied de colonne, le débit des pompes,

les vitesses de refroidissement et la régulation par bypass de la pression de tête de colonne → 6.

La régulation MPC a le double avantage de stabiliser le procédé et d'homogénéiser la qualité des coupes prélevées à chaque étage de la colonne. De même, en fonction des objectifs commerciaux du client, elle maximise la capacité de distillation, augmente le rendement, réduit la « surqualité » ou la consommation d'énergie [4].

Minéralurgie : broyage et flottation

Voyons le cas type d'un circuit de broyage dans une mine de cuivre. La réduction de taille du minerai s'obtient généralement par une succession d'opérations: abrasion, usure par frottement (attrition) et percussion. Le circuit fonctionne avec au moins deux broyeurs jumelés, couplés à des classificateurs (cyclones, par exemple) qui séparent les matériaux fins des fragments grossiers, insuffisamment réduits, lesquels retournent au broyage. Le produit broyé est classé en fonction de son degré de finesse.

Ce procédé est très énergivore: la consommation électrique atteint 20 à 30 MW pour des débits de charge compris entre 2500 à 3000 t/h. Les variables PV sont ici la charge des broyeurs, le couple et la puissance des moteurs, les pressions et débits. La régulation 800x APC a pour effet d'accroître le rendement, d'homogénéiser la qualité du produit et d'alléger les coûts de maintenance → 7.

Le régulateur prédictif APC trouve aussi sa place dans l'unité de flottation où le minerai broyé et réduit en pulpe est débarrassé de sa gangue stérile. Le but recherché étant une production ou un rendement maximal à une qualité de concentrés donnée, APC effectue les réglages (niveau de mousse, débit d'air et quantité de réactifs) qui s'imposent pour stabiliser le procédé et augmenter la récupération [5].

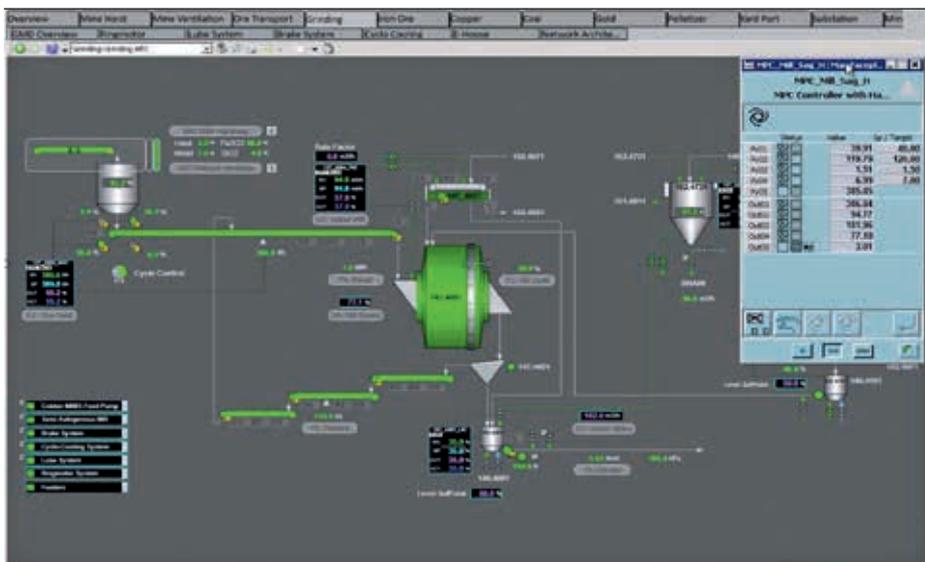
Cimenteries : fours de cuisson

La fabrication du clinker dans les fours rotatifs de cimenterie est un procédé par nature instable, soumis à de longs retards (dus à la faible vitesse de transport de la matière crue dans les échangeurs thermiques, les cyclones successifs, puis le four) et à de fortes perturbations. La stratégie de régulation vise à maintenir un profil de température donné sur toute la longueur du four et à garantir une bonne combustion. Elle doit en outre consommer le moins d'énergie possible et donc agir notamment sur la quantité d'air contenu dans les gaz de carneau.

Les variables MV sont ici la vitesse de rotation du four, l'alimentation en combustible, l'air et la charge, tandis que les variables PV sont la température de sortie du four (ou au niveau du capteur logiciel spécialement conçu pour l'application), la température d'entrée, ainsi que l'oxygène dans les gaz traversant le système. L'emploi de combustibles de substitution ajoute à la difficulté car la

Un réglage automatique fournit les paramètres initiaux pour faciliter la tâche des utilisateurs moins expérimentés.

7 Circuit de broyage de minéral



stratégie de régulation doit calculer à chaque fois le mélange de combustibles optimal.

Là encore, le système 800xA APC et Expert Optimizer cumulent les avantages: augmentation de rendement, économie de combustible, allongement de la durée de vie des réfractaires, qualité supérieure et constante [6,7].

Sites papetiers : lessiveurs en continu

Le lessiveur Kamy à cuisson continue est un réacteur tubulaire complexe dans lequel les copeaux de bois réagissent avec une solution aqueuse composée de soude caustique et de sulfure de sodium, ou «liqueur blanche», pour séparer les fibres cellulosiques de la lignine (liant naturel du bois) et les réduire en pâte chimique. Il comporte généralement trois étages correspondant aux différentes phases du processus: imprégnation, cuisson, lavage. La liqueur blanche pénètre par le haut du lessiveur pour imprégner progressivement les copeaux de bois au fil de sa descente. La température est portée à environ 170 °C et maintenue quelques heures à ce niveau pour dissoudre la majeure partie de la lignine (délignification). L'étape de cuisson s'arrête au début de la zone de lavage, sous l'effet d'une baisse de la température. La pâte écrue est lavée à contre-courant avec une liqueur injectée à la base du lessiveur.

Toute la difficulté de la conduite réside dans la production de grandes quantités de pâte de qualité homogène et

constante, alors que la qualité de la matière brute (taille et humidité des copeaux) varie selon les saisons, la géographie et la provenance du bois. Le programme de fabrication doit également alterner différentes essences, feuillus et résineux, compliquant d'autant la régulation.

L'application *OPT800 Cook/C*, bâtie sur la plate-forme 800xA APC, est au centre de la solution de commande avancée ABB. Elle stabilise la production de pâte à papier, limite la quantité d'adjuvants chimiques et coordonne les nombreuses boucles du procédé pour donner une pâte de qualité optimale répondant aux spécifications et minimisant la variance. Cet optimum permet de limiter l'adjonction d'agents de blanchiment pour atteindre le degré de blancheur souhaité. La commande avancée maximise également le volume de production, le rendement et l'égouttage de la matière fibreuse sur les machines de fabrication de papier blanc et brun. Les variables PV sont ici l'indice kappa (teneur en lignine) en cuve de décharge, le niveau de remplissage du lessiveur, la concentration résiduelle en alcali et le taux de production. La qualité du produit se définit en termes d'indice kappa visé et de plage de niveaux.

Une installation récente a enregistré des résultats exemplaires: réduction de 51 % du kappa de décharge, indicateur de qualité de pâte avec un débit de décharge stable, réduction de 60 % de la variation du niveau des copeaux dans le

lessiveur. Le déplacement stable des copeaux stabilise à son tour le temps de séjour dans les différentes zones du lessiveur [8].

Production de vapeur industrielle

De nombreux process industriels (pétrole et gaz, papier, extraction minière, etc.) ont besoin d'être alimentés par leurs propres sources de vapeur et d'électricité. Ces «utilités», produites sur place, se distinguent des centrales électriques classiques en ce que la vapeur y est utilisée à des pressions et des températures très élevées mais aussi à des débits extrêmement variables, du fait de la variabilité du procédé, des déclenchements et/ou démarrages des charges, etc. Dans ces conditions, il est difficile de garantir la stabilité du réseau de vapeur et la fiabilité du réseau de puissance. Il arrive aussi que cette énergie soit récupérée d'autres unités ou sous-produits du process (fours de vapocraquage, gaz de haut-fourneau, etc.), ce qui introduit d'autres perturbations dans le réseau de vapeur puisque la récupération d'énergie et de combustible est tributaire de la disponibilité et des cycles des étapes en amont.

Il s'agit fondamentalement de fournir assez de vapeur au process, avec les paramètres requis, tout en produisant le plus d'énergie possible à un coût optimisé en fonction des conditions de marché. On peut également chercher à alimenter un réseau de chauffage urbain.



Eduardo Gallestey

Michael Stalder

ABB Industry Solutions

Baden-Dättwil (Suisse)

eduardo.gallestey@ch.abb.com

michael.stalder@ch.abb.com

Michael Lundh

ABB Corporate Research

Västerås (Suède)

michael.lundh@se.abb.com

Tom E. Alloway

ABB Industry Solutions

Wickliffe (Ohio, États-Unis)

tom.e.alloway@us.abb.com

Riccardo Martini

ABB Industry Solutions

Gênes (Italie)

riccardo.martini@it.abb.com

Ramesh Satini

ABB Industry Solutions

Singapour

ramesh.satini@sg.abb.com

Les variables, cours et règles locales des marchés de l'énergie compliquent la tâche. De plus, le prix de production différentiel interne dépend des prix variables des combustibles. Résultat : dans bien des cas, la fourniture optimale de puissance est très différente selon que les prix de l'énergie sont au plus haut ou bas, ce qui oblige à recalculer la production. Par exemple, quand le prix de l'énergie en temps réel est inférieur au prix interne, la ligne d'équilibre est maximisée ; inversement, quand le prix du marché temps réel est supérieur au prix interne, la ligne d'équilibre est minimisée.

Les variables sur lesquelles APC peut agir sont les suivantes : rendement des chaudières, débit d'admission/d'extraction de la vapeur, puissance cible de la turbine à gaz, débit des désurchauffeurs, vannes de régulation de pression, débit de vapeur en sortie et vannes d'évent. Les multiples contraintes et couplages constituent un cas d'école dans lequel APC surpasse les méthodes de régulation classiques à base de PID en cascade ou distincts avec des consignes échelonnées.

Rompue à ce type d'application, la solution ABB est à même de stabiliser et de fiabiliser l'alimentation du process en vapeur → 8, d'alléger le budget de fonctionnement, d'augmenter le rendement énergétique et les bénéfices (par exemple, en vendant plus au meilleur prix, moins à bas prix) et de diminuer les perturbations touchant la centrale et les consommateurs d'énergie [9].

Des apports multiples

Le système 800xA APC fait clairement la distinction entre, d'un côté, la modélisation et la conception de la commande, et de l'autre, les tâches plus usuelles de connexion, de verrouillage de sécurité et de paramétrage de l'interface opérateur, sans besoin de configuration. Il facilite également la mise en service et le support de l'application à distance.

800xA APC vient ainsi avantageusement compléter la plate-forme de commande avancée 800xA d'ABB pour la régulation prédictive d'un grand nombre d'applications industrielles verticales (ciment, mine, papier, pétrole et gaz) dans lesquelles ABB occupe une position de choix.

ABB continue d'investir dans cette technologie avec l'ambition d'accroître la valeur ajoutée de son offre de contrôle-commande dans le monde. Outre les avantages financiers qu'elle procure aux clients, l'optimisation inhérente à la commande MPC s'inscrit dans une démarche globale de réduction des émissions polluantes et de meilleure utilisation des ressources, bien au-delà du process.

Bibliographie

- [1] Richalet, J., *et al.*, « Model predictive heuristic control: Applications to industrial processes », *Automatica*, vol. 14, p. 413–428, 1978.
- [2] Cutler, C. R., Ramaker, B. L., « Dynamic matrix control – a computer control algorithm », *Joint Automatic Control Conference*, San Francisco (Californie, États-Unis), 1980.
- [3] Qin, S. J., Badgwell, T. A., « A survey of industrial model predictive control technology », *Control Engineering Practice*, vol. 11, p. 733–764, 2003.
- [4] Abela, M., Giannobile, D., Majuri, E., Bongiorno, C., Martini, R., Podesta, F., « The unstoppable advance », *Hydrocarbon Engineering*, avril 2013.
- [5] Lundh, M., Gaulocher, S., Pettersson, J., Lindvall, H., Gallestey, E., « Model Predictive Control for Flotation Plants », *48th Conference of Metallurgist*, COM 2009.
- [6] Stadler, K., Poland, J., Gallestey, E., « Model predictive control of a rotary cement kiln », *Control Engineering Practice*, vol. 19, p. 1–9, 2011.
- [7] Stadler, K., Gallestey, E., « Stratégie d'anticipation », *Revue ABB*, 3/07, p. 18–21.
- [8] Persson, U., Lindberg, T., Ledung, L., « P³: planification de la production papetière », *Revue ABB*, 4/04, p. 39–43.
- [9] Valadez, G., Sandberg, D. G., Immonen, P., Matsko, T., *et al.*, « Coordinated Control and Optimization of a Complex Industrial Power plant », *Power Engineering Magazine*, vol. 112, p. 124–134, novembre 2008.



Grands travaux

Les technologies de l'information hissent l'industrie minière au premier rang

JAY JENKINS – Jusqu'à une date récente, la mine comptait parmi les secteurs industriels les moins informatisés. Selon des cabinets d'études de marché, l'industrie consacre régulièrement 3 à 5 % de son chiffre d'affaires aux technologies de l'information, contre moins de 1 % pour la mine ! Ces cinq dernières années ont changé la donne : aujourd'hui, les technologies de l'information ont permis au secteur d'accroître sa productivité, en dépit des nombreux défis qu'il doit relever.



La complexité accrue de l'exploitation minière a fait de l'informatisation et de la numérisation un formidable levier de compétitivité et de réduction des coûts pour les acteurs du domaine. Ce tournant est favorisé par un afflux de cadres dirigeants de divers horizons extérieurs à la mine (biens de consommation, haute technologie et finance), qui poussent à investir dans les technologies de l'information (TI), relevant le niveau de tout le secteur minier. De même, de grands groupes industriels ont récemment investi le segment des équipements, technologies et services miniers (estimé à 90 milliards de dollars par an, soit 6,5 % du PIB de l'Australie, par exemple) et mis leurs solutions abouties de numérisation globale, cohérente et transverse au service des minières.

Ces facteurs sont une formidable occasion pour la mine de tirer parti de l'expérience acquise par les précurseurs du déploiement des TI dans l'industrie. D'autres filières, dans le manufacturier

Photo p. 60

Les technologies de l'information redessinent le paysage minier en intégrant ses nombreuses composantes disparates au sein d'un environnement d'exploitation unifié et cohérent.

comme dans les procédés continus, ont vite compris que les îlots d'automatisation et la parcellisation de l'information

Il va de soi que les minières ont investi dans leur propre recherche-développement, en synergie avec les technologies

héritées d'autres secteurs pour faire progresser toute l'entreprise.

Des équipements autonomes peuvent être implantés dans la mine, à une échelle industrielle. Cette autonomie et cette faculté de piloter les installa-

La complexité accrue de l'exploitation minière fait de l'informatisation et de la numérisation un formidable levier de compétitivité et de réduction des coûts.

soulevaient des questions de performance engendrant à la fois des problèmes de volume de production et de qualité.

À l'heure de la convergence

L'un des résultats les plus prometteurs de cette fertilisation croisée est l'avènement d'une exploitation minière intégrée → 1, pilotée à distance et autonome. La convergence des technologies de l'information (applications de gestion des actifs et progiciels de gestion intégrée, chaînes logistiques et systèmes d'exploitation) et des technologies opérationnelles (partie opérative et commande logique sur les machines) dans ce domaine a débouché sur des processus plus efficaces.

tions avec des systèmes informatiques parfaitement standardisés, maîtrisés et intégrés autorisent une téléconduite efficace de la mine depuis des centres éloignés de plusieurs centaines de kilomètres → 2.

La poursuite de l'entreprise minière intégrée a, selon le cabinet d'études Gartner [1], plusieurs motivations :

- La grave pénurie de personnel qualifié, à tous les niveaux de la hiérarchie ;
- La capacité à optimiser l'ensemble de la chaîne de valeur, et non quelques maillons ;
- Le souci de transparence et de responsabilité vis-à-vis du public, notamment en matière de développement durable et de performance financière ;

Selon une étude, les minières ont beaucoup à apprendre d'autres secteurs industriels qui ont adopté des architectures normalisées pour se transformer en entreprises numériques intégrées.



- La cohérence des résultats, tant sous l'angle de la qualité que de la prédictibilité des performances ;
- La faculté d'évoluer dans un environnement économique très volatil.

Ces arguments cadrent avec les conclusions d'une enquête Ventyx menée en 2012 sur l'industrie minière mondiale [2] et les récents constats de dirigeants du secteur [3]. Convaincus des bénéfices de l'intégration, certains géants miniers se lancent désormais dans cette voie. Mais les résultats ne sont pas au rendez-vous car l'absence de normes d'« urbanisation informatique » visant à faciliter l'évolution, l'adéquation et la cohérence des

pour simplifier et accélérer la mise en œuvre d'opérations intégrées. La mine peut et doit suivre une démarche similaire. Les grands noms du domaine se sont déjà ralliés aux spécifications OAGIS (interopérabilité des systèmes et applications de gestion, y compris de la production), S95 (échanges de données dans l'industrie manufacturière), B2MML (vocabulaire XML utilisé pour décrire les échanges d'information entre systèmes informatiques chargés de la gestion et du contrôle-commande industriels) et à des standards comme PAS55. En tirant les leçons de ces expériences et en appliquant sa fine expertise du métier minier à la normalisation, Ventyx joue le rôle

de catalyseur pour les clients soucieux de maîtriser ces référentiels.

S'il n'est pas de norme ni de standard capable d'embrasser tout le domaine minier, plusieurs initiatives en faveur de l'urbanisation informatique méritent

Le domaine minier a tout à gagner de l'expérience acquise par les précurseurs du déploiement des technologies de l'information dans l'industrie.

systemes d'information de la mine freine l'effort d'intégration.

D'autres secteurs industriels (de l'automobile aux semi-conducteurs) en ont fait expérience et adopté ces 15 à 20 dernières années bon nombre de standards

l'intérêt et le soutien de l'industrie. Citons en priorité le forum EMMM™ (*Exploration, Mining, Metals and Minerals*) de *The Open Group* (groupement de fournisseurs, prestataires, intégrateurs et clients prônant l'interopérabilité, l'intégration et le développement des technologies ouvertes)



L'un des résultats les plus prometteurs de la fertilisation croisée est une exploitation minière intégrée, pilotée à distance et autonome.

qui a développé un modèle d'«architecture d'entreprise» pour l'industrie: ce cadre de référence est suffisamment générique pour servir de socle à n'importe quelle architecture spécifique à l'entreprise minière tout en ayant l'ambition et la capacité de clarifier et d'automatiser davantage les situations complexes d'une exploitation minière efficace et autonome.

La première étape de cette transformation doit s'assurer que l'entreprise minière – a compris les bénéfices de l'intégration ;
– dispose d'une stratégie et d'une méthodologie *ad hoc* ;
– choisit des fournisseurs et des produits en phase avec cette stratégie et les schémas directeurs pour la concrétiser.

Si l'acquisition d'une technologie isolée et indépendante peut répondre à un problème ponctuel, elle est aussi un obstacle à la compétitivité que peut apporter l'entreprise numérique intégrée. C'est pourquoi Ventyx investit dans une intégration plus transparente de ses propres produits et travaille avec des acteurs importants également convaincus des avantages d'une plate-forme ouverte.

Information et connaissance : l'intégration Ventyx

Ventyx possède un important capital immatériel (droits de propriété intellectuelle) dont presque toutes les entre-

prises minières devraient pouvoir tirer profit pour élaborer leur stratégie d'intégration. *The Open Group* est à l'origine du forum mondial *EMMMv (Exploration, Mining, Metals and Minerals vertical)* pour créer des normes et modèles d'architecture d'entreprise de référence destinée aux secteurs de l'exploration et de l'exploitation minières, de la minéralurgie et de la métallurgie. Les méthodologies et modèles de processus Ventyx s'alignent généralement sur le modèle EMMMv. Ce patrimoine « informationnel » d'exception peut lever la complexité des modèles miniers intégrés et aider les minières à se concentrer sur les processus stratégiques qui fondent la performance et l'excellence.

Bilan

L'industrie minière a des atouts exclusifs: elle peut tirer parti des 15–20 années qu'ont passées les autres secteurs industriels à appréhender et à mettre en place l'entreprise intégrée. En adoptant un modèle d'intégration, des normes de communication et des référentiels de données qui facilitent la démarche, puis en sélectionnant et en déployant des solutions cohérentes avec les plans de transformation et les standards retenus, elle peut réaliser en quelques années ce que d'autres ont mis des décennies à accomplir.

Jay Jenkins

Ventyx (société du Groupe ABB)
Brisbane (Australie)
jay.jenkins@ventyx.abb.com

Bibliographie

- [1] Miklovic, D., Robertson, B., *Process for Defining Architecture in an Integrated Mining Enterprise, 2020*, Gartner, rapport n° G00206261, disponible sur : <https://www.gartner.com/doc/1446018/process-defining-architecture-integrated-mining>, 6 octobre 2010.
- [2] Livre blanc *Ventyx Mining Executive Insights Annual Global Survey Results, 2012*, [en ligne], disponible sur : <http://www.ventyx.com/go/mining-survey/2012miningsurveyreport.pdf>, 2013.
- [3] *Mining 2020 – Profitably Reaching the End of this Decade in the Mining Sector*, Ventyx, disponible sur : <http://www.ventyx.com/resources/registration?url=/resources/type/expert/ebook-mining2020>, 2013.



Unis dans l'action

Une plate-forme logicielle unifiée automatise et rationalise l'organisation industrielle et logistique de la mine

DAVID WESTLAKE – Gérer une exploitation minière, du puits au client final, est un parcours semé d'embûches. Les procédures manuelles et les solutions logicielles classiques ne sont pas à la hauteur de l'incroyable complexité et du besoin de visibilité totale, en temps réel, qui caractérisent aujourd'hui les interactions des processus opérationnels, commerciaux, administratifs et logistiques. Agnico Eagle en a fait l'expérience au premier chef : l'entreprise aurifère est passée en quelques années de un à sept gisements, dans trois pays, et à plus de 20 produits différents. Le choix d'une plate-forme d'automatisation intégrée lui a permis de surmonter ces difficultés, de réduire ses coûts et d'améliorer son bilan.



Premier avantage d'une automatisation par logiciel : les données sont saisies et traitées une seule fois.

Agnico Eagle est un grand producteur mondial d'or avec des exploitations et des projets d'exploration au Canada, en Finlande, au Mexique et aux États-Unis → 1. Pourtant, à l'instar de bien d'autres entreprises, sa gestion commerciale se faisait encore jusqu'à une date récente presque entièrement sous Excel et Word. En multipliant ses implantations dans plusieurs pays parlant autant de langues différentes, il lui fallait un outil plus robuste pour rationaliser et orchestrer toutes ses activités. Aujourd'hui, Agnico dispose d'une plate-forme logicielle unifiée qui lui procure une visibilité

temps réel des opérations minières et une coordination poussée pour alléger les charges administratives, resserrer la gestion des stocks et les contrôles qualité, et doper les résultats.

Cette approche a permis d'améliorer les cinq volets les plus complexes de l'exploitation minière : contrats, conformité réglementaire, logistique, facturation et gestion des risques.

Contrats et délais de facturation

Les contrats de vente Agnico étaient un casse-tête. La multiplication des types de contrats liés à la diversité du mix produit (or, argent, cuivre, zinc et plomb) alourdissait en effet la tâche des gestionnaires en les obligeant à rédiger une foule de contrats pour un même produit, chacun avec ses exigences de qualité, ses clauses de paiement et ses délais de livraison spécifiques. Au fil de l'expansion de l'entreprise, ce processus allait

vite coûter cher en gestion manuelle et en personnel.

Dans ce contexte, améliorer la gestion des contrats fut l'une des priorités d'Agnico. Premier avantage de la migration vers l'automatisation logicielle : les données contractuelles ne sont saisies qu'une fois dans le système qui en vérifie automatiquement la précision et l'exhaustivité, conformément aux règles d'entreprise, pour garantir un chiffre correct. Libéré de la paperasserie, le personnel peut consacrer davantage de temps à des tâches plus constructives. De même, il est possible d'émettre des factures précises en fin de mois, et non des semaines plus tard : c'est tout bénéfique pour Agnico !

Mise en conformité réglementaire, audit et reporting

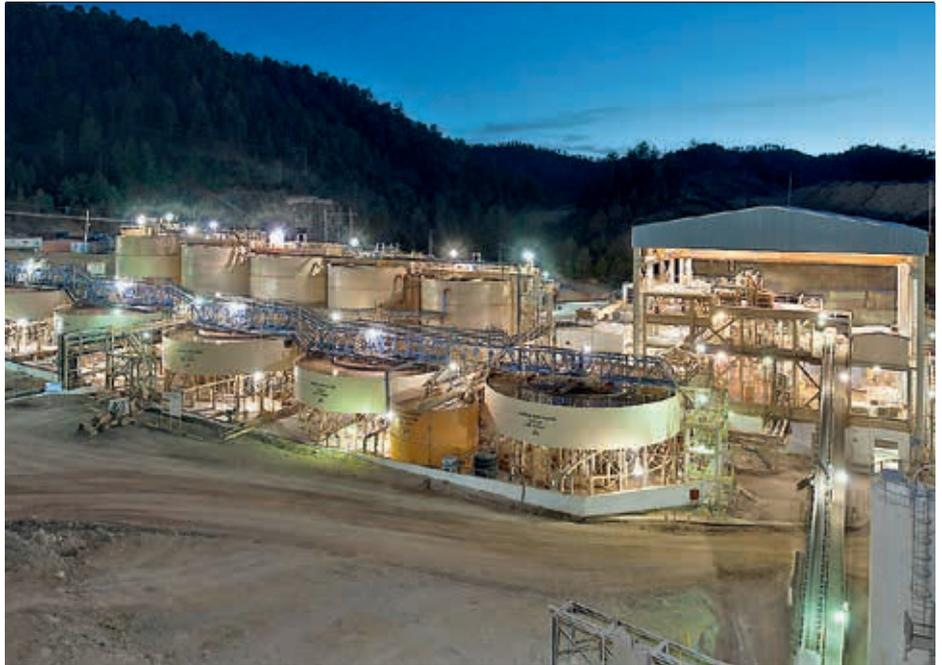
Dans l'entreprise minière, la conformité est de rigueur → 2. De solides capacités d'audit sont primordiales pour garantir et

Photo

L'extraction est la première d'une longue suite d'opérations complexes pour acheminer les produits de la mine à bon port ! Rien ne vaut une plate-forme logicielle unifiée pour garder trace de tous les maillons de la chaîne, comme ces camions de la mine d'or à ciel ouvert d'Agnico Eagle au Canada.

La plate-forme logicielle unifiée gère et rationalise tous les processus miniers, du puits au client final. Elle procure une visibilité temps réel et de hauts niveaux de coordination pour abaisser les coûts administratifs, resserrer la gestion des stocks et les contrôles qualité.

1 L'usine de traitement Agnico de Pinos Altos, sur la faille de Santo Niño, au nord du Mexique



prouver le respect de la normalisation et de la réglementation en vigueur (notamment la loi Sarbanes Oxley adoptée en 2002 par le Congrès américain en réponse aux scandales comptables et financiers qui ont marqué l'actualité), mais aussi confronter ce qui a été expédié au client et ce que l'entreprise croit avoir produit.

L'information minière est passée au crible de la plate-forme logicielle qui vérifie et analyse tout en continu : saisie des données contractuelles dans le système, accès aux documents de vente et de facturation (autorisations, historiques de modification, etc.). Ce « blindage » de l'information allège la tâche et fait gagner

chaque camion, chaque cargaison, jusqu'au client final.

De même, la possibilité de voir le pesage et le titrage des minerais permet à l'entreprise d'ajuster ses plans de production (par exemple, en remontant à l'origine des problèmes de qualité pour y remédier) et d'augmenter la rentabilité par une meilleure connaissance des nuances de minerai. Cette visibilité cruciale s'inscrit chez Agnico dans une boucle d'amélioration permanente du procédé.

Logistique

Autre difficulté commune à tous les groupes miniers : gérer la complexité des

environnements et plannings d'expédition, la multiplicité des modes de transport, de même que les changements rapides de capacité, les quotas encadrés par contrats et les

calendriers de livraison variables. Il ne suffit pas d'acheminer minerais et métaux jusqu'au consommateur ; il faut littéralement « voir » quels matériaux ont été chargés puis transportés dans quels camions, quels wagons, et jusqu'où.

Comme pour les volets contrats et mise en conformité, le logiciel a procuré à Agnico la visibilité et la maîtrise de ses

Agnico peut établir une facture de fin de mois, à partir d'une évaluation précise des stocks.

du temps, rationalise l'activité d'audit et répartit les responsabilités, comme le veut souvent la mise en conformité. Cotée en bourse, l'entreprise Agnico a amplement bénéficié de la démarche.

Le logiciel facilite également le rapprochement production-livraison grâce à une visibilité et une traçabilité des plans de chargement et des expéditions pour



Pour Agnico, le logiciel est garant de la visibilité et de la maîtrise des opérations logistiques. Les logisticiens peuvent ainsi visualiser et évaluer le contenu de chaque camion, et connaître la cargaison attribuée à chaque wagon.

opérations logistiques. Les logisticiens sont ainsi capables de visualiser et d'évaluer le contenu de chaque camion,

Facturation

Comme pour les contrats, les factures se multiplient et se compliquent avec

l'expansion de la minière. Rappelons que le logiciel permet de saisir et de contrôler données contractuelles, coûts, poids, teneur, etc., en une seule passe. Plutôt que de s'échiner sur les clauses du contrat, le personnel peut

Autre leçon d'importance : la mobilisation de l'ensemble des partenaires, à tous les échelons de la chaîne logistique.

de savoir quelles cargaisons remplissent quel wagon, mais aussi de les « déplacer » d'un wagon à l'autre afin d'optimiser la logistique, telles des blocs contenant toute l'information pertinente. Aussi peut-on retenir certains blocs pour parer à une défaillance de la chaîne logistique (problème sur la ligne ferroviaire, par exemple) et les remplacer par d'autres pour honorer la commande client.

Cette vue synthétique et transverse présente aussi l'intérêt de pouvoir cerner et évaluer à tout moment (surtout en fin de mois et de trimestre) la totalité du stock et, plus précisément, ce qui est en transit et/ou en attente de règlement. C'est bien mieux que de « voir » une montagne de stocks dont on ne sait discerner ni la composition ni la valeur, faute d'état consolidé.

davantage vérifier l'exactitude des données entrées et facturer dans les temps.

Plus besoin d'éplucher les factures pour s'assurer que telle ou telle disposition particulière ou pénalité y figure ; le logiciel s'en charge. Il peut aussi tenir automatiquement compte des prix publiés dans les revues *Metal Bulletin* (Royaume-Uni) ou *Metals Week* (États-Unis), évitant cette corvée au personnel.

Bilan : la facturation Agnico est aujourd'hui beaucoup plus rapide.

Gestion des risques

À chaque clôture d'exercice comptable, l'entreprise minière est soumise à la fluctuation des cours. D'où l'intérêt de voir et de comptabiliser précisément tout ce qu'elle détient en stock, en transit, en entrepôt et en paiement. Chez Agnico,

3 Une plate-forme logicielle unifiée regroupe toutes les informations utiles de l'entreprise, comme ici dans la salle de commande de l'atelier de broyage.



c'est encore la plate-forme logicielle qui s'en charge. Concrètement, la minière est en mesure d'établir une facture de fin de mois pour toute opération en cours, à des fins strictement internes, sur la base d'une évaluation précise des stocks.

Dans la foulée, Agnico peut émettre des factures pro forma, avant facturation définitive, ce qui a le double avantage d'éviter les surprises (relances clients, par exemple) et d'améliorer la trésorerie.

Le logiciel permet de ne saisir et contrôler les données contractuelles qu'une fois, laissant au personnel toute liberté de vérifier l'exactitude des données entrées et facturer dans les temps.

Les clés de la réussite

Nous l'avons dit, les procédures manuelles et les solutions logicielles du commerce sont incapables de prendre en charge la complexité, le besoin de visibilité temps réel et l'étroite imbrication des processus commerciaux et logistiques. Plus que jamais, l'« interrelation » prime. Un concept que les logiciels du commerce ne manient pas aussi bien qu'une

plate-forme unifiée, capable de partager données, règles d'entreprise et autres fonctions transverses. C'est pourquoi une plate-forme de bout en bout a énormément contribué à l'automatisation des processus de l'entreprise Agnico.

Parmi les autres critères décisifs, citons la prise en charge d'opérations complexes avec une importante marge de croissance et la standardisation mondiale des pratiques de l'entreprise, au-delà des frontières, des langues et des fuseaux horaires. Deux exemples : l'émission de factures dans un format standard et la centralisation du cumul des résultats commerciaux, chiffres et projections de fin de mois pour toutes les opérations. Tout aussi importante fut la capacité d'offrir une visibilité à 360° des processus de l'entreprise, fournissant en temps réel des informations sur la quantité et la qualité des produits, à tous les stades de la chaîne commerciale et logistique.

Résultats

Ventyx MineMarket est la plate-forme mise en place par Agnico pour gérer tous ses processus opérationnels et commerciaux. Nombreux sont ses atouts :

- Raccourcissement des cycles de commande/facturation/recouvrement, améliorant la trésorerie de l'entreprise ;
- Réduction du risque et des erreurs, contribuant à une amélioration de la satisfaction client et des résultats commerciaux ;
- Maîtrise des données comptables, facilitant la mise en conformité des processus et diminuant le risque financier ;
- Rationalisation et allègement de la paperasserie liée aux contrôles comptables, réduisant les coûts d'intervention des cabinets d'audit ;
- Allègement de la charge administrative, le personnel pouvant se recentrer sur des tâches plus stratégiques ;
- Cohérence de la totalité des processus internes (facturation, par exemple) pour faciliter le recouvrement des créances et la tâche d'autres services au contact du marché ;
- Accélération du reporting financier, notamment les évaluations en valeur de marché (*mark-to-market*) ;
- Amélioration des processus analytiques et prévisionnels, du pilotage stratégique et décisionnel, et de la planification, garantissant la qualité des produits et le rapprochement production-offre.

L'information minière est vérifiée et analysée en continu : un « blindage » qui allège la tâche et fait gagner du temps, rationalise les audits et répartit les responsabilités, comme l'exige souvent la mise en conformité.

Enseignements

L'automatisation de bout en bout des activités minières est un progrès considérable dont les entreprises peuvent tirer bien des leçons. Pour autant, la question n'est pas de savoir ce que le logiciel *peut* faire pour l'entreprise mais ce que l'entreprise *doit* en faire. D'où l'établissement d'une « feuille de route » que l'on adaptera aux spécificités de la minière : le logiciel a-t-il, par exemple, vocation à accompagner les processus en place ou à contribuer à la refonte et à l'amélioration de l'existant ? Pour cela, le maître mot est flexibilité de la plate-forme . . . et de l'entreprise.

Autre leçon : l'importance que revêt la mobilisation de l'ensemble des acteurs de la chaîne, et ce à tous les stades de la mise en œuvre. Un changement si radical ne se décrète pas ; il exige l'adhésion et la collaboration des multiples participants, détenteurs de données et utilisateurs au quotidien. Toutes les parties prenantes doivent par exemple déterminer en amont les rapports, types de contrats, etc. nécessaires pour permettre une configuration adéquate du logiciel. C'est la meilleure façon de s'approprier la solution.

Il faut aussi choisir un prestataire ayant une grande expérience du domaine minier et de l'automatisation des procédés, et capable d'accompagner durablement l'entreprise.

Enfin, il faut anticiper la croissance de l'activité : un nombre limité de processus et d'opérations peut être pris en charge par une plate-forme logicielle ouverte à l'expansion, en fonction des besoins. L'entreprise acquiert ainsi de l'expérience dans l'utilisation du logiciel et peut réagir rapidement quand les projections de croissance se concrétisent. Mieux vaut prévenir que guérir !

Un pour tous

Les cinq problématiques que nous venons de décrire ne sont que quelques exemples de leviers sur lesquels s'est appuyé Agnico pour passer d'une gestion de ses processus d'entreprise et de marché sur tableur à une plate-forme logicielle unifiée → 3. Citons également l'exécution de scénarios de simulation pour devancer les conditions changeantes du marché et affiner la planification de la demande. L'intérêt d'une plate-forme intégrée tient dans l'automatisation et la mutualisation de nombreux processus métiers, la suppression des silos d'informations et l'assurance de disposer en temps réel d'une information complète et à jour couvrant toutes les opérations qui vont de l'extraction minière à la livraison client.

Les producteurs de métaux précieux comme Agnico ne sont pas les seuls bénéficiaires de la solution ; pratiquement tous les opérateurs miniers (métaux de base, charbon, minerai de fer, etc.) y trouvent leur intérêt. La chaîne d'opérations minières, de la mine au marché, va devenir de plus en plus complexe et soumise à audit. Là où les piles de tableurs, les solutions ponctuelles et les processus disparates accentuent la complexité, la plate-forme logicielle unifiée fait sauter tous les verrous.

David Westlake

Agnico Eagle Mines Limited
Toronto (Canada)
dwestlake@agnico-eagle.com

Pour en savoir plus, contactez
emmanuel.chabut@ch.abb.com.

Voir au-delà du *process*

De la fiction à la réalité

MARKUS ALEKSY, ELINA VARTIAINEN, MARTIN NAEDELE – Le terme anglo-saxon de *cyborg* (contraction de « organisme cybernétique ») évoque encore pour beaucoup ces créatures de science-fiction, hybrides de la machine et de l'humain, auxquelles on a greffé des puces électroniques, implants et autres prothèses pour décupler les performances. Aujourd'hui, l'idée commence à sortir des studios de Hollywood et investit l'usine pour y seconder la maintenance et améliorer la sécurité du personnel. À la croisée de l'informatique nomade et de l'instrumentation communicante, le « prêt-à-porter électronique », avec ses objets et accessoires connectés (*wearable computing*), revêt la forme de capteurs et détecteurs invisibles, capables de fournir des informations précises sur leur environnement d'immersion et de travail, souvent très complexe. ABB s'est penché sur la façon dont les industriels, en particulier les prestataires de service, pouvaient tirer parti de ces technologies couplées à la réalité augmentée (RA). La science-fiction se conjugue désormais au présent.

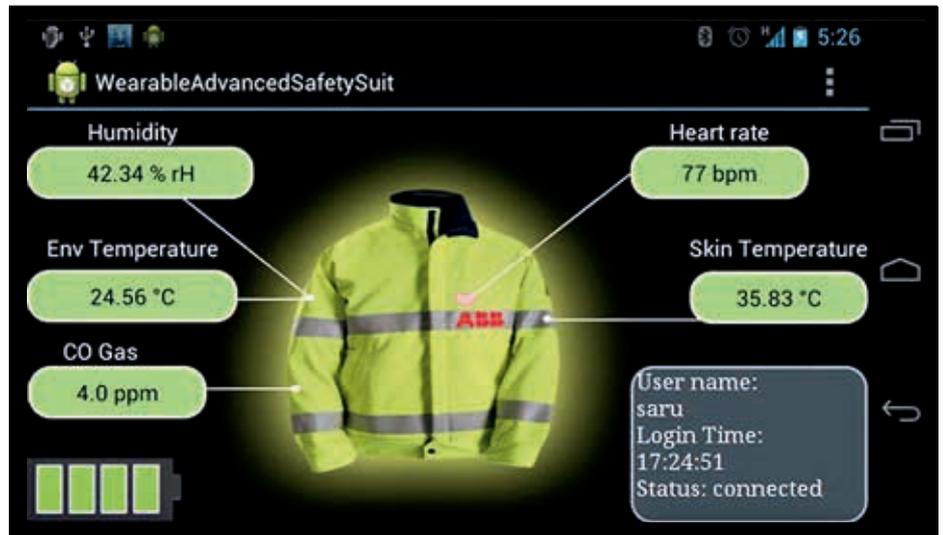
Photo ci-contre

L'industrie tire aujourd'hui parti des promesses de l'informatique « à porter » et de la réalité augmentée pour améliorer la maintenance et la sécurité du personnel.





www.abb.de



Aujourd'hui, la popularité des applis mobiles et l'essor de l'informatique nomade favorisent le développement d'applications plus abordables, qui

Dans les grands groupes opérant dans le monde entier, l'information est stockée dans une multitude de bases de données. L'outil de gestion de base installée

Les récents progrès de l'informatique nomade et de la technologie des capteurs ont ouvert la voie des applications mobiles et des objets connectés. Smartphones et tablettes, par exemple, permettent aux opérateurs de consulter, de traiter et d'échanger des informations rapidement et à moindres frais, sans rester rivés à leur poste de travail. Les capteurs sont capables d'effectuer des mesures dans un environnement particulier, puis de les transmettre à un terminal mobile pour un traitement approfondi. Ces bijoux de technologie « durcis », bardés d'instruments (capteur de luminosité, gyroscope, GPS, WiFi et accéléromètre) et doués de fonctionnalités étendues, s'avèrent très précieux pour l'industrie.

L'informatique « à porter » franchit un nouveau cap en dissimulant cette électronique embarquée et toujours connectée dans des vêtements ou autres objets du quotidien [1]. Si l'idée n'est pas vraiment nouvelle, son coût et son manque de fiabilité étaient jusqu'ici de sérieux obstacles au déploiement d'applications pratiques [2]. Une solution en vraie grandeur avec visiocasque ou lunettes stéréoscopiques de RA et interfaces gestuelles restait chère.

L'« immédiateté » de l'information est aujourd'hui cruciale dans tout environnement professionnel pour aider à résoudre les problèmes et en limiter les répercussions.

s'invitent dans l'usine pour accompagner les intervenants en leur fournissant des informations opportunes, précises et détaillées.

Accroître la performance

Une maintenance adéquate est primordiale pour garantir la bonne marche de l'usine, sans danger pour le personnel ni arrêt technique intempestif. Si dépanner et réparer sont le lot quotidien des ingénieurs de maintenance expérimentés, les interventions complexes imposent souvent des compléments d'informations à jour (produits du client, domaines d'application, historique de l'installation, procédures de maintenance, etc.) pour aider à résoudre le problème et en limiter les répercussions. Et plus vite on accède à l'information, mieux c'est ! Cette « immédiateté » est aujourd'hui un prérequis crucial dans tout environnement professionnel.

servis d'ABB en est un exemple : il garde trace de la totalité du parc ABB chez le client, y compris les spécifications techniques et les détails du projet, et s'intègre aux autres systèmes d'information du Groupe qui recensent son portefeuille de produits (ABB Product), ses effectifs (ABB People) et sa base clients.

Utiliser des équipements mobiles et littéralement portables (visiocasques, lunettes ou lentilles de RA, etc.) pour accéder à ces informations est un excellent moyen d'améliorer la prestation et l'exécution des services. Plusieurs usages industriels sont envisageables :

- Géolocalisation au sein de grands complexes : la RA superpose à une vue réelle du site des informations contextuelles sur l'équipement de production. La position de l'opérateur est donnée par le capteur GPS embarqué dans son appareil mobile, et celle de l'équipement, par un système de gestion de base installée comme ServIS ;
- Identification automatique d'équipements par codes-barres, étiquettes RFID ou puces NFC (dernière née des

La démocratisation des applications mobiles et l'essor de l'informatique nomade favorisent des développements applicatifs plus abordables pour accompagner les équipes sur le terrain avec des informations opportunes, précises et détaillées.

- de radiocommunication haute fréquence en champ proche) : les données lues sur le code-barres ou l'étiquette permettent de récupérer davantage d'informations des systèmes de traitement d'arrière-plan comme ServIS ;
- Consultation de rapports d'intervention, dessins techniques, manuels, listes de contrôle, etc. : le technicien de maintenance peut accéder au système de contrôle-commande du procédé pour visualiser en temps réel les caractéristiques des équipements tout en se déplaçant dans l'usine. Des applications de réalité augmentée
 - Suivi qualité et documentation : caméras et microphones peuvent collecter en permanence les informations (sons ou images) qui permettront d'analyser le fonctionnement de l'usine. De même, des vidéos de démonstration améliorent la qualité du travail [4,5] ;
 - Intégration transparente du personnel dans les processus de service par des solutions mobiles et portables permettant de retrouver et d'actualiser instantanément les informations sur les actifs industriels. Le personnel d'intervention peut en outre se connecter aux applications de

télédiagnostic et d'optimisation, ou aux systèmes experts hébergés par les systèmes de traitement ou dans le *cloud*.

De nouveaux outils d'aide à la maintenance, à base de composants standardisés, ont été développés par ABB pour fournir instantanément des informations cruciales sur l'environnement de travail, la santé du personnel et le procédé.

- peuvent l'assister en projetant sur la scène réelle des instructions, des informations sur l'équipement ou des consignes de sécurité [3] ;
- Connaissance de la situation : les récents changements d'environnement de travail ou les mises à jour affectant l'exécution des services peuvent être directement mis à la disposition de l'intervenant sur des équipements portables (montre-écran, par exemple) ;
- lire des informations et d'alerter (température, hygrométrie, niveau d'oxygène, gaz toxiques, nuisances sonores ou radiations) ou encore d'ausculter la personne qui le porte (rythme cardiaque ou pouls, fatigue, état de conscience, charge cognitive, stress, etc.) améliorerait la sécurité des intervenants [6]. Truffés de capteurs d'activité, des appareils portés au poignet comme la montre-bracelet connectée Basis B1 peuvent suivre en

Renforcer la sécurité

En milieu industriel, les équipes de terrain sont exposées à différents types de danger. Dans ces conditions, un appareil électronique capable de détecter, de recueil-

Le « prêt-à-porter électronique » associe terminaux mobiles et capteurs communicants invisibles pour fournir des informations précises sur l'environnement professionnel complexe.

2 Affichage des valeurs d'une cuve d'eau filmée par la micro-caméra d'une tablette.



temps réel plusieurs paramètres vitaux tels que la résistance de la peau, la pression artérielle, la température et jusqu'au niveau de stress de l'opérateur.

Ces systèmes peuvent également assister les opérations de sauvetage en signalant un danger imminent (feu, inondation, intoxication, etc.), en guidant le personnel vers les voies d'évacuation, même en l'absence de signalétique ou de marquage visible, mais aussi en aidant les

Solutions ABB

ABB propose plusieurs solutions Ventyx pour appareils mobiles :

- *Ventyx Service Suite* pour la maintenance à moindre coût des équipements ;
- *Ventyx Shift Operations Management System (eSOMS)* pour une exploitation et une maintenance sûres, efficaces et fiables ;
- *Ventyx Advanced Work Management (AWM) Mobile Inspector* pour la

collecte et le traitement des données concernant toutes les ressources physiques de production.

À cela s'ajoutent plusieurs prototypes d'appareils portables développés avec succès, comme ces capteurs cousus dans une veste à haute visibilité → 1 pilotée

Le gestionnaire de base installée *Serv/IS* s'intègre à d'autres systèmes d'information ABB qui recensent son portefeuille de produits (*ABB Product*), ses effectifs (*ABB People*) et sa base clients.

équipes de secours à localiser les personnes restées dans les lieux.

par smartphone, qui renseignent sur l'environnement de travail (concentration en monoxyde de carbone, température et hygrométrie) et sur les données physiologiques de l'opérateur (fréquence cardiaque et température de la peau). Des dispositifs de retour tactile (vibreux, par exemple), un haut-parleur et un bou-



ton d'alarme ou d'appel d'urgence complètent l'équipement. Tous ces composants sont reliés à un microcontrôleur¹ par un réseau « corporel » sans fil BAN (*Body Area Network*). Cet équipement de sécurité instrumenté peut se connecter par Bluetooth au téléphone mobile, qui exécute une application de commande pour remonter les mesures du capteur, afficher les alertes et signaler les anomalies au centre de téléconduite et/ou à la hiérarchie. Les messages correspondants indiquent les coordonnées GPS de la dernière position de l'agent de maintenance pour le localiser rapidement.

Un autre projet porta sur l'utilisation de la RA en contrôle-commande industriel. Le principe ? Une micro-caméra intégrée à l'appareil mobile filme la scène réelle ; l'ordinateur embarqué analyse l'image et lui ajoute les informations numériques nécessaires (graphiques, par exemple). Plusieurs prototypes furent ainsi réalisés, notamment pour permettre à un technicien de maintenance de visualiser les relevés temps réel d'un réservoir d'eau filmé et géolocalisé par sa tablette → 2.

Un autre prototype associa RA et capteur pour mesurer la température d'un objet. En pointant l'objet avec la caméra intégrée de l'appareil mobile, on visualise l'évolution de sa courbe de température : cet affichage de données historiques permet aux ingénieurs de rechercher l'origine des défauts et de tester l'équipement en cours de maintenance.

Un troisième prototype expérimenta la géolocalisation d'équipements industriels : pour cela, des appareils mobiles instrumentés déterminent la position du technicien d'intervention, identifient immédiatement les dispositifs à proximité et en affichent les caractéristiques → 3.

La généralisation de l'informatique nomade a donné naissance à de nouveaux outils d'aide à la maintenance. Des appareils et composants standardisés permettent de consulter et de partager instantanément des informations cruciales sur l'environnement de travail, la santé du personnel et le procédé, tout en suivant le technicien dans ses déplacements.

Markus Aleksy

ABB Corporate Research
Ladenburg (Allemagne)
markus.aleksy@de.abb.com

Elina Vartiainen

ABB Corporate Research
Västerås (Suède)
elina.vartiainen@se.abb.com

Martin Naedele

ABB Power Systems, Network Management
Baden (Suisse)
martin.naedele@ch.abb.com

Bibliographie

- [1] Kieffner, T., *Wearable Computers: An Overview* [en ligne], disponible sur : http://misnt.indstate.edu/harper/Wearable_Computers.html, consulté le 19 juin 2013.
- [2] Stanford, V., « Wearable computing goes live in industry », *IEEE Pervasive Computing*, vol. 1, n° 4, p. 14–19, 2002.
- [3] Henderson, S., Feiner, S., « Exploring the Benefits of Augmented Reality Documentation for Maintenance and Repair », *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 17, n° 10, p. 1355–1368, 2011.
- [4] Roggen, D., Tröster, G., Lukowicz, P., Ferscha, A., Del, R., Millan, J., Chavarrigiara, R., « Opportunistic Human Activity and Context Recognition », *IEEE Computer*, vol. 46, n° 2, p. 36–45, 2013.
- [5] Naya, F., *et al.*, « Workers' Routine Activity Recognition using Body Movement and Location Information », *10th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, Montreux (Suisse), 2006.
- [6] Pantelopoulos, A., Bourbakis, N. G., « A Survey on Wearable Sensor-Based Systems for Health Monitoring and Prognosis », *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part C: Applications and Reviews*, vol. 40, n° 1, p. 1–12, 2010.

Note

- ¹ Les chercheurs ont utilisé des textiles techniques pour incorporer les capteurs et le microcontrôleur à l'équipement de sécurité.



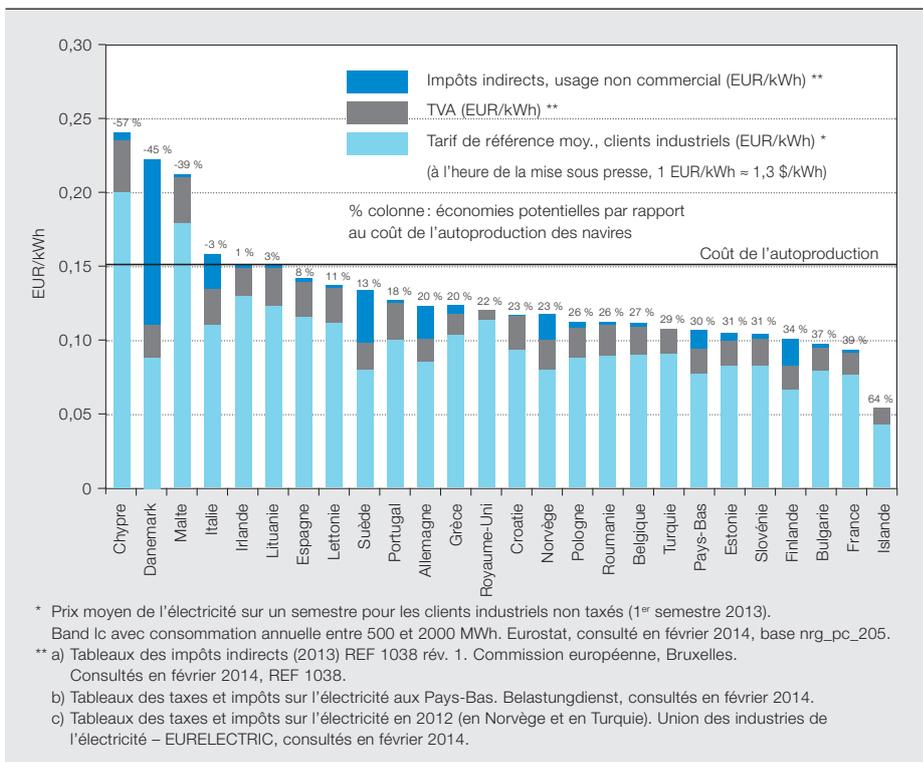
Le bon air de la mer

Des incitations fiscales pour améliorer la qualité de l'air dans les ports

PETR GURYEV – Le transport maritime est l'épine dorsale du commerce mondial et les ports de marchandises sont des leviers de développement économique régional. Pour autant, les nombreux navires de gros tonnage qui y font escale sont responsables de niveaux intolérables de pollution atmosphérique locale. Même si un navire à quai ne fait pas tourner ses hélices, ses moteurs diesel continuent généralement de fonctionner pour couvrir les besoins des équipements auxiliaires : hébergement de l'équipage, refroidissement, manutention de la cargaison, etc. Or, au lieu de brûler du fioul, le navire peut brancher son réseau

de bord au réseau électrique terrestre. La technologie de connexion bord à quai a déjà été évoquée à plusieurs reprises dans la Revue ABB¹. S'il est vrai que le marché propose différentes solutions pour réduire la pollution (colonnes de lavage des fumées, carburant propre et gaz naturel liquéfié), la connexion bord à quai est la seule technologie à réduire dans l'absolu les émissions polluantes des navires en escale. Son rythme d'adoption n'est toutefois pas exclusivement motivé par des raisons techniques et environnementales, mais aussi par la réglementation et la fiscalité.

1 Structure des prix de l'électricité en 2013 avant exonération des impôts indirects



Le durcissement, tant au niveau local que régional et national, de la législation sur les émissions des zones portuaires a permis au marché de la connexion bord à quai de passer d'une poignée de projets à plusieurs dizaines par an ces cinq dernières années. Les deux motivations prioritaires de ce marché sont :

- la baisse des rejets polluants ;
- la baisse des coûts d'exploitation car il est moins cher d'acheter l'électricité au réseau terrestre que de la produire à bord.

Pour favoriser le développement de la connexion bord à quai, les autorités ont généralement le choix entre subventionner les investissements et réduire la fiscalité indirecte sur l'électricité fournie par le réseau terrestre. Alors que l'Amérique du Nord et l'Asie privilégient les subventions, l'Europe a décidé de panacher les deux options. Plusieurs pays ont adopté ou appliquent un taux réduit de taxation pour la connexion bord à quai. Même si les médias se sont fait l'écho de telles réductions, il n'existe à ce jour aucune vision claire de leurs avantages économiques réels. La structure des prix de l'électricité en Europe et la détaxation ont eu un net impact sur le délai de récupération de la technologie dans différents pays européens.

Plusieurs pays européens ont adopté ou appliqué un taux réduit de taxation pour la connexion bord à quai.

Mi-2011, la Commission européenne autorisait l'Allemagne et la Suède à réduire leur fiscalité indirecte sur l'électricité consommée par les navires à quai. Les réductions de taux vont de 97 à 99 % pendant trois ans, avec possibilité de prolongement. En 2014, le Conseil européen prolongeait cette période de six ans (directives COM/2014/0538 et COM/2014/0497). En 2013, l'association de l'énergie danoise et l'association des ports finlandais proposaient également une détaxation à leurs pouvoirs publics. Le 14 mai 2014, le parlement danois votait une réduction de plus de 99 % (loi L 171). La Finlande n'a pas encore décidé.

La structure actuelle des prix de l'électricité avec plusieurs tarifs, la taxe sur la valeur ajoutée (TVA) et les droits indirects (écotaxes comprises), mais sans détaxation pour la connexion bord à quai, est illustrée en → 1. Le tableau indique également les économies potentielles par rapport à la production d'électricité par les navires eux-mêmes (autoproduction) à partir de diesel MDO (*Marine Diesel Oil*) et de gazole MGO (*Marine Gasoline Oil*)².

Les pays étudiés se classent en deux grands groupes : ceux dont le prix total de l'électricité fournie par le réseau terrestre est supérieur à celui de l'auto-

Photo p. 76

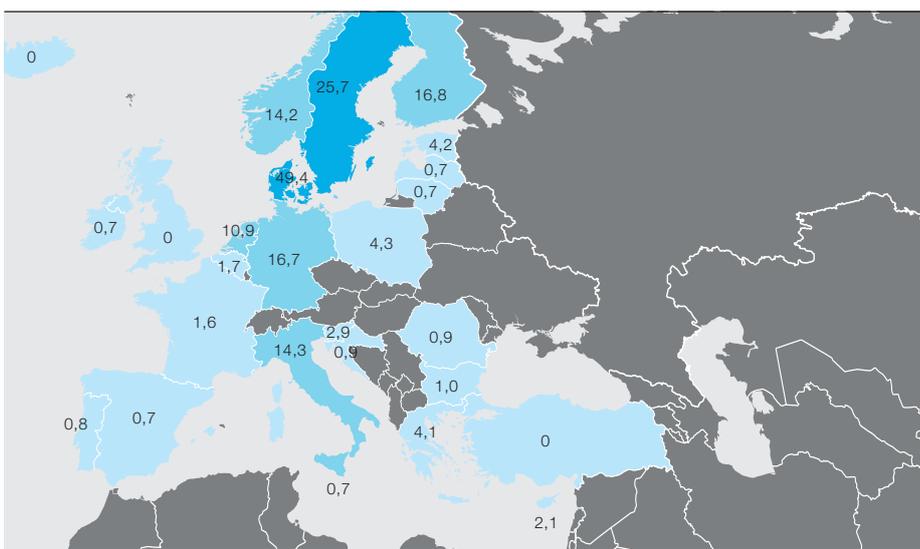
Vue du port suédois d'Ystad. La Suède est l'un des pays à avoir décidé de réduire les taxes afin d'encourager la connexion bord à quai.

Notes

- 1 Marquart, K., « Prise de terre », *Revue ABB*, 2/10, p. 82–83
Marquart, K., *et al.*, « Branchement électrique des navires à quai », *Revue ABB*, 4/10, p. 56–60
Thurm, L., *et al.*, « Manœuvre d'appareillage », *Revue ABB*, 1/11, p. 36–40.
- 2 Fiouls marins consommés par les navires en escale. Le prix de l'électricité produite par les navires est calculé par ABB en utilisant un prix MDO/MGO de 950 \$/MT et une consommation de fioul de 210 g/kWh (taux de change EUR/USD = 1,2982).

C'est au Danemark et en Suède que la part de la fiscalité indirecte sur le prix de l'électricité est la plus élevée, suivis de la Finlande, de l'Allemagne, de l'Italie et de la Norvège.

2 Part de la fiscalité indirecte sur le prix global de l'électricité et effets de la réduction sur les économies potentielles



production des navires, et ceux dont il est inférieur. Même si l'analyse de rentabilité pour les pays du premier groupe est défavorable (sauf si un tarif de référence plus bas est octroyé comme, par exemple, pour le projet vénitien de port pour navires de croisière), cela ne signifie nullement que l'alimentation électrique des navires à quai par le réseau est sans intérêt. Rappelons en effet que son principal avantage demeure la réduction des émissions polluantes et que les projets se poursuivront tant que d'importantes subventions seront accordées pour les investissements d'infrastructure (projet du port de Livourne en Italie, par exemple). Chypre, le Danemark, Malte et l'Italie font partie de ce groupe.

Pays	Part de la fiscalité indirecte sur le prix de l'électricité (%)	Application des réductions de droits indirects	Économies potentielles			
			Avant réduction (%)	Après réduction* (%)	Delta (%)	Croissance relative des économies potentielles* (%)
Danemark	49,4	Adoptée par le parlement	-45	26	71	273
Suède	25,7	Adoptée et prolongée	13	35	22	63
Finlande	16,8	Proposition rédigée	34	45	11	24
Allemagne	16,7	Adoptée et prolongée	20	33	13	39
Italie	14,3	NC	-3	12	15	125
Norvège	14,2		23	34	11	32
Pays-Bas	10,9		30	38	8	21
Pologne	4,3		26	29	3	10
Estonie	4,2		31	34	3	9
Grèce	4,1		20	24	4	17

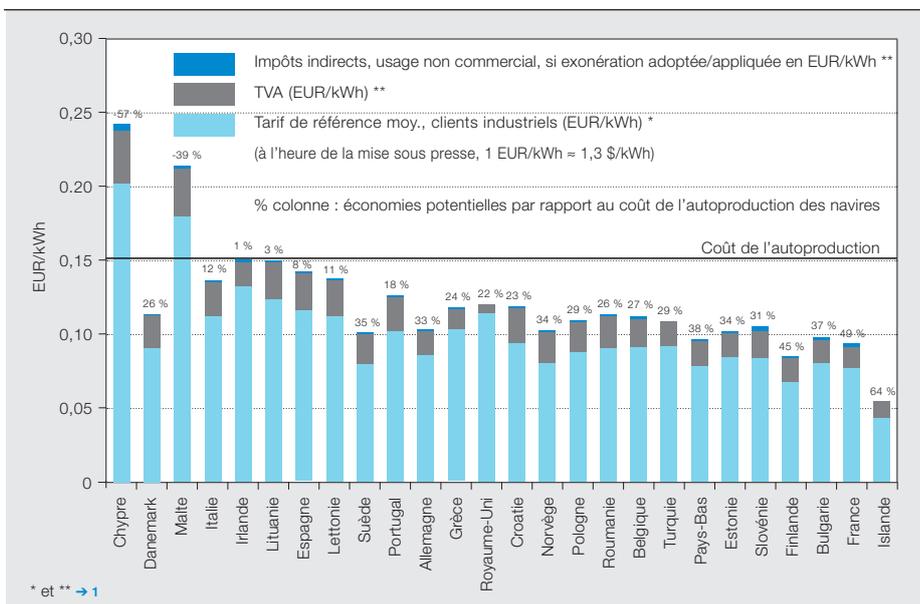
*) Suivant adoption/proposition en cours ou 99 % de réduction

C'est au Danemark et en Suède que la part de la fiscalité indirecte sur le prix de l'électricité est la plus élevée, suivis de la Finlande, de l'Allemagne, de l'Italie et de la Norvège. Elle est modérée aux Pays-Bas et faible en Pologne, en Estonie et en Grèce. Dans les autres pays étudiés, elle se situe entre 0 et 2,9%. Le Danemark, la Suède, la Finlande et l'Allemagne ont déjà reçu l'autorisation de réduire le taux des droits indirects ou l'ont demandée. Les dix pays avec la part la plus importante sont repris dans le tableau → 2 où figure également l'impact de la réduction sur les économies potentielles comparées au coût de l'autoproduction des navires³.

Note

3 En plus de la détaxation de la connexion bord à quai en Suède et en Allemagne, la loi adoptée par le parlement danois prévoit de réduire sa fiscalité à 0,004 DKK/kWh (soit également 99 %) alors que l'association des ports finlandais ne précise aucun chiffre.

3 Structure des prix de l'électricité en 2013 avec détaxation adoptée, proposée ou envisagée de la connexion bord à quai dans les 10 pays étudiés



* et ** → 1

4a Réduction du délai de récupération (DR) :

$$\text{Réduction DR} = \frac{\text{DR 1} - \text{DR 2}}{\text{DR 1}} \cdot 100 \%$$

4b Modèle d'expression du délai de récupération simplifié (non actualisé) utilisé en → 4a.

$$\text{DR en années} = \frac{\text{CAPEX [EUR]}}{\left(\text{coût autoproduction} \left[\frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} \right] - \text{prix élect.} \left[\frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} \right] \right) \cdot \text{consommation annuelle}}$$

4c Réduction du délai de récupération de la connexion bord à quai après baisse des droits indirects :

$$\text{Réduction DR} = \frac{\text{Eco.pot. 2} - \text{Eco.pot. 1}}{\text{Eco.pot. 2}} \cdot 100 \% = \text{croissance relative des économies potentielles (\%)}$$

Avec Eco.pot.1 = économies potentielles sans détaxation en vigueur
Eco.pot.2 = économies potentielles avec détaxation en vigueur

La plupart des pays européens bénéficie de prix de l'électricité attractifs qui autorisent de 1 à 30 % d'économies par rapport à l'autoproduction des navires.

Effet incitatif

La plupart des pays européens dispose de prix de l'électricité attractifs qui autorisent de 1 à 30 % d'économies par rapport à l'autoproduction des navires. La détaxation de l'électricité fournie par le réseau est un instrument intéressant pour les pays où la fiscalité indirecte représente un pourcentage élevé du prix total. Plus le potentiel d'économies initial par rapport au prix de l'autoproduction est faible, plus l'impact de la détaxation sur le délai de récupération est élevé. La Suède et l'Allemagne ont déjà adopté de telles mesures et, par un récent vote, le Danemark a décidé de suivre le mouvement ; la Finlande prépare actuellement un avant-projet dans ce sens.

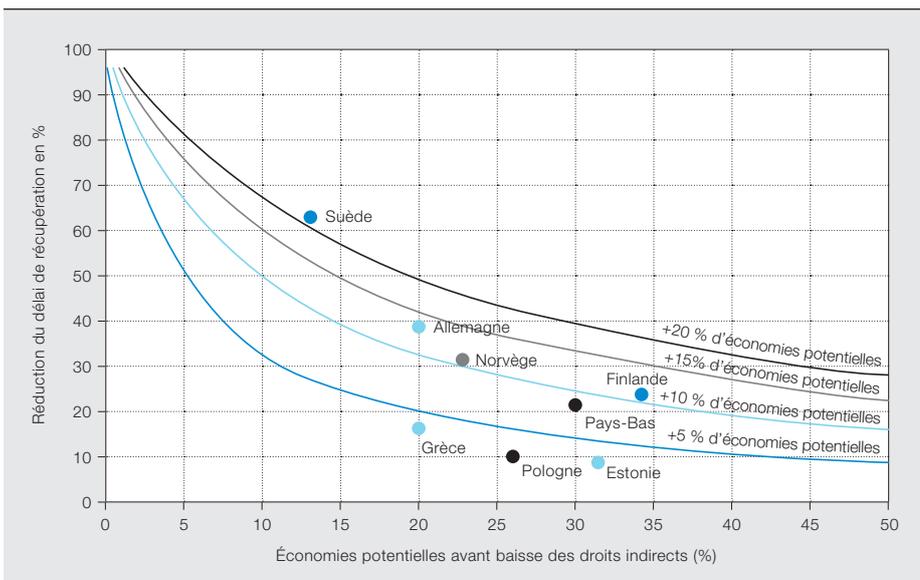
La mise en œuvre de telles exonérations dans les dix pays européens comptant la plus grosse part de droits indirects dans le prix total de l'électricité permettrait d'améliorer l'analyse de rentabilité de 10 à 60 % selon le prix total initial de l'électricité et la part de la fiscalité indirecte. Le Conseil devrait donc accorder son autorisation au Danemark, alors que la Finlande, l'Italie, la Norvège, les Pays-Bas, la Pologne, la Grèce et l'Estonie devraient commencer par adopter un taux réduit au niveau national.

Petr Guryev

Ancien collaborateur ABB Smart Grids
petr.guryev@gmail.com

Pour aller plus loin : shore-to-ship@ch.abb.com

5 La réduction du délai de récupération pour la connexion bord à quai dépend des économies potentielles initiales et leur évolution après baisse des droits indirects.



Le graphique → 3 montre l'impact d'une détaxation de 99 % sur les économies potentielles comparées au coût de l'autoproduction pour les sept premiers pays énumérés en → 2, en plus de celle déjà autorisée par la Suède, l'Allemagne et le Danemark.

Pour en mesurer l'incidence sur l'analyse de rentabilité, le délai de récupération a été analysé. Sa réduction peut être calculée avec la formule → 4a et sa valeur estimée au moyen du modèle simplifié (non actualisé) → 4b.

La formule finale de calcul de la réduction du délai de récupération pour la connexion bord à quai après la baisse des droits indirects est donnée en → 4c.

Les courbes du graphique → 5 illustrent cette réduction. Le Danemark et l'Italie n'y figurent pas car les économies potentielles avant détaxation sont négatives. Ce graphique permet également de mesurer l'impact sur le délai de récupération d'autres composantes du prix de l'électricité (tarif de référence et TVA).

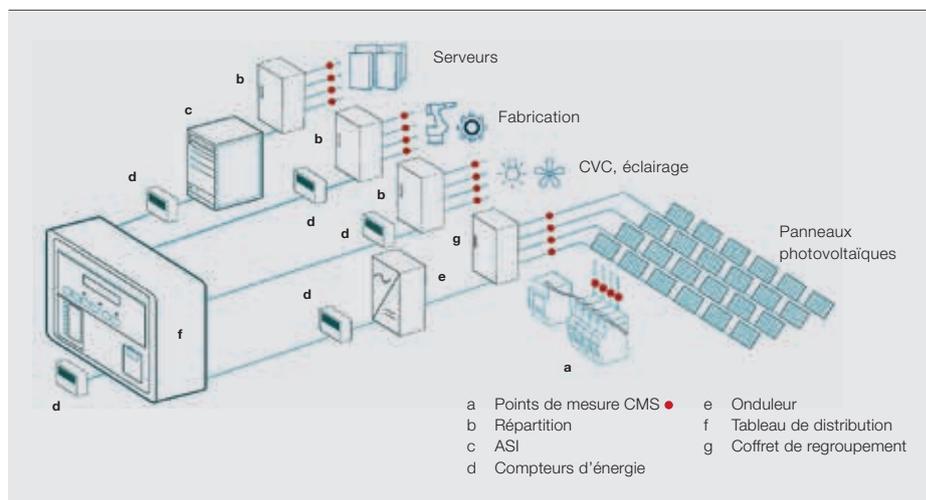


Compte courant

Les capteurs de courant dialoguent sur Modbus

PAWEŁ LUDOWSKI, HARM DEROO, FILIPPO APUZZO, ROLAND PRÜGEL – Les entreprises du tertiaire et de l'industrie, dont les infrastructures et équipements dépendent beaucoup de la fiabilité des systèmes électriques, sont de plus en plus poussées à améliorer leur efficacité énergétique, tant pour des raisons économiques qu'écologiques. S'il est relativement facile de surveiller la consommation d'énergie ou de courant au sommet de la hiérarchie, il est plus difficile d'en obtenir un relevé transparent à proximité des charges. Qui plus est, les systèmes du commerce qui affichent cette ambition ne satisfont que ponctuellement au cahier des charges ABB. D'où l'intérêt d'une approche radicalement nouvelle avec le système de mesure de courant CMS (*Current Measurement System*) d'ABB et ses capteurs reliés par Modbus.

1 Exemple d'installation électrique surveillée par CMS



Le système CMS d'ABB consiste en plusieurs capteurs de courant raccordés par bus série à une unité de commande et communiquant sous un protocole ABB, spécialement développé pour un précédent projet. Lancé en 2009, CMS est le fruit d'une étroite coopération avec des partenaires externes.

Capable de détecter les défaillances potentielles mais aussi d'anticiper les surcharges et les risques consécutifs de déclenchement des disjoncteurs, ce nouveau système de mesure du courant révolutionne le suivi d'état des coffrets de distribution électrique *PDU* (*Power Distribution Unit*) et de leur ramification → 1.

Communication

CMS doit sa richesse fonctionnelle à son protocole de transmission inspiré de Modbus, bus série très répandu dans l'industrie. Celui-ci régit la communication externe entre unité de commande et périphériques, mais aussi les échanges

internes entre unité de commande et capteurs de courant, ainsi que l'adressage des abonnés au bus et la gestion des capteurs. L'expérience acquise lors d'un précédent projet a permis à ABB et à ses partenaires de spécifier les moindres détails du protocole : couche physique, format de transmission, etc.

Un câble plat quatre fils (deux pour l'alimentation des capteurs de courant, deux pour la transmission des données) relie l'unité de commande CMS aux capteurs. Une interface série RS 485 assure la liaison avec les équipements externes → 2.

Le protocole Modbus gère le dialogue entre l'unique maître du bus (commande) et jusqu'à 247 esclaves (capteurs).

La communication est toujours à l'initiative du maître, en semi-duplex ; autrement dit, il ne peut y avoir sur la ligne qu'un seul équipement en train d'émettre. Les esclaves Modbus sont interrogés par le maître selon deux modes : en point à point, le maître s'adresse à chaque esclave qui traite sa demande et lui renvoie une réponse ; en diffusion générale, le maître dialogue avec l'ensemble des esclaves, sans attente de réponse.

La taille maximale d'une trame Modbus *RTU* (*Remote Terminal Unit*) est de 256 octets consécutifs. Si un silence de plus de 1,5 caractère intervient en cours de transmission, le message est déclaré incomplet et rejeté par le destinataire. La détection de fin de trame est réalisée sur un silence supérieur ou égal à 3,5 caractères.

Les adresses et données Modbus utilisent une représentation « *big endian* » : lorsqu'une grandeur numérique supérieure à 1 octet (8 bits) est transmise, c'est l'octet de poids fort qui est expédié en premier. Exemple : la valeur hexadécimale *1A3B* codée sur 2 octets (16 bits) est transmise sous la forme de 2 valeurs hexa de 8 bits, d'abord *1A*, puis *3B*.

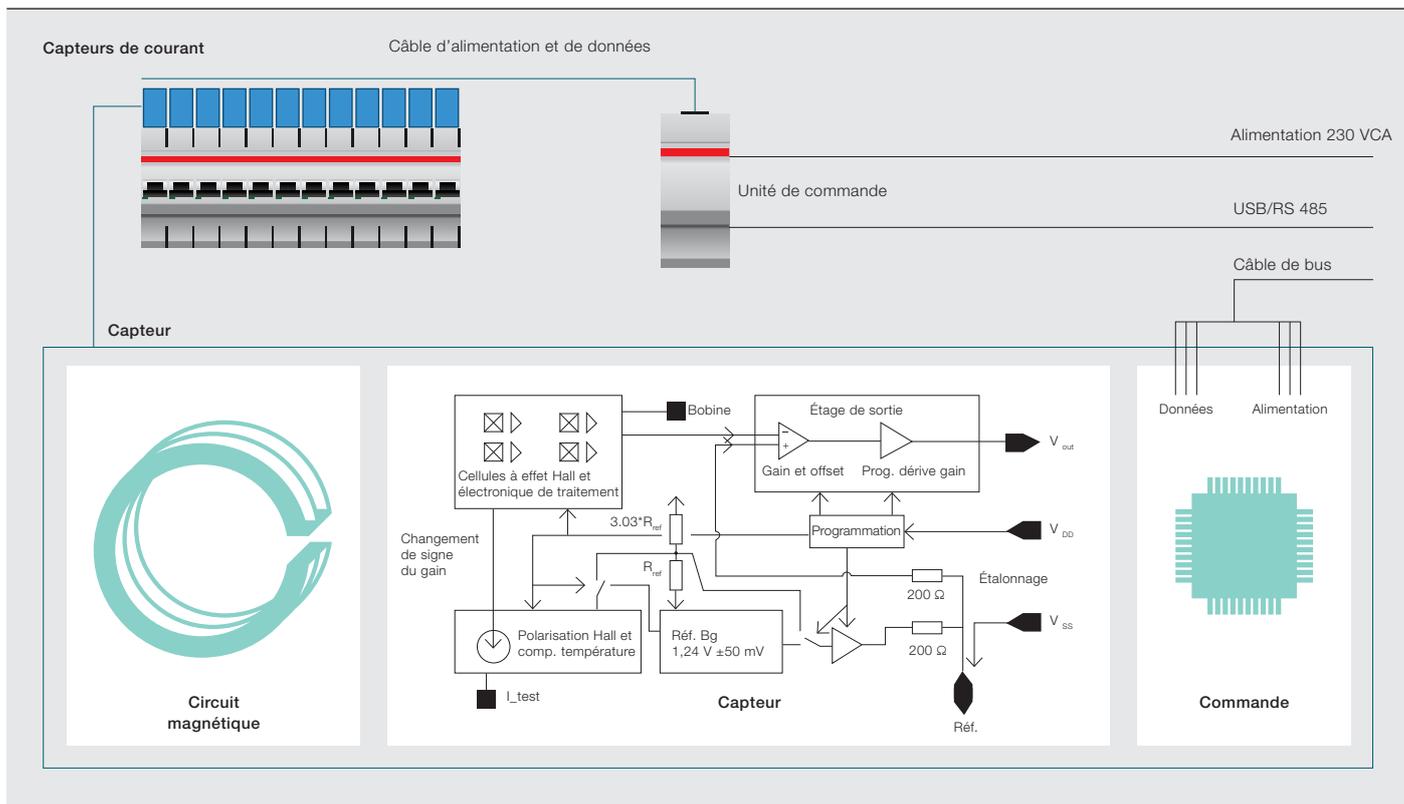
Les esclaves Modbus contiennent des tables de données accessibles en lecture/écriture, dont quatre tables primaires : entrées tout ou rien (lecture seule),

Le système CMS « révolutionnaire » le suivi d'état des coffrets de distribution électrique PDU et de leur ramification.

bobines (lecture/écriture), registres d'entrée (lecture seule) et registres de maintien (lecture/écriture). Une bobine est une variable booléenne de type bit ; un registre, une variable entière de type mot.

Photo ci-contre

Comment le protocole de dialogue Modbus RTU d'ABB améliore-t-il la mesure de la consommation électrique des équipements industriels ?



CMS permet de déceler les défaillances potentielles mais aussi d'anticiper les surcharges et les risques consécutifs de déclenchement des disjoncteurs.

L'accès à ces bits/mots se fait par l'intermédiaire de trois catégories de codes de fonction indiquant le type d'action demandée : publics (validés par l'organisation MODBUS-IDA), paramétrables par l'utilisateur et réservés. Dans CMS, les registres sont toujours des mots de 16 bits. Si le protocole Modbus définit une zone mémoire pour les registres d'entrée et les registres de maintien, le capteur de courant CMS ne prend en charge que ces derniers.

les capteurs ont l'adresse logique 247 ; à l'installation, chacun doit donc recevoir une adresse Modbus propre. Un capteur CMS n'ayant pas de commutateur d'adressage, c'est une procédure de configuration logicielle, basée sur des services spécifiques de Modbus en mode diffusion générale, qui s'en charge. Le plus souvent, le maître diffuse à tous les esclaves une requête spécifique contenant l'identifiant unique du capteur sur le bus série (SID) et sa

Les fonctionnalités CMS s'articulent autour d'un protocole encadrant les communications internes et externes, ainsi que l'adressage et la gestion des capteurs.

Le protocole Modbus RTU utilisé dans CMS est enrichi de quelques fonctionnalités supplémentaires qui initialisent le réseau en attribuant des adresses Modbus (identifiants) aux capteurs et en les liant aux registres appropriés dans l'unité de commande. Par défaut, tous

la nouvelle adresse Modbus. Tous les abonnés au bus sont ainsi informés de l'identifiant attribué à tel ou tel autre équipement. Pour éviter les conflits, chaque abonné recevant une trame d'adressage doit comparer son SID à celui du destinataire de la requête :

s'il y a concordance, il change d'adresse ; sinon, il l'ignore.

Standardisé et reconnu dans le monde entier, ce protocole ouvre au système CMS un large éventail d'applications clientes tout en lui procurant une grande

3 Le système CMS offre une multitude d'avantages aux industriels.



souplesse de personnalisation et d'extension multiconstructeurs.

Le protocole a été entièrement documenté en 2010. L'année suivante, le système CMS entamait la phase de développement produit. Fin 2011, les premiers prototypes d'unité de commande et de capteurs voyaient le jour, donnant le coup d'envoi à une étude poussée du microprogramme applicatif (*firmware*).

Essais et mise en production

CMS bénéficia d'un logiciel de test dédié, écrit pour l'occasion en langage Perl. Ce nouveau module de programmation, qui prend en charge le protocole Modbus RTU étendu d'ABB pour CMS, se compose d'un jeu de fonctions visant à accélérer et à faciliter la création d'un scénario de test aussi bien pour l'unité de commande que les capteurs de courant. Sont ainsi testés la totalité des registres et les services Modbus spécifiques au CMS.

Il inclut également des fonctions de configuration qui permettent de paramétrer aisément le système CMS aux fins de test. Un fichier journal enregistre les informations sur toutes les opérations effectuées par le logiciel de même que les échanges de trames Modbus avec CMS. Pour faciliter la tâche, les données système sont stockées au format XML.

Avantages CMS

La première version de production de CMS fut lancée mi-2012, lors du salon

4 Applications phares

Datacenters

Leur voracité énergétique en fait les candidats tout désignés aux économies d'énergie, même minimales. Si leur consommation est bien connue des gestionnaires du site, elle est difficilement vérifiable au pied des machines. Or c'est là que l'efficacité énergétique peut être mise à profit.

Le système CMS vient à point : couplé à un automate programmable AC500 et à un compteur d'énergie, il participe à la « transparence » énergétique dont ont besoin ces installations pour fonctionner en continu.

Plusieurs projets CMS sont en cours, suscitant l'intérêt croissant du secteur.

Hôpitaux

Une panne d'électricité peut y avoir des conséquences dramatiques : la continuité de la fourniture est tout simplement vitale.

Le système CMS est associé aux appareils de protection basse tension SMISLINE TP d'ABB pour surveiller le courant dans chaque ramification du circuit électrique et détecter la moindre anomalie de paramétrage avant même qu'elle ne pose problème.

ABB a ainsi aidé à fiabiliser un grand nombre d'établissements de santé.

Light + Building de Francfort : une excellente occasion de mettre en avant la compacité, la technologie, la qualité de mesure, la facilité d'utilisation et la flexibilité de cette innovation ABB.

La solution ouvre une multitude de possibilités de suivi de la consommation électrique dans nombre d'applications industrielles → 3-4. Au-delà de la mesure de courant, d'autres utilisations innovantes sont à l'étude.

Les transmissions obéissent au protocole Modbus, bien connu des industriels.

Paweł Ludowski

ABB Corporate Research
Cracovie (Pologne)
pawel.ludowski@pl.abb.com

Harm deRoo

Filippo Apuzzo

Roland Prügel

ABB Low Voltage Products
Schaffhausen (Suisse)
harm.deroo@ch.abb.com
filippo.apuzzo@ch.abb.com
roland-heinrich.pruegel@ch.abb.com



D'une génération à l'autre

60 ans de progrès dans les semi-conducteurs ABB

CHRISTOPH HOLTMANN, SVEN KLAKA, MUNAF RAHIMO, ANDREAS MOGLESTUE – L'évolution de l'Homme doit beaucoup à l'innovation technologique. À chaque époque, sa « révolution » : au XV^e siècle, les progrès de la navigation maritime tracent les premières routes commerciales entre continents ; aux XVIII^e et XIX^e, le génie mécanique jette les bases de l'industrialisation. Ces dernières décennies ont connu des évolutions tout aussi impressionnantes, grâce aux avancées de l'informatique et des télécoms, mais aussi, plus discrètement, des semi-conducteurs : de la simple recharge de téléphones mobiles au transport d'électricité sur des milliers de kilomètres, l'électronique de puissance est partout. Au cours des 60 dernières années, ABB a joué un rôle central dans le développement et le déploiement des semi-conducteurs de puissance.



Les sociétés à l'origine d'ABB, ASEA et BBC, se lancent dans les semi-conducteurs au début des années 1950.

Tout comme il existait de grands navires avant qu'Henri le Navigateur ne s'illustre en mécène des expéditions maritimes, et des machines à vapeur avant que James Watt n'en améliore le fonctionnement, les fondements de l'électronique de puissance sont bien antérieurs à l'avènement des semi-conducteurs. Les premiers calculateurs n'utilisaient-ils pas déjà des relais, les équipements radio des tubes, et les convertisseurs de puissance des valves à vapeur de mercure¹ ou des interrupteurs mécaniques ? Du reste, les topologies de circuit de l'époque n'étaient pas très différentes de celles d'aujourd'hui. Mais c'est en conciliant encombrement réduit, fiabilité, moindres pertes, faibles coûts et simplicité d'usage que les semi-conducteurs ont ouvert de nouveaux horizons applicatifs et hissé la technologie à des niveaux de performance et de complexité défiant l'imagination.

Photo

Thyristors BBC de 300 V/800 A (début des années 1970)

Au commencement...

Comme son nom l'indique, un semi-conducteur possède des caractéristiques électriques intermédiaires entre celles des métaux et des isolants : c'est un « isolant imparfait » qui peut devenir conducteur en présence d'impuretés, de champs électriques, d'agitation thermique, de lumière, etc. Si nombre de ces phénomènes sont connus au XIX^e siècle → 1, il faut attendre le début des années 1930 pour que l'on en donne une explication à l'aide de la théorie des bandes d'énergie, inspirée de la physique quantique.

En électronique de puissance, les propriétés des semi-conducteurs permettent de créer des dispositifs capables d'alterner « état passant » (conduction de forts courants électriques à la plus faible tension) et « état bloqué » (blocage d'une tension maximale avec un courant de fuite minimal), et ce le plus vite possible. La présence simultanée d'une tension et d'un courant non nuls entraîne des pertes dans le dispositif, qui se traduisent non seulement par une déperdi-

tion d'énergie mais aussi des risques de dégradation thermique.

La diode

La diode est le plus élémentaire des composants de puissance. En laissant passer le courant dans un seul sens, de l'anode à la cathode, ce dipôle redresse le courant alternatif (CA) en courant continu (CC).

C'est au début des années 1950 que les sociétés à l'origine d'ABB, le Suédois ASEA à Ludvika et le Suisse BBC à Baden, commencent à développer des semi-conducteurs. BBC crée sa première diode semi-conductrice au germanium en 1954 → 2 qu'il commercialise en 1956 (100 V/100 A) pour des applications de redressement dans l'électrolyse. Le germanium a néanmoins deux grands défauts : son extrême sensibilité à la

Note

1 Cf. « Cent ans de plénitude : des valves à vapeur de mercure au disjoncteur hybride », Moglestue, A., *ABB review*, 2/13, p. 70-78.

Bons redresseurs, les thyristors surpassent les diodes par leur capacité à commander l'angle de phase et donc à réguler le flux de puissance.

1 Aux origines des semi-conducteurs

1787	Lavoisier pressent l'existence du silicium.
1824	Le chimiste suédois Jöns Jacob Berzelius isole le silicium pur.
1833	Faraday observe que la résistance électrique du sulfate d'argent possède un coefficient de température négatif, contrairement à celui des métaux, qui croît avec la température.
1839	Becquerel observe l'effet photovoltaïque.
1874	Le physicien allemand Ferdinand Braun découvre l'effet redresseur des sulfures métalliques.
1886	L'Allemand Clemens Winkler isole un élément qu'il baptise de son pays d'origine : le germanium.
1897	Joseph Thomson met en évidence l'électron.
1906	Jagadish C. Bose et Greenleaf W. Pickard développent un détecteur en cristal de silicium, constitué d'un mince fil métallique en contact avec un point sensible d'un minéral de cristal produisant l'effet semi-conducteur. Cette diode à pointe sert de redresseur pour la réception radio.
1907	Henry Joseph Round invente la diode électroluminescente.
Années 1920	Les premiers redresseurs à diode destinés à des applications de faible puissance sont commercialisés.
1926	Le physicien allemand Julius Edgar Lilienfeld pose le principe du transistor à effet de champ.
1932	Alan Herries Wilson explique la théorie des bandes d'énergie.
1939	Russell Ohl découvre la jonction p-n.
1947	William Shockley, John Bardeen et Walter Brattain sont parmi les premiers à mettre au point le transistor aux laboratoires Bell.
1950	William Shockley décrit le principe du thyristor, produit en 1956, puis commercialisé en 1958 par General Electric (en 1960 pour BBC).
1954	BBC et ASEA se lancent, chacun de leur côté, dans les semi-conducteurs de puissance.

température et sa tension de blocage limitée; il est vite détrôné par le silicium.

Le thyristor

Pour aller au-delà de la simple fonction de redresseur, il fallait un dispositif commutable en tout point de l'onde de courant. Le thyristor, dont on doit le principe à William Shockley en 1950, est un « redresseur commandé » : ce semi-conducteur voisin de la diode possède deux électrodes (anode et cathode) et un contact auxiliaire de commande, la « gâchette ». L'injection de courant dans la gâchette le rend conducteur, en présence d'une tension positive entre l'anode et la cathode. Une fois l'amorçage provoqué, ce courant de gâchette peut disparaître; le thyristor reste conducteur

2 Première diode au germanium BBC



tant que le courant ne descend pas en-dessous d'une valeur de seuil, habituellement au passage par zéro du courant. L'extinction ne peut pas être arbitrairement déclenchée, sauf à utiliser des circuits auxiliaires pour forcer le passage par le zéro de courant.

Cet inconvénient mis à part, le thyristor est un bon convertisseur CC-CA (« onduleur ») lorsque le réseau récepteur est capable de forcer la commutation, grâce à une production locale d'énergie, par exemple. Il se prête également au redressement par sa capacité à commander l'angle de phase – un avantage sur la diode – et donc à réguler le flux de puissance. Le premier thyristor BBC date de 1961 → 3.

Embarquement réussi

Une première application réussie des diodes à semi-conducteur en traction électrique est la locomotive Re 4/4 (4980 kW), qui équipe les chemins de fer suisses BLS (*Bern Lötschberg Simplon*) à partir de 1964 → 4. Cette machine fonctionne toujours, avec ses circuits d'origine.

Faute de pouvoir commander directement un redresseur à pont de diodes, la traction est alors pilotée par un régulateur de prises sur le transformateur. Le progrès s'accélérateur, ASEA commence dès 1967 à produire des locomotives Rc à thyristors (3600 kW) pour l'entreprise ferroviaire suédoise SJ (*Statens Järnvägar*) → 5; beaucoup roulent encore aujourd'hui.

3 Premiers thyristors à tige BBC de 1,2 kV/100 A (1961)



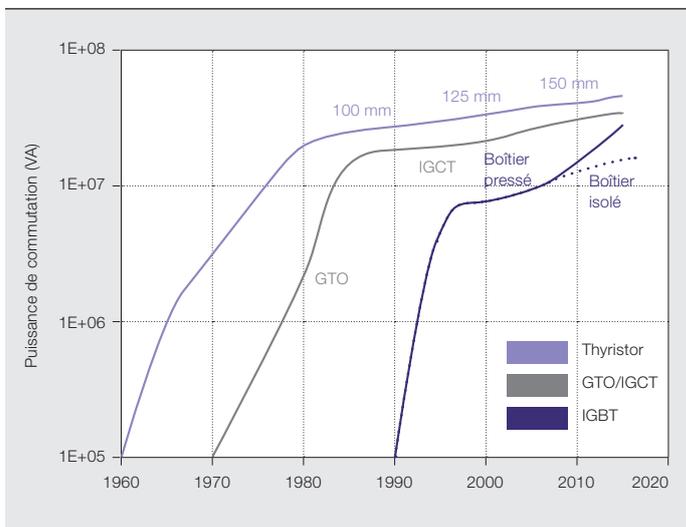
4 La locomotive Re 4/4 des chemins de fer suisses BLS embarque des diodes BBC (1964).



5 La locomotive Rc des chemins de fer suédois SJ utilise des thyristors ASEA (1967).



6 Évolution de la puissance de commutation



Une première application réussie des diodes à semi-conducteur en traction électrique est la locomotive Re 4/4 (4980 kW), qui équipe les chemins de fer suisses BLS à partir de 1964.

Perfectionnements

De 1960 à 1980, les tensions de blocage et la puissance par composant augmentent presque linéairement → 6,7. En 1976, BBC est en Europe le précurseur d'une autre méthode de dopage que la diffusion ou l'implantation ionique, la transmutation neutronique : dans un réacteur nucléaire, des neutrons sont irradiés dans le silicium, convertissant certains atomes du matériau en phosphore. Le dopage gagne ainsi en homogénéité ; les tensions de blocage atteignent 4 kV.

Les premiers semi-conducteurs BBC sont fabriqués à Ennetbaden (Suisse). En 1969, BBC acquiert Sécheron et cherche à rapprocher les activités de production des deux entreprises ; hélas, son projet de construction d'une usine commune sur le site de Sécheron à Gland (Suisse) capote. Entre-temps, une

autre installation ultramoderne voit le jour à Lampertheim (Allemagne), qui concentrera l'année suivante toute la fabrication. Pour autant, certaines activités d'Ennetbaden sont transférées à Birr (Suisse), en particulier le développement et la présérie mais aussi une petite partie de la production.

Courant continu à haute tension

À l'époque des redresseurs à vapeur de mercure, les valves à haute tension de blocage d'ASEA en font le leader incontesté du transport électrique en courant continu haute tension (CCHT). L'entreprise sait pourtant que l'avenir appartient aux semi-conducteurs. Pour preuve, la première liaison CCHT entre l'île suédoise de Gotland et la côte, mise en service en 1954, est complétée en 1967 d'une valve à semi-conducteur expérimentale. C'est aussi là qu'est déployée,

1954	Premiers développements des semi-conducteurs ASEA à Ludvika (Suède) et BBC à Baden (Suisse)
1956	Lancement de la diode BBC (100 V/100 A) Premier thyristor BBC de 1,2 kV/100 A
1961	Diodes de 650 V/200 A
1969	Inauguration de l'usine BBC de Lampertheim (Allemagne)
1970	Thyristors de 3 kV/800 A
1976	Mise au point par BBC du dopage par transmutation neutronique
1977	Inauguration de l'usine BBC de Lenzbourg (Suisse)
1980	Thyristors de 5 kV/2 kA
1988	Fusion d'ASEA et de BBC en ABB
1990	Vente de Lampertheim à IXYS
1991	Regroupement des activités ABB Semiconductors à Lenzbourg
1992	Premier IGBT de 4,5 kV/600 A
1995	Premiers exemplaires d'IGCT de 4,5 kV/3 kA Thyristors GTO et diodes de 4,5 kV/4 kA
1996	IGBT de 3,3 kV/1,2 kA pour la traction électrique Lancement du thyristor à commande bidirectionnelle BCT (<i>Bidirectional Controlled Thyristor</i>)
1997	Lancement d'une offre ABB complète d'IGCT de 500 kW à 9 MW IGBT de 4,5 kV/1,2 kA à radiateur intégré pour la traction électrique IGBT de 2,5 kV/700 A pour HVDC Light®
1998	Fabrication de tranches IGBT de 5 pouces (125 mm) à Lenzbourg
2000	IGBT de 2,5 kV en boîtier pressé StakPak pour HVDC Light
2001	Lancement de la plate-forme IGBT à technologie SPT (<i>Soft Punch-Through</i>) à tranches minces de 1,2 kV à 1,7 kV
2003	Plate-forme IGBT/diode SPT à haute tension avec aire de sécurité record IGBT en boîtier moulé HiPak de 2,5 kV à 3,3 kV
2005	Fabrication de tranches IGBT de 6 pouces (150 mm) à Lenzbourg Plate-forme IGBT SPT haute tension en boîtier moulé HiPak de 3,3 kV à 6,5 kV
2006	Plate-forme IGBT SPT+ à faibles pertes de 1,2 kV à 6,5 kV
2007	Plate-forme IGCT HPT (<i>High-Power Technology</i>) pour les fortes puissances Thyristors de 8,5 kV/8 kA
2009	Lancement du transistor bimode à grille isolée BIGT (<i>Bimode Insulated Gate Transistor</i>) haute tension Extension de capacité à Lenzbourg et acquisition de Polovodice
2010	IGBT de 4,5 kV en boîtier pressé StakPak pour HVDC Light Présentation de la technologie IGCT à 10 kV
2011	Démonstration de la technologie BIGT pour disjoncteur CCHT
2013	Inauguration à Baden-Dättwil d'un labo spécialisé dans les matériaux à large bande interdite Lancement de la technologie BGCT (IGCT + diode à conduction inverse sur la même tranche)
2014	Premiers IGBT à tranchées Rétrospective de 60 ans de semi-conducteurs ABB



en 1970, la première application commerciale² des semi-conducteurs destinés au CCHT.

Cette innovation de rupture s'ouvre à la concurrence. En 1977, BBC s'associe à Siemens et AEG pour réaliser la liaison de Cahora Bassa (1450 km/1920 MW) au Mozambique → 8, suivie en 1978 du projet Nelson River (940 km/900 MW, en 1985) au Canada. La fabrication des thyristors est alors répartie équitablement entre les trois partenaires et la part BBC dévolue à Birr (le site de Lampertheim n'étant pas équipé pour cela) avant d'être transférée dans la nouvelle usine suisse de Lenzbourg, en 1979.

ASEA riposte en intensifiant ses activités de développement de thyristors pour conforter son leadership sur le marché des valves CCHT. En 1984, l'entreprise établit des records de puissance (6300 MW/500 kV) avec la liaison Itaipu-São Paulo (Brésil), longue de 780 km.

Le thyristor GTO

Le thyristor a un gros défaut : il a besoin d'un circuit auxiliaire pour aider la commutation quand le réseau CA récepteur est faible ou pour effectuer une conversion CC-CC. Le thyristor blocable par la gâchette *GTO* (*Gate Turn-Off*) y remédie. Commandable également à l'extinction

par un signal de gâchette de polarité inverse à celle nécessaire à l'amorçage, ce thyristor s'est fait une place de choix dans le domaine de la commande de moteurs. Pourtant, si le composant existe depuis le début des années 1960, BBC et ASEA tardent à investir le marché ; ce n'est qu'en 1980 que BBC lance ses premiers GTO de 1400 V. Le retard est comblé en 1985 par son accord de transfert technologique avec Toshiba.

ABB deviendra par la suite un champion mondial de la fabrication de thyristors GTO, devançant bon nombre de ses concurrents qui avaient jugé à tort la technologie obsolète, au regard du développement des IGBT (cf. *infra*), et ralentit avant l'heure leur production.

Fusion

En 1988, la fusion d'ASEA et de BBC en ABB entraîne le regroupement de toutes les activités à Lenzbourg, puis la vente de Lampertheim à l'Américain IXYS en 1990 et, enfin, la fermeture de l'usine suédoise d'ASEA à Västerås en 1991.

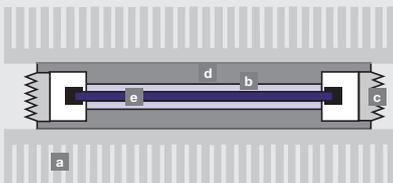
La fabrication ABB est alors confiée à la filiale ABB Semiconductors. Jusque-là, ABB avait fait du développement et de la production de semi-conducteurs une activité principalement interne, axée sur les besoins des autres entités du Groupe. ABB Semiconductors rompt avec ce modèle et gagne de nouvelles parts de marché en vendant à d'autres constructeurs de systèmes.

Note

² Cf. « 60 ans de CCHT : genèse d'un leadership mondial », Moglestue, A., *ABB review*, 2/14, p. 33-41.

9 Vue en coupe d'un composant en boîtier pressé

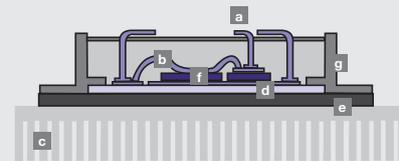
Dans ce type de boîtier, le courant de charge pénètre d'un côté (d) et est évacué de l'autre. Les faibles résistances électrique et thermique des contacts sont garanties par la forte pression mécanique exercée sur les deux surfaces.



- | | |
|-------------------------|-------------------|
| a Radiateur | d Cuivre |
| b Compensation CDT (Mo) | e Semi-conducteur |
| c Boîtier céramique | |

10 Vue en coupe d'un module IGBT en boîtier moulé HiPak

Ici, le semi-conducteur (f) est isolé galvaniquement du radiateur (c). Les contacts électriques dans le module sont réalisés par fils de métallisation.



- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| a Bornes de puissance et de commande | d Céramique (en général, AlN) |
| b Fil de métallisation | e Semelle (en général, AlSiC) |
| c Radiateur | f Semi-conducteur |
| | g Boîtier |

11 Modules IGBT en boîtier moulé HiPak de 3,3 kV (2003)



Son PDG, le charismatique Anders Nilarp, s'évertue à motiver et à responsabiliser le personnel, dans une quête permanente de qualité des produits et des procédés qui porte ses fruits : finaliste du *European Quality Award* en 1995, ABB Semiconductors est consacré en 1996 « Fournisseur de l'année » par General Electric.

Nilarp fait également des semi-conducteurs une activité phare d'ABB à une époque où le Groupe voyait ses priorités ailleurs. Témoin sa plus grande réussite : l'usine de composants BiMOS (IGBT et diode) inaugurée à Lenzbourg, en 1998.

Le transistor IGBT

Un transistor bipolaire à grille isolée *IGBT* (*Insulated-Gate Bipolar Transistor*) est

simplifier la conception des convertisseurs.

Le montage mécanique des IGBT facilite également la tâche. Les gros semi-conducteurs de puissance (GTO et thyristors) sont implantés dans un boîtier pressé → 9 : le courant y circule perpendiculairement, d'un côté à l'autre de la tranche de silicium. Pour assurer une conductivité électrique et thermique fiable, les composants sont empilés à une pression donnée ; impossible pour la maintenance d'en changer un sans démonter toute la pile ! Rien de tel avec les modules IGBT en boîtier isolé : le courant circule dans les bornes externes, d'un même côté du module → 10. Le contact électrique interne aux composants est assuré par des fils de métallisation,

et la conductivité thermique, par la semelle non conductrice → 11. Les deux types de connexion, électrique et mécanique, étant boulonnés, il est bien plus facile de rem-

placer un composant. Reste que certaines applications réclament des modules en boîtier pressé : des contraintes de redondance, par exemple, peuvent obliger à mettre et à maintenir le composant défectueux en court-circuit. Les IGBT StakPak d'ABB s'y prêtent → 12.

Le GTO est un thyristor commandable à l'extinction par un signal de gâchette de polarité négative.

Suite à la fusion d'ASEA et de BBC en ABB (1988), toutes les activités Semi-conducteurs sont regroupées à Lenzbourg.

commandé en tension et non en courant, ce qui simplifie grandement la commande de gâchette déclenchant l'amorçage ou l'extinction. Autre avantage, son fonctionnement en court-circuit : quand la tension à l'état passant dépasse un seuil critique, le composant limite naturellement le courant. Il peut alors résister à des conditions d'exploitation exceptionnelles sans circuits de protection supplémentaires. Autant de facteurs qui



Les usines ABB n'étant à l'origine pas conçues pour une telle complexité, certaines étapes du process étaient confiées à l'extérieur. Il faut attendre 1998 pour que l'achèvement de l'usine BiMOS à Lenzbourg permette à ABB de gérer toute la production en interne.

Les IGBT ont par la suite beaucoup progressé (plus de robustesse, moins de pertes) pour conquérir nombre de marchés auparavant dominés par les GTO, dont la propulsion marine et le ferroviaire. Ils ont également trouvé de nouveaux usages dans les convertisseurs éoliens, les transformateurs à électronique de puissance et le disjoncteur hybride³ CCHT, innovation majeure d'ABB en 2013.

Thyristors et GTO font de la résistance

Contre toute attente, la rapide progression des IGBT n'a pas condamné les GTO, qui restent aujourd'hui très demandés et sont toujours développés.

En 1997, ABB lance un nouveau composant à base de GTO : le thyristor intégré commuté par la gâchette ICGT (*Integrated Gate-Commutated Thyristor*). Son profil de dopage garantit de faibles pertes tandis que son courant de décharge, bref mais intense, assure une extinction rapide → 13.

Note

3 Cf. « Montée en charge : le nouveau disjoncteur hybride d'ABB », Callavik, M., Blomberg, A., Häfner, J., Jacobson, B., *ABB review*, 2/13, p. 7-13.

L'IGBT est commandé en tension et non en courant, ce qui simplifie grandement la commande de gâchette déclenchant l'amorçage ou l'extinction.

Le marché demeure prospère, et son composant inégalé dans le domaine des liaisons CCHT de forte puissance ; pour preuve, le thyristor ABB de 150 mm à 8,5 kV, lancé en 2009.

En 2010, ABB consolide sa présence sur le marché des bipolaires avec l'acquisition du Tchèque Polovodice. Deux sites se partagent désormais la production : Prague et Lenzbourg. La même année, Lenzbourg s'agrandit pour fabriquer des composants BiMOS et bipolaires, renforçant la position prépondérante d'ABB sur ces deux filières.

Le carbure de silicium

En 2013, le centre de recherche institutionnel ABB de Baden-Dättwil (Suisse) se dote d'un laboratoire dédié aux matériaux à large bande interdite, dont le carbure de silicium (SiC). Ce semi-conducteur à électronique de puissance a deux avantages sur le silicium : des pertes

minimales et une plus grande tolérance à la chaleur. Les prédécesseurs d'ABB s'y étaient déjà intéressés dans les années 1960 et 1990, mais ce n'est qu'aujourd'hui que le matériau est bien maîtrisé et que la technique de fabrication des composants SiC industrialisable.

Parés pour l'avenir

Toute la chaîne de transmission électrique (transport, conversion, distribution) est appelée à connaître de fabuleux bouleversements, portés par l'essor et l'intégration des énergies renouvelables, et l'engouement pour l'efficacité énergétique. Une révolution à venir qui serait impossible sans les progrès incessants des semi-conducteurs.

Christoph Holtmann

Sven Klaka

Munaf Rahimo

ABB Semiconductors Ltd.

Lenzbourg (Suisse)

christoph.holtmann@ch.abb.com

sven.klaka@ch.abb.com

munaf.rahimo@ch.abb.com

Andreas Moglestue

ABB review

Zurich (Suisse)

andreas.moglestue@ch.abb.com

Lecture complémentaire

« Puces savantes : ABB et les semi-conducteurs de puissance, une révolution silencieuse », Zeller, H., *Revue ABB*, 3/08, p. 72-78.

Rédaction

Claes Ryttoft

Chief Technology Officer
Group R&D and Technology

Ron Popper

Head of Corporate Responsibility

Christoph Sieder

Head of Corporate Communications

Ernst Scholtz

R&D Strategy manager
Group R&D and Technology

Andreas Moglestue

Chief Editor, ABB review

Édition

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

ABB Technology Ltd.
ABB Review/REV
Affolternstrasse 44
CH-8050 Zurich (Suisse)

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 directement la Rédaction.

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 ©2014
ABB Technology Ltd.
Zurich (Suisse)

Impression

Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH
AT-6850 Dornbirn (Autriche)

Maquette

DAVILLA AG
Zurich (Suisse)

Traduction française

Dominique Helies
dhelies@wanadoo.fr

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

www.abb.com/abbreview



Dans le numéro 4114

Le nouveau chantier de l'électricité

La vision ABB du système électrique du futur est celle d'une structure autocontrôlée capable d'assurer la stabilité, la sécurité, l'efficacité et le développement durable du réseau, dans le respect des normes et standards industriels. Un système qui transcende les frontières et favorise le négoce d'électricité à grande échelle.

Cette préfiguration naît de la convergence de trois réalités : les contraintes des industriels du secteur, la consommation électrique et la protection de l'environnement. Le système électrique de demain sera construit sur les infrastructures d'aujourd'hui, renforcées d'une nouvelle génération de techniques évoluées de contrôle-commande et de communication.

Ce système très automatisé devra faire preuve d'« intelligence » afin d'assurer lui-même son fonctionnement, sa surveillance, voire sa réparation. Tout comme il sera plus souple et plus fiable pour mieux relever les défis de l'économie numérique.

Sur le Web

Retrouvez ABB review sur vos tablettes, à l'adresse www.abb.com/abbreview.

Toujours et partout

Il vous manque un numéro d'ABB review ? Pour être informé de chaque parution (ou dossier spécial), abonnez-vous à la liste de diffusion sur www.abb.com/abbreview.





Opérationnel 24 h / 24 ?

Assurément.

Fort de plus de 50 ans d'expérience dans les secteurs industriels de la mine, de la minéralurgie et du ciment, ABB a mené à bien plus de 250 projets d'installation électrique, de contrôle-commande et d'infrastructure dans plus de 45 pays.

Moderniser un site pour le mettre aux normes, optimiser la production et accroître les rendements, sans jamais interrompre la fabrication, requièrent une palette de talents et de compétences différente de celle nécessaire à la construction d'une nouvelle usine. Nos experts ont une connaissance pointue de tous les processus miniers et l'expertise des projets complexes.

Avec un objectif constant : produire *non stop*.

Pour en savoir plus : www.abb.com/mining