

ABB

2 | 11

Actualités technologiques  
du Groupe ABB

# revue

---

**L'or noir du désert 20**

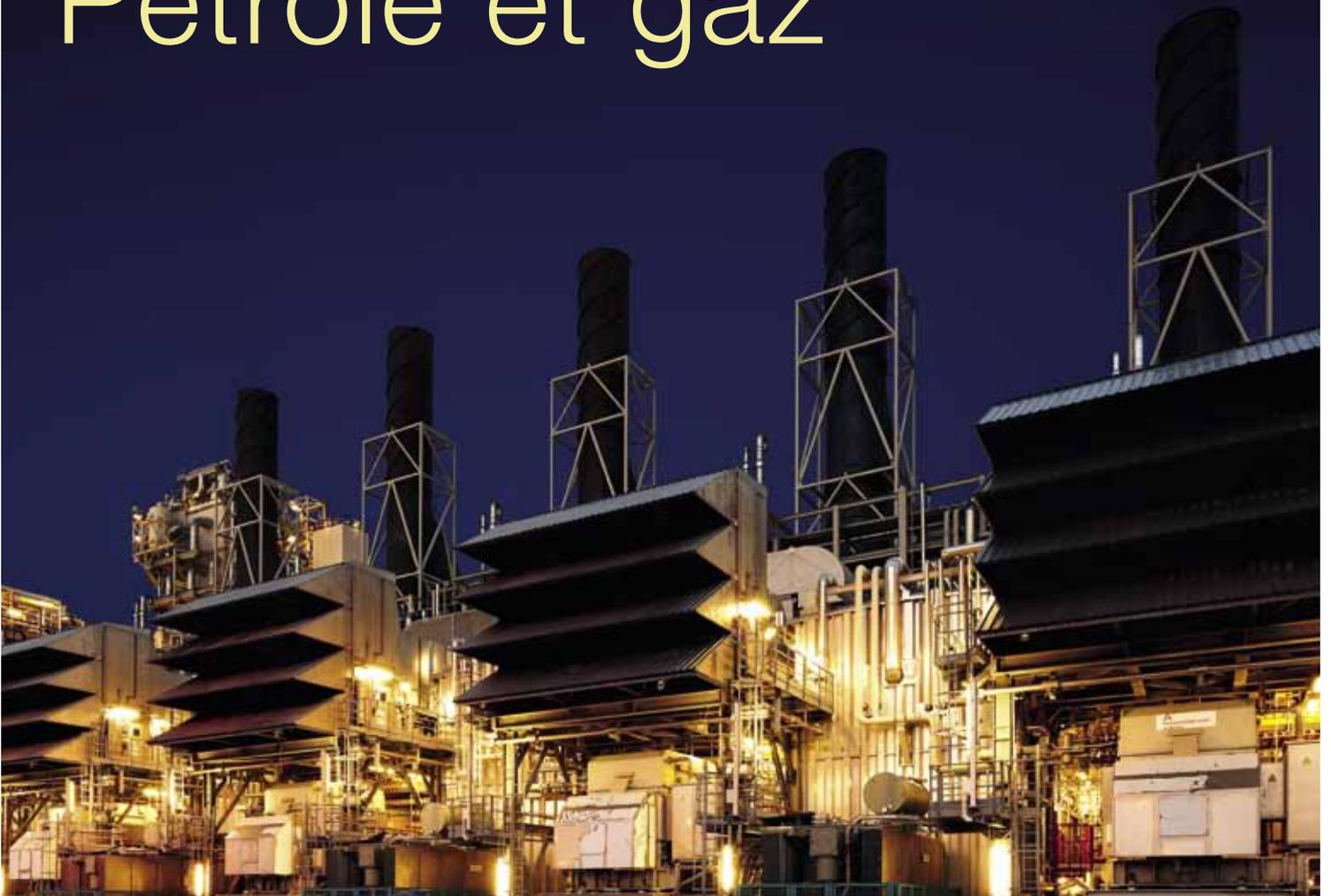
Séparation huile/eau 33

**Le cuivre a bonne mine 56**

Modernisation de poste CEI 61850 67

---

## Pétrole et gaz



Power and productivity  
for a better world™



La Revue ABB met à la une le plus grand terminal de gaz naturel liquéfié d'Europe, exploité par Statoil à Melkoya, tout près du Cap Nord, qu'ABB a équipé d'une gamme complète de matériels électriques et d'automatismes. Le gaz du gisement de Snøhvit est puisé de plates-formes ancrées au fond de la mer, transporté par gazoduc jusqu'à la raffinerie où il est liquéfié, puis exporté par bateau. Fluide glacial garanti au pays de Blanche-Neige (Snøhvit en norvégien)...



---

# Tendances

- 6 **Or noir, or gris**  
La confusion des sentiments
- 15 **Transitions énergétiques**  
Rencontre avec Scott W. Tinker, professeur à l'université du Texas, géologue de l'État du Texas et directeur du *Bureau of Economic Geology*

---

# Projets

- 20 **Au pays de l'or noir**  
ABB relève les défis de la construction d'infrastructures pétrolières et gazières en plein désert.
- 25 **Les fruits de l'intégration**  
Des solutions globales pour toute la chaîne de production de gaz de charbon

---

# Technologies . . .

- 29 **Distribution électrique offshore**  
ABB met à profit son savoir-faire pour proposer des solutions électriques et d'automatisation intégrées, clé en main.
- 33 **Clair comme de l'eau de roche**  
Une solution de séparation huile/eau souple, compacte et efficace
- 39 **Essais concluants**  
ABB met au banc d'essais ses systèmes d'entraînement à vitesse variable pour l'industrie pétrogazière.
- 45 **Intelligence précoce**  
Les données de procédé, une mine d'informations pour l'entreprise
- 50 **Télérobotique d'inspection et de maintenance**  
Les robots plongent dans le pétrole et le gaz.

---

# . . . et ABB

- 56 **Gisement de productivité**  
ABB dope et prolonge l'exploitation de la mine de cuivre d'Aitik.
- 63 **Cohabitation harmonieuse**  
Les atouts de poids des nouveaux variateurs ABB
- 67 **Modernisation de poste**  
Une installation 380 kV se met à l'heure de la CEI 61850.
- 71 **Protection à grande vitesse**  
Les parafoudres ABB en tête de train
- 74 **Stabilité opérationnelle**  
Les variateurs ABB dopent les performances des broyeurs (2<sup>e</sup> partie).

# Pétrole, gaz, quand tu nous tiens . . .



**Peter Terwiesch**  
Directeur des technologies  
ABB Ltd.

## Chers lecteurs,

Le pétrole et le gaz subviennent à bien plus de la moitié des besoins mondiaux en énergie primaire. Parmi les facteurs expliquant la prépondérance du pétrole figurent sa souplesse et multiplicité d'emploi, tant comme source d'énergie que comme matière première, de même que sa facilité de transport et de stockage qui lui confère une quasi-universalité. Plus qu'un banal produit, le pétrole est incontestablement LA marchandise de la planète. Son prix est scruté et commenté plus que tout autre bien : que l'on fasse le plein à la pompe ou que l'on débatte de prospective économique, impossible d'ignorer le cours du baril !

Le gaz naturel n'est pas une marchandise mondialisée et omniprésente comme on l'entend pour le pétrole, mais les technologies mises en œuvre pour l'acheminer jusqu'à nous (gazoducs, navires-méthaniers . . .) écourtent de plus en plus les distances entre production et consommation.

Maintenir la sécurité et la fiabilité de ces approvisionnements est donc primordial. Il faut pour cela relever les multiples défis que posent l'exploration, la récupération, le traitement et le transport de ces sources d'énergie vitales de manière sûre, propre et efficace, à un prix raisonnable, malgré des écueils géographiques et géologiques toujours plus nombreux.

La *Revue ABB* a fait appel à un éminent géologue texan, le professeur Scott W. Tinker, pour esquisser les nouveaux contours de l'industrie pétrolière et gazière. Suivent des articles qui, au fil d'exemples glanés dans le monde entier, illustrent les technologies et services ABB œuvrant au progrès de la filière :

ingénierie et construction clé en main, contrôle-commande intégré, distribution électrique *offshore*, déshuilage de l'eau, gros entraînements à vitesse variable, exploitation poussée des données de procédé et incursion des robots en terrain hostile.

Au-delà du pétrole et du gaz, la *Revue ABB* évoque la contribution d'ABB à la mine de cuivre suédoise d'Aitik, aux performances des broyeurs de minerai commandés en vitesse variable, à l'aérodynamisme des parafoudres montés en toiture des trains à grande vitesse et à la modernisation d'un poste électrique conforme CEI 61850.

Ce numéro de la *Revue ABB* met en lumière quelques-unes des avancées garantissant la continuité des approvisionnements énergétiques, si précieux pour notre économie.

Autre mutation, cette fois plus personnelle : après six années passées à la tête de la Direction des technologies du Groupe ABB, j'aurai bientôt le privilège d'assumer la responsabilité d'ABB Europe centrale et d'ABB Allemagne. Je signe ici ma dernière contribution au comité éditorial de la *Revue ABB*, en remerciant tous les auteurs, rédacteurs et lecteurs pour leur fidèle soutien et attention.

Souhaitons à notre publication de longues années de parution !

Bonne lecture,

Peter Terwiesch  
Directeur des technologies  
ABB Ltd.



# Pétrole et gaz

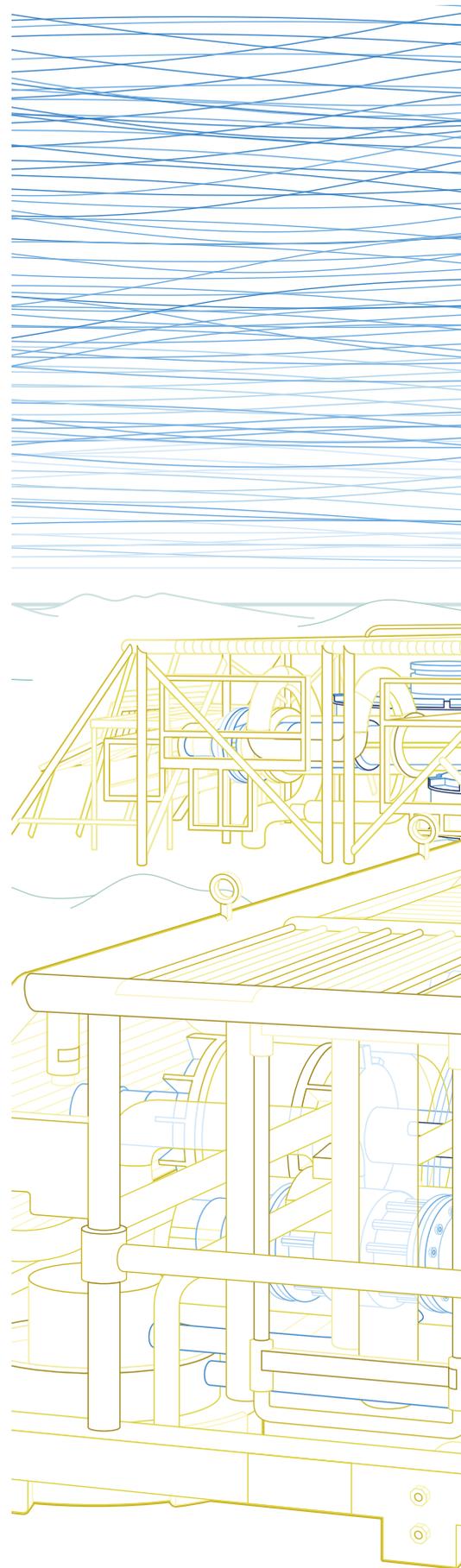
## Entre haine et passion, la confusion des sentiments

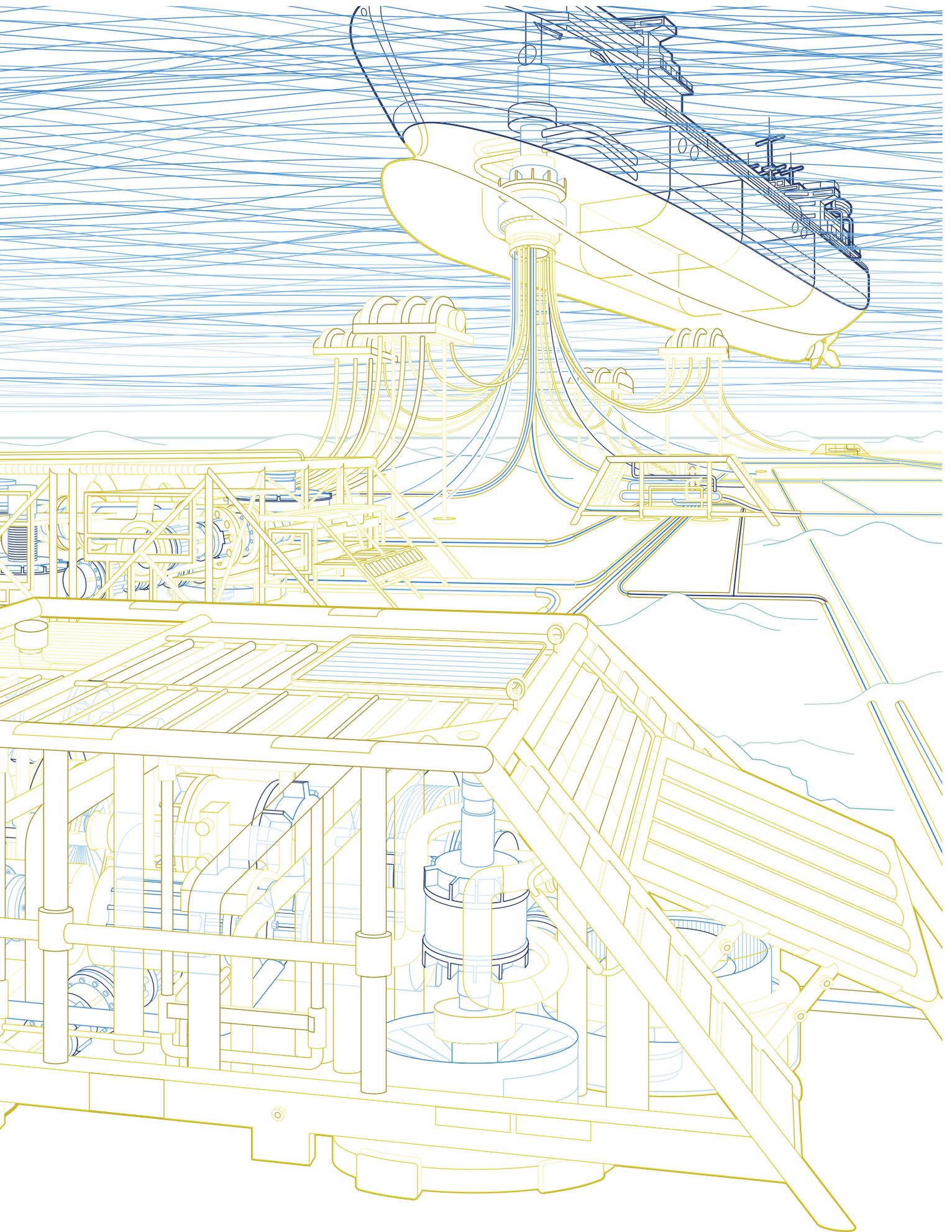
HÂVARD DEVOLD, SANDY TAYLOR – Le pétrole et le gaz fournissent plus de la moitié de l'énergie primaire consommée dans le monde. Pour autant, les entreprises et activités du secteur suscitent dans l'opinion des réactions mitigées, différents aspects, comme la pollution, le réchauffement climatique et les fluctuations du cours du baril ayant des répercussions multiples sur les populations et l'économie. La part du pétrole et du gaz dans le bouquet énergétique est telle que ces combustibles continueront d'étancher largement la soif d'énergie mondiale, à un horizon prévisible. La fiabilité et la sécurité des approvisionnements reposent sur les technologies utilisées pour l'extraction. L'exploitation de champs toujours plus complexes exige des techniques de pointe pour optimiser, sécuriser et rentabiliser l'extraction. ABB y contribue avec une offre complète de solutions couvrant aussi bien l'automatisation intégrée, le matériel électrique et l'instrumentation que les systèmes d'analyse et de télécommunications, l'ingénierie et la maintenance globale.

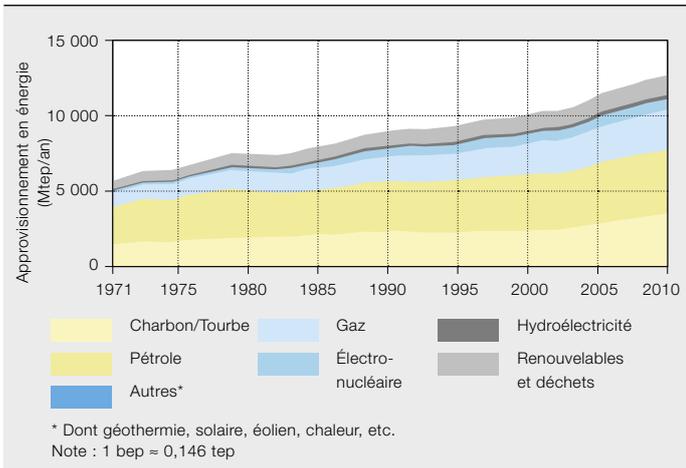
**A**BB est au service de l'industrie pétrolière mondiale depuis plus de 100 ans. Les années 1970 marquent un tournant dans l'histoire de l'or noir : le premier choc pétrolier de 1973 et la raréfaction progressive des hydrocarbures obligent à mettre en production des champs de plus en plus difficiles d'accès, à l'aide de technologies collant à l'évolution de la demande. ABB mise alors sur les automatismes électroniques pour remplacer peu à peu les commandes mécaniques et pneumatiques câblées, tout en étoffant et en diversifiant son offre. En 1973, la production pétrolière et gazière se chiffre à 76 millions de barils équivalent pétrole

par jour (bep/j), dont près de 20 % sont puisés de champs *offshore* en mer peu profonde.

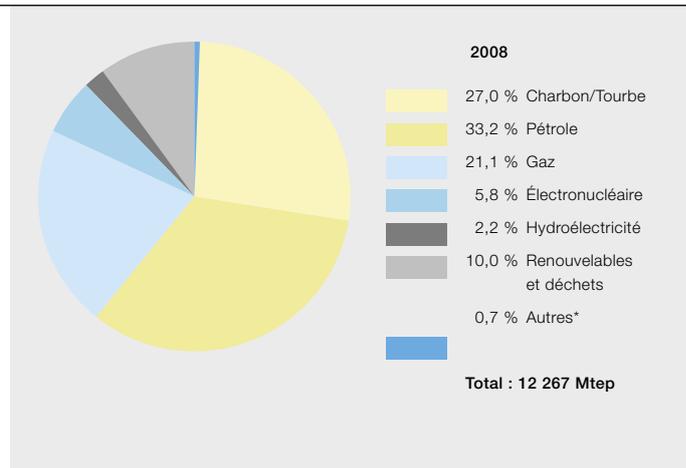
Ce secteur en croissance rapide devient vite le principal débouché pétrogazier d'ABB qui multiplie les projets de référence en mer du Nord et dans les gigantesques champs du golfe Persique. L'époque est aux imposantes installations de production gravitaires et fixes qui s'accompagnent de nouvelles exigences en matière de détection d'incendie et de fuite de gaz, de contrôle-commande des procédés et d'intégration des systèmes de sécurité, de mesure, de surveillance et de conduite jusqu'alors



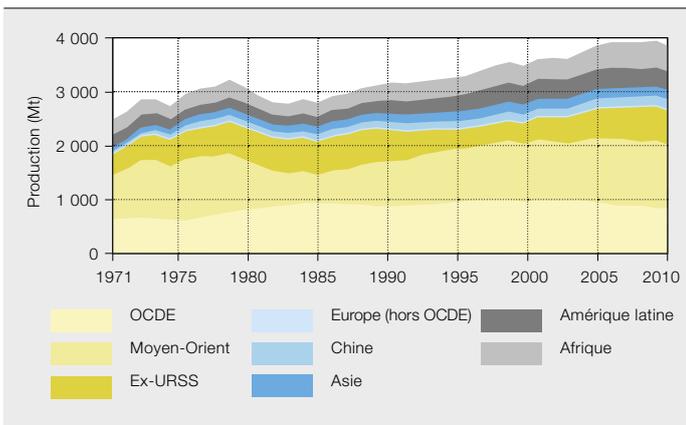




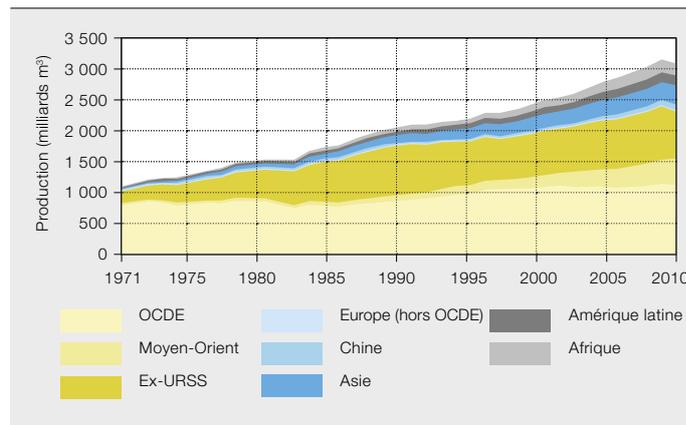
1a Approvisionnements et mix énergétiques mondiaux



1b Le pétrole et le gaz représentaient, en 2008, plus de la moitié des approvisionnements énergétiques mondiaux.



1c Production de pétrole brut par région



1d Production de gaz par région

Grâce aux techniques EOR, les réserves récupérables de nombreux champs en production ont plus que doublé, et cette croissance devrait s'accroître.

autonomes. Riche d'une longue tradition de la construction navale, c'est tout naturellement qu'ABB élargit son périmètre d'action aux plates-formes flottantes et à la production par grand fond. Ces structures détrônent progressivement bon nombre des grandes constructions fixes. À l'heure actuelle, l'offshore assure plus de 40 % de la production totale de pétrole et de gaz, et les nouveaux gisements sont exploités à plus de 500 m de profondeur. Dernièrement, les champs de Cascade et Chinook, au large de la Louisiane (Golfe du Mexique) ont accueilli une nouvelle unité flottante de production, de stockage et de déchargement « FPSO » (*Floating Production Storage and Off-loading*): ancrée à une profondeur record de 2500 m, la *BW Offshore Pioneer* embarque des automatismes et équipements électriques ABB.

### Demain se construit aujourd'hui

De l'avis général, la combustion des ressources fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) est la première cause directe du réchauffement climatique observé

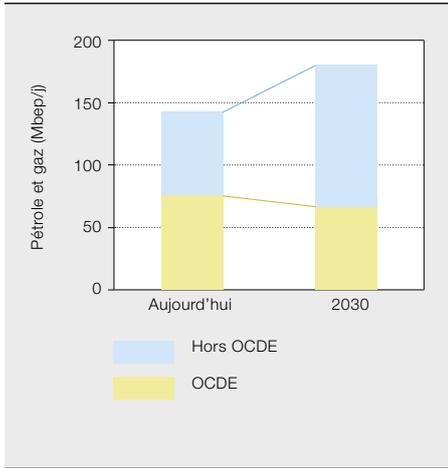
aujourd'hui et annoncé pour demain. Or ces combustibles subviennent à 81,3 % des besoins mondiaux, la part du pétrole et du gaz totalisant plus de 54 %, relayés par le charbon<sup>1</sup> (27 %) → 1b. En dépit des conséquences désastreuses de cette suprématie, il n'existe à ce jour aucun vecteur ou source d'énergie exploitable susceptible de suppléer massivement le pétrole et le gaz dans les transports ou l'industrie. Si les batteries des véhicules électriques ont un beau potentiel en termes de technologie et d'autonomie, elles ne contribuent pour l'heure qu'à une part infime de la consommation. Quand bien même une nouvelle source révolutionnaire serait découverte, il faudrait nettement plus d'une décennie pour déployer des véhicules et leurs infrastructures de recharge. Aujourd'hui, la

### Note

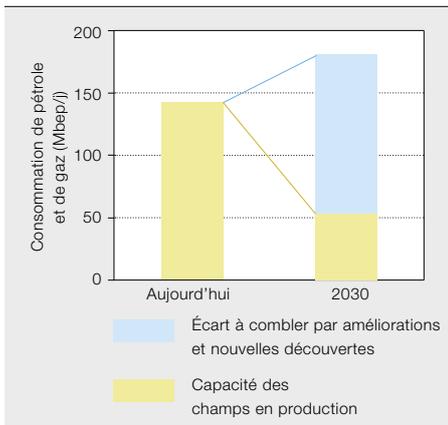
1 Statistiques de l'Agence internationale de l'Énergie, 2010 (www.iea.org)

### Illustration p. 6-7

FPSO reliée à un réseau de têtes de puits sous-marines.



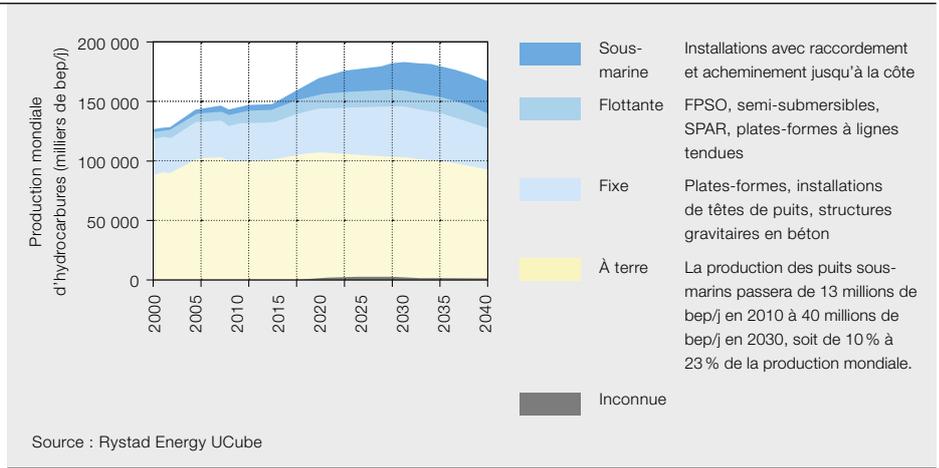
2a Consommation des pays membres et non membres de l'OCDE



2b Capacités actuelles et futures des champs d'hydrocarbures

production cumulée de pétrole et de gaz s'établit à 142 millions bep/j, pratiquement deux fois plus qu'en 1973. Malgré l'amélioration des rendements énergétiques et l'introduction de sources renouvelables comme les biocarburants, cette hausse devrait s'accroître pour atteindre 180 millions bep/j à l'horizon 2030. Dans quelques années, la consommation hors OCDE dépassera celle des pays membres → 2a; elle devrait progresser de 120 % d'ici à 2030 pour atteindre le double de celle de l'OCDE. Dans le même temps, cette dernière déclinera lentement, d'environ 12 %, sous l'effet des progrès de l'efficacité énergétique et du tassement démographique.

Dans un champ d'hydrocarbures classique, la production grimpe rapidement jusqu'à une valeur maximale (« plateau »), avant de décliner lentement (« fin de production »). Faute d'améliorations, la production moyenne mondiale recule d'environ 6 % par an. À ce rythme, l'écart, en 2030, entre la demande prévue et la capacité des champs en fin de vie



2c Production par type de structure

représentera 70 % de la consommation totale → 2b. D'ici là, il faudra développer de nouveaux gisements, optimiser l'existant ou exploiter les ressources non conventionnelles. Ce déficit, à peine inférieur à la production totale actuelle, fait peser de lourdes contraintes sur les techniques d'exploration et de production.

Le temps où l'or noir coulait à flot est révolu. De nos jours, une grande partie des opérations d'extraction a pour théâtre des gisements arctiques, profonds et froids renfermant des huiles lourdes, à forte teneur en eau ou en soufre, etc. Des techniques de récupération améliorée « IOR » (*Improved Oil Recovery*) permettent d'extraire davantage d'huile des réservoirs en exploitation. Bien souvent, elles incluent une assistance à l'écoulement (pompage, par exemple), des fonctions de chauffage, de traitement et d'épuration de l'eau, des modèles logiciels et autres technologies semblables. Les résultats sont là : si un taux de récupération de 20 à 30 % était jugé acceptable il y a 50 ans, de nombreux champs visent désormais 50 % tandis que les méthodes les plus efficaces dépassent 70 %. Ainsi, nombre de gisements ont vu leurs réserves récupérables plus que doubler au cours de leur exploitation. Ces gains sont amplifiés avec la sophistication croissante des méthodes de récupération assistée « EOR » (*Enhanced Oil Recovery*) qui allient entre autres la modélisation sismique en 3D et 4D, la fracturation et la stimulation du réservoir, la modélisation avancée, etc.

La fracturation et la stimulation ouvrent des canaux dans la roche-réservoir pour faciliter l'écoulement des hydrocarbures

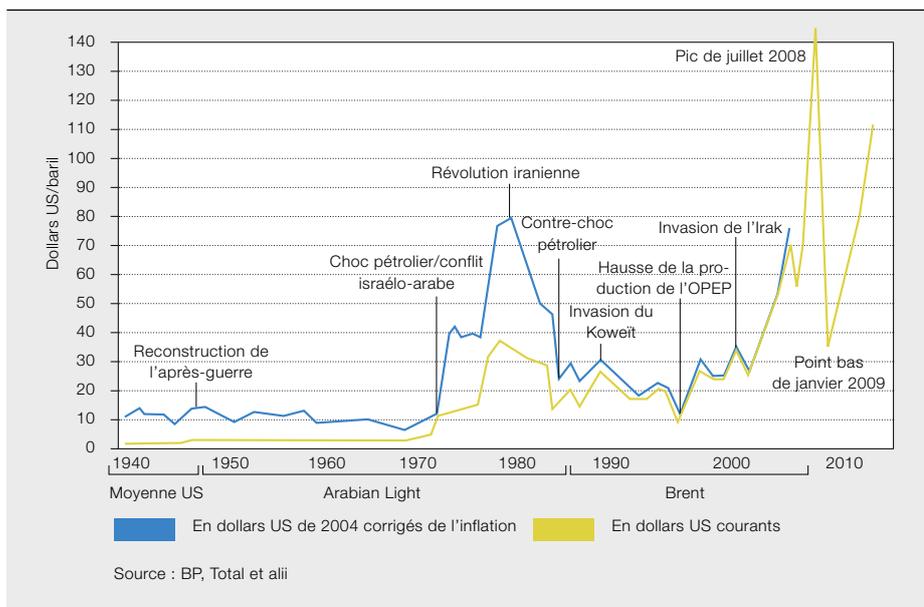
de la structure poreuse. La fracturation consiste à injecter dans la roche un liquide à haute pression (fracturation hydraulique), des charges explosives (fracturation par explosion), des substances chimiques (fracturation à l'acide, par exemple), etc. D'autres solutions sont utilisées pour empêcher les canaux de se refermer (agents de soutènement, par exemple) et maintenir la perméabilité de la roche.

Équipements électriques et automatisés jouent un rôle crucial dans la mise en œuvre des technologies IOR/EOR et l'exploitation des récentes découvertes plus profondes, plus froides et comple-

La production cumulée de pétrole et de gaz, de 142 Mbep/j (presque deux fois plus qu'en 1973), devrait encore progresser pour atteindre 180 Mbep/j en 2030.

xes. C'est le cas, par exemple, du pompage polyphasique, généralement pratiqué sur les réservoirs peu profonds de l'Angola.

À l'heure où le cours du brut dépasse 100 dollars le baril → 3 et les prix du gaz se redressent durablement, les ressources non conventionnelles connaissent



L'extraction dans des réservoirs toujours plus profonds et éloignés des côtes accroît les besoins en énergie et de facto l'importance de l'efficacité énergétique.

un regain d'intérêt. Ainsi, le gaz de schiste, le gaz de charbon (méthane) de même que les sables asphaltiques et bitumeux sont en plein boom. Hélas, leur extraction, autrement plus difficile, consomme davantage d'énergie et augmente la pollution, tant directe qu'indirecte, notamment de l'eau de production. L'avenir obligera donc à creuser davantage les problématiques de rejets, de pollution accidentelle et de fuites. Les dépenses d'investissement relatives tripleront au cours des prochaines décennies et les fournisseurs devront proposer des technologies novatrices, à des prix acceptables → 4.

#### Vingt mille lieux sous les mers

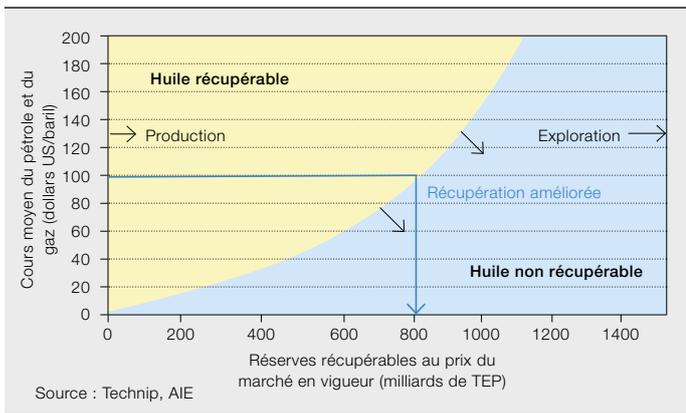
Le début des années 1990 marque l'abandon des imposantes structures gravitaires, dont la plate-forme Troll A, lourde de 656 000 t et haute de 472 m (369 m immergés), est le summum (le Golfe du Mexique en compte certes de plus hautes mais moins volumineuses). Si ce type de construction garde l'avantage dans certains champs arctiques de faible ou moyenne profondeur, comme Hebron au Canada, en mer de Kara et sur l'île de Sakhaline en Russie, en raison de la présence de glace et d'icebergs, leur coût et la découverte de gisements presque tous situés sous plus de 500 m d'eau les ont progressivement remis en cause. Ces plates-formes fixes cèdent la place à des structures flottantes (les plus connues étant les FPSO) et des installations de production sous-marines dont les têtes de puits, tout comme certains

dispositifs de traitement remplaçant les fameux « arbres de Noël en atmosphère sèche » embarqués sur des installations de surface ou des navires, reposent désormais sur le fond marin. Souvent, une FPSO n'est autre qu'une coque de pétrolier équipée, sur le pont, de modules de traitement du gaz et de l'huile. Cette reconversion des tankers en FPSO est encouragée par la disponibilité de coques qui ne sont plus habilitées pour le transport en haute mer mais peuvent encore servir à demeure, pendant 10 ans ou plus. Déjà solidement ancré sur le marché maritime, ABB s'est hissé parmi les grands noms du secteur, en équipant plus de 50 FPSO. De conception généralement modulaire, ces installations ont également donné à ABB l'occasion d'étendre ses activités dans le domaine du matériel électrique à la conception de bâtiments pour accueillir l'équipement électrotechnique d'une plate-forme offshore (cf. p. 29). En outre, ces projets sont généralement rapides à mettre en œuvre et répondent au souhait de limiter le nombre d'interfaces et d'accroître la standardisation des équipements de bord. Un choix qui s'inscrit dans l'optique d'ABB de regrouper les fonctions électriques, l'instrumentation et les télécoms, câblées ou non, en un seul système. Les avantages de cette intégration sont multiples : réduction des coûts d'exploitation, économie prouvée de 15 à 20 % sur le budget total d'investissement dans ce système et l'ingénierie, raccourcissement de plusieurs mois des délais de livraison.

Si les premières installations sous-marines s'étendaient sur quelques kilomètres tout au plus, raccordant des grappes satellites de quatre à six puits à une FPSO, elles se sont érigées au fil des ans en systèmes de production à part entière, totalement immergés, avec des « prolongements » essaimant à plusieurs dizaines de kilomètres. L'ultime objectif est de s'affranchir de toutes les installations de surface pour relier directement ce système de production sous-marin au rivage, en faisant transiter sous l'eau hydrocarbures, signaux électriques et communications, sur au moins 100 km de distance.

À plus de 2 000 m de profondeur, le mercure peut descendre à 0 °C, même sous les tropiques ; dans ces conditions de basse température et haute pression, le risque est de voir les hydrocarbures plus

#### 4 Impact des techniques d'amélioration de la récupération des huiles dans les réservoirs exploités



légers, comme le propane et le butane, cristalliser. Des additifs sont souvent nécessaires pour empêcher le gel des canalisations si la production vient à ralentir ou si les écoulements du puits ne suffisent plus à les chauffer. Pour le brut lourd (de densité inférieure à 20° API<sup>2</sup>), le froid peut entraîner une viscosité excessive. De même, les longues colonnes montantes qui relient le plancher océanique à la production en surface doivent être chauffées et équipées de pompes de fond de puits et d'autres appareils polyphasiques d'assistance à l'écoulement (pompes ou compresseurs). Tous ces équipements consomment beaucoup d'électricité et doivent être commandés avec précision : alimenter des postes aussi éloignés avec des pertes acceptables est un défi en soi. ABB a pu concevoir des systèmes qui optimisent ces transits sur de longues distances. La tendance va vraisemblablement se poursuivre, surtout en Arctique et dans les écosystèmes vulnérables où des distances allant jusqu'à 500 km sont envisageables.

#### Améliorer le taux de récupération

À la fin des années 1990, les systèmes de contrôle-commande ne se démarquent plus de la concurrence par des caractéristiques de base comme le système d'exploitation, la résolution d'écran, la fréquence d'horloge, etc., mais par des applications dédiées pétrole et gaz, et des technologies émergentes comme les bus de terrain et la récupération améliorée.

#### Note

2 Mesure de la densité d'un liquide, en particulier du pétrole, conçue par l'*American Petroleum Institute*. Plus l'indice est élevé, plus la densité est faible. L'eau a une densité de 10° API (1 kg/l) ; au-delà, un liquide reste en surface, en deçà, il coule.

Il faut rappeler que, dans la seconde moitié de la décennie 1990, le cours du baril plongeait à 8,70 dollars et nombre de conférences se focalisaient alors sur l'optimisation des techniques de récupération pour un baril à 10 dollars. Il s'agissait avant tout de comprimer les coûts de développement des nouveaux champs pétrolifères en misant sur l'efficacité de l'ingénierie, la standardisation et la simplification, mais aussi de rentabiliser davantage les gisements en améliorant l'extraction. C'est en 1997 qu'ABB se lance dans les technologies de récupération assistée, baptisées *Enhanced Oil Production*. La décennie suivante voit son offre évoluer pour devenir ce que nous appelons aujourd'hui « Intégration des opérations » qui vise à accroître les rendements, réduire la consommation d'énergie et abaisser les coûts d'exploitation grâce à une utilisation plus poussée des données disponibles, comme les données process temps réel et le suivi d'état des équipements.

Cette intégration des opérations a instauré un environnement collaboratif entre les installations sur site, les centres d'exploitation et les spécialistes du procédé, tant au sein de la compagnie pétrolière qu'avec les grands fournisseurs de produits et services.

#### Cap sur l'efficacité énergétique

Le développement de réservoirs offshore toujours plus difficiles à atteindre et à exploiter (éloignement, profondeur, froid, etc.) a fait de l'efficacité énergétique une priorité pour pallier l'augmentation consi-

#### 5 La plate-forme Troll A pèse 656 000 t, mesure 472 m de haut et repose dans 369 m d'eau.



dérable des besoins d'énergie nécessaires à la remontée de l'huile, à son pompage, à l'injection de gaz sous pression, à la liquéfaction du gaz, etc. Si, dans les années 1980, une plate-forme classique nécessitait quelque 200 kW pour produire 1 000 barils par jour, certaines installations modernes englobaient pas moins de 1 MW, voire bien plus dans le cas des ressources non conventionnelles, avec jusqu'à un baril consommé pour cinq barils transportés !

On l'aura compris, l'extraction est gourmande en énergie : en moyenne, 11 % de la production d'un puits sont engloutis, avant même d'être commercialisés, principalement dans le chauffage, le pom-

## Par 2 000 m de fond, le froid provoque le gel de nombreux hydrocarbures, même sous les tropiques.

page et la compression, et le traitement des hydrocarbures. L'énergie est souvent produite sur place par des générateurs thermiques au rendement médiocre (entre 20 et 40 % en général, autour de 25 % en moyenne). De nombreuses études de cas ont prouvé que d'importantes économies pouvaient être réalisées au moyen d'entraînements à vitesse variable, tant pour les faibles charges (pompes, par exemple) que pour les équipements plus voraces (compresseurs, canalisations et pompes de chargement). Dans ce dernier cas, ils peuvent même se substituer aux turbines à gaz pour les applications à entraînement direct, abaissant considérablement la pollution, la consommation de fioul (de



l'ordre de 40 à 70 %) et les coûts de maintenance, tout en augmentant la fiabilité et la disponibilité. Leader sur le

## ABB continue de développer des solutions dans ses métiers de base : génie électrique, contrôle-commande, sécurité et instrumentation.

marché de la vitesse variable, ABB équipe des stations de compression, des trains de liquéfaction de gaz des installations de récupération des liquides de gaz naturel (LGN) et des usines de traitement du gaz.

### Optimiser l'aval

Le secteur du raffinage est en permanence soumis à diverses pressions : les variations des cours du brut, la cherté de l'énergie, la réglementation environnementale et les besoins des consommateurs sont autant de facteurs qui resserrent les marges des raffineurs. Ceux-ci sont à l'affût d'applications innovantes et à valeur ajoutée pour extraire le maximum de chaque baril

tout en optimisant les coûts de l'énergie, dans le respect des exigences environnementales et réglementaires du marché (essence aux normes Euro 3 et Euro 4, gazole à très basse teneur en soufre).

Depuis de nombreuses années, ABB met au service de l'industrie du raffinage toute

une gamme de produits d'instrumentation, d'analyse, de contrôle-commande et de sécurité. Bien implantée sur ce marché, son offre est gage de stabilité pour des applications évoluées :

- 1) Prédiagnostic et détection précoce des anomalies de fonctionnement pour prévenir ou réduire les arrêts inopinés ;
- 2) Conduite avancée multivariable pour optimiser la production ;
- 3) Gestion de l'énergie pour rationaliser les usages et coûts d'exploitation de la raffinerie ;
- 4) Gestion des actifs pour surveiller l'intégrité du site ;
- 5) Bouquet de prestations de conseil complètes pour des solutions éprouvées de sécurité totale de l'usine.

Malgré la complexité grandissante des opérations d'exploration et de production, les réserves d'hydrocarbures conventionnelles et non conventionnelles de la planète sont suffisantes pour couvrir les besoins de l'humanité pendant encore cent ans.

Dans ce domaine, les derniers grands succès d'ABB sont les avancées de ses solutions de contrôle et d'optimisation des mélanges RBC/ABC (*Regulatory Blend Control/Advanced Blend Control*), dont le déploiement et la mise en service, en 2010, ont permis de considérablement gonfler les marges des raffineurs.

### Des solutions clé en main

ABB jouit de nombreuses années d'expérience dans la maîtrise d'œuvre de grands projets pétrogaziers, tant au titre de constructeur que d'ensemblier. À l'aube des années 2000, le Groupe consolida son offre sur ce segment en lui consacrant un centre d'excellence basé en Italie, héritant de la longue tradition et des savoir-faire d'une ancienne entreprise locale.

Conscient des nouvelles exigences du secteur, ABB ouvre ses grands systèmes à la gestion de projets pluridisciplinaires en intégrant des activités d'ingénierie, d'approvisionnement et de gestion de la construction (IAGC) à ses métiers traditionnels de l'automatisation et du génie électrique. ABB fournit à l'industrie pétrogazière des solutions clé en main complètes (en mer et à terre) pour les activi-



tés amont et intermédiaires : séparation gaz/huile, traitement du gaz, injection d'eau et de gaz, pompage et compression, terminaux, petites centrales d'énergie et épuration de l'eau. Elles contribuent à la force de frappe ABB, dans un secteur où rares sont les industriels à pouvoir se prévaloir d'une pareille offre de produits d'excellence mondiale, de systèmes d'intégration évolués et de capacités IAGC éprouvées.

L'article consacré aux enjeux du gisement algérien El Merk (cf. p. 20) en donne un aperçu.

#### **Pui(t)s encore...**

ABB relève les défis à venir de l'industrie pétrogazière, selon deux axes : d'une part, en poursuivant le développement de solutions « maison » pour l'alimentation électrique, le contrôle-commande, la sécurité et l'instrumentation ; d'autre part, en nouant, au fil des ans, des partenariats avec des clients stratégiques pour déployer des technologies inédites telles que l'électrification sous-marine, l'alimentation à partir de la côte et l'intégration des opérations. Des solutions qui n'auraient pas pu voir le jour sans un partage des risques, des financements et des essais poussés, en conditions

réelles. En témoignent les projets menés sur le plateau continental norvégien et la participation durable d'entreprises comme ConocoPhillips, Shell, BP et Statoil à des programmes communs de recherche et développement (R&D) avec ABB et d'autres acteurs, dans le cadre du « Laboratoire de la mer du Nord ».

Qui plus est, ABB peut sans cesse puiser dans des partenariats et des accords de R&D avec des entreprises, à l'image de Sonatrach, Dow et Petrobras, pour enrichir ses technologies. Prochaine étape : renforcer cette collaboration au Moyen-Orient, notamment en Arabie saoudite, au Qatar et aux Émirats arabes unis, pour identifier des solutions durables et efficaces présentant un intérêt particulier pour cette région. Ces projets porteront sur des thématiques comme la technologie IOR, l'eau et la gestion de l'eau, et la télérobotique d'inspection et de maintenance (cf. p. 50).

Malgré la complexité grandissante des opérations d'exploration et de production, les réserves d'hydrocarbures conventionnelles et non conventionnelles de la planète sont suffisantes pour subvenir aux besoins de l'humanité durant les cent prochaines années. Le vrai défi ne sera

pas tant de puiser assez de ressources que d'en atténuer l'impact sur l'environnement. Dans un monde assoiffé où la consommation d'énergie par habitant vaut quasiment indice de prospérité, le pétrole et le gaz demeurent, bon gré mal gré, les deux mamelles du globe.

Pour en savoir plus sur l'offre Pétrole et Gaz d'ABB, rendez-vous sur : [www.abb.com/oilandgas](http://www.abb.com/oilandgas).

#### **Håvard Devold**

Upstream Market Vertical Manager  
Business Unit Oil, Gas and Petrochemical  
Oslo (Norvège)  
[havard.devold@no.abb.com](mailto:havard.devold@no.abb.com)

#### **Sandy Taylor**

Business Unit Manager – Oil, Gas and Petrochemical  
St-Laurent (Québec, Canada)  
[sandy.s.taylor@ca.abb.com](mailto:sandy.s.taylor@ca.abb.com)



# Transitions énergétiques

La *Revue ABB* s'est entretenu avec Scott W. Tinker, professeur à l'université du Texas, géologue de l'État du Texas et directeur du *Bureau of Economic Geology*, sur les défis et perspectives de l'industrie pétrolière et gazière.

Les hydrocarbures assurant plus de la moitié des énergies primaires de la planète, la continuité et la fiabilité des approvisionnements ont un impact crucial sur tous les autres pans de l'économie. Pas étonnant, dans ces conditions, que le cours du brut soit scruté, commenté et analysé comme nulle autre marchandise. Par-delà le rôle économique prépondérant des hydrocarbures, bien d'autres raisons nourrissent notre fascination pour le pétrole et le gaz. Le professeur Scott W. Tinker passe ici en revue les enjeux technologiques, sociétaux et environnementaux de la filière.

Professeur, merci de nous recevoir. Quelles sont pour vous les principales tendances de l'industrie du pétrole et du gaz ?

On assiste à plusieurs grands bouleversements, à commencer par l'organisation du secteur : les groupes pétroliers internationaux ont depuis quelque temps multiplié les fusions-acquisitions. En parallèle, les entreprises naguère confinées au territoire national deviennent des *majors* de stature internationale. Tous s'efforcent d'accroître leurs réserves par le biais de nouvelles campagnes d'exploration et d'acquisition.

Autre tendance forte : la transition vers le « non-conventionnel ». Entendez par là les hydrocarbures lourds mais aussi les « nouveaux gaz » comme les gaz de réservoir compact<sup>1</sup>, le gaz de schiste, le gaz de charbon, les hydrates de méthane, etc.

Ces développements ont pour dénominateur commun l'abondance des ressources et les difficultés pour y accéder. À l'avenir, les grands gagnants seront ceux qui, par divers moyens, auront accès aux réserves les plus riches.

Une autre tendance concerne ce que j'appelle, d'une part, les défis « de surface » qui portent sur les questions d'environnement, de législation et de réglementation, et d'autre part, les problématiques « de fond » que sont l'exploration et la technologie. L'industrie doit informer et éduquer les populations mais aussi comprendre ses

craintes, jouer la transparence et dissiper les nombreux mythes qui l'entourent.

Le pétrole et le gaz représentent plus de la moitié de la consommation mondiale d'énergie primaire et sont donc vitaux pour l'économie. Les gens s'inquiètent de la volatilité des prix de l'énergie.

Regardez les huit dernières récessions mondiales : sept ont été précédées d'une flambée des cours du pétrole. C'est le cas des quatre dernières grandes récessions qui ont frappé les États-Unis. Je ne dis pas qu'il y a forcément lien de causalité ; les récessions ont des origines et des effets beaucoup plus complexes. Pour autant, l'énergie est un facteur critique, voire le pivot de toute économie. Et le pétrole étant le porte-flambeau de l'énergie (du moins, historiquement), son prix est un signal fort.

Comment expliquer que le pétrole et le gaz soient à ce point irremplaçables ?

Le pétrole est un prodigieux combustible qui peut être transformé en une multitude de produits, essence et gazole en

---

#### Photo p. 14

L'usine Shell de traitement du gaz d'Ormen Lange, sur le plateau norvégien

---

#### Note

- 1 Gaz naturel contenu dans des roches gréseuses peu perméables, à 2 000–3 000 m de profondeur, d'où les difficultés d'accès et d'extraction.

Les méthaniers transportent le gaz naturel dans le monde entier (ici, le *Provalys* de GDF, équipé d'un système propulsif ABB).



Il est plus facile de créer de toutes pièces que de moderniser des installations vétustes pour les hisser au même rang que le neuf.

tête. Vous faites le plein à la pompe, vous parcourez des kilomètres... Une fois le réservoir vide, il ne reste aucune trace du pétrole que vous avez brûlé! Propreté garantie. D'une densité énergétique élevée, il est en outre sûr, étonnamment bon marché et très difficile à remplacer; c'est pourquoi il domine le secteur des transports.

Le gaz naturel est une ressource très polyvalente qui non seulement produit de l'électricité et de la chaleur, mais gagne aussi du terrain dans le transport. Il est plus «propre» que le charbon ou le pétrole car sa combustion émet moins de dioxyde de carbone, d'oxydes de soufre et d'azote, de mercure et d'autres polluants du charbon. Sa part dans le bouquet énergétique, déjà considérable, est encore appelée à croître.

Par contre, à la grande différence du pétrole, le gaz naturel n'est pas une marchandise «planétaire». Nous n'en sommes pas encore à le transporter comme nous brassons le pétrole; le marché est bien plus régional.

Vous dites «pas encore»...

Les installations d'exportation et les terminaux de réception de gaz naturel progressent. Ce déploiement nous permettra d'atteindre des régions du monde dépourvues de gaz naturel, d'atténuer quelque peu la volatilité et d'améliorer la «livrabilité» de cette fourniture. Le gaz naturel va jouer un rôle essentiel dans l'économie de ce siècle.

Les navires méthaniers joueront-ils le même rôle pour le gaz naturel que les pétroliers pour le brut?

Ils en ont le potentiel mais il faut savoir que le gaz naturel liquéfié (GNL) a un peu pâti du développement accéléré des gaz non conventionnels. À terme, je pense que le GNL l'emportera largement. Voyez le Qatar qui détient la plus importante installation de liquéfaction au monde, «RasGas», née d'un partenariat entre ExxonMobil et le gouvernement qatari: sept trains de liquéfaction sont aujourd'hui achevés et je crois qu'un huitième est en cours. Ce vaste chantier de construction et de maintenance mobilise environ 40 000 personnes, soit la population d'une ville! L'usine traite près d'un méthanier par jour, chargeant plus de 140 000 tonnes de gaz en 12 heures. Ces géants de la mer, hauts de 10 étages, longs d'environ 300 mètres et larges de 100 mètres affichent des performances impressionnantes: propulsés au gazole ou (tout naturellement) au gaz, selon le prix BTU, par une hélice de 10 mètres de diamètre, ils filent à plus de 20 nœuds. La flotte qatari en compte plus de 50!

Un pétrolier n'est pas très différent. Bien sûr, il n'a pas besoin d'être refroidi, alors que le GNL oblige à faire couler un rideau d'eau le long de la paroi du méthanier durant son chargement pour éviter toute fissure de la coque au contact du gaz. Un supertanker, propulsé au fioul lourd, peut emporter 500 000 à 750 000 barils de pétrole. Dans tous les cas, le transport par bateau est extrêmement énergivore, tant pour propulser le navire que pour alimenter et faire tourner ses équipements.

Donc, la technologie pour acheminer efficacement le GNL existe bel et bien. Faut-il aujourd'hui en augmenter les capacités?

Les installations sont en effet gigantesques, coûteuses et soumises à autorisations. Ce qui n'est pas sans inquiéter l'opinion publique et semer le doute sur la sécurité des méthaniers et la dangerosité de la cargaison. Même si cela n'a pas encore été testé – et ce n'est pas à souhaiter – des simulations montrent que si jamais une bombe torpillait la double coque, le GNL s'écoulerait dans l'environnement, changerait d'état et brûlerait. Certes, l'accident produirait énormément de chaleur, au détriment du voisinage immédiat, mais le navire n'explorerait pas! Le processus «s'auto-nettoierait», ce qui, dans un sens, serait préférable à une fuite d'hydrocarbures, beaucoup plus difficile à endiguer et à éliminer. Cela dit, personne ne veut voir ce

scénario se produire dans un port situé à proximité des habitations et des infrastructures. Les installations en mer permettront d'éloigner ce risque en accostant à des dizaines de kilomètres au large, le gaz étant rapatrié par pipeline.

### Quels sont les enjeux technologiques de l'extraction du pétrole et du gaz ?

Il faut d'abord aller chercher ces précieuses molécules. On a souvent dit que l'ère du « pétrole facile » était révolue. L'exploration pétrolière n'a pas toujours été une sinécure. Pour autant, une fois trouvé et puisé dans des roches à forte perméabilité, le pétrole était facile à produire. Nous disposons aujourd'hui de bien meilleures techniques et d'une connaissance plus fine de la géologie mais les sites d'exploration sont plus difficiles. Nous forons en mer par plus de 2 500 mètres de fond, par exemple, ou encore dans l'Arctique ou les sables bitumineux du Canada. Non seulement ces régions dressent des obstacles géographiques et technologiques, mais elles sont aussi coûteuses.

Prenons l'exemple des gaz de schiste. La ressource, abondante, est naturellement piégée dans de vastes couches de roches sédimentaires qui peuvent être hétérogènes et plus ou moins perméables. Chaque bassin est différent. Les entreprises doivent déterminer judicieusement l'emplacement des forages et accéder au mieux à ces réserves sans rompre l'équilibre écologique en surface. Au lieu de forer à tout bout de champ, la solution consiste à creuser en un seul endroit pour atteindre, par de multiples drains horizontaux, la couche où le gaz est emprisonné.

L'eau pose aussi problème. Pour exploiter les gaz de schiste, il faut accéder à la formation rocheuse, évacuer le méthane et l'eau, séparer le méthane, puis réinjecter l'eau. La quantité d'eau nécessaire à la fracturation est phénoménale, sans parler des agents de soutènement (sable ou billes céramiques) pour empêcher la résorption des fissures. Cette eau doit ensuite être nettoyée en surface ou réinjectée. Tout cela revient cher.

### De nombreux champs de pétrole en exploitation depuis des décennies sont aujourd'hui sur le déclin. Que faire pour prolonger leur durée de vie économique ?

De nombreux gisements « matures » sont en effet en voie d'assèchement. Or, bien souvent, ces périodes de fin de production sont plus longues que prévu car nous trouvons les moyens de récupérer quelques

barils de plus. Néanmoins, même avec des technologies de pointe, nous laissons toujours derrière nous une grande quantité d'hydrocarbures. Voyez ce que donne une tâche d'huile sur votre chemise ou une fuite dans le garage : difficile de la retirer ! Il en va de même de la roche. Selon le gisement, les méthodes d'extraction classiques ne permettent de récupérer en moyenne que 30 % des réserves. Certes, des techniques complémentaires améliorent ce taux, comme l'injection d'eau (inondation du puits) et les procédés chimiques et thermiques, ou encore microbiens. Hélas, elles sont toutes dispendieuses. Nous savons souvent stimuler la production mais, à défaut de la rentabiliser, pas question de s'engager dans cette voie. L'énergie étant un secteur fortement tiré par les prix, sans savoir si le prix du brut flambera ou retombera à 50 dollars, il est difficile de convaincre vos actionnaires de financer l'investissement.

### Des pays non membres de l'OCDE, comme la Chine et l'Inde, connaissent une croissance économique sans précédent. Quelles en sont les retombées sur le pétrole et le gaz ?

L'Inde et la Chine sont d'énormes consommateurs en puissance.

À l'heure actuelle, 600 millions d'Indiens sont encore privés d'énergie, soit presque le double de la population américaine. Idem pour la Chine. Mais il faut aussi compter sur le milliard d'individus qui, dans ces pays, y ont déjà accès ; et ce nombre explose. En 2005, les Chinois achetaient chaque année trois fois moins de voitures que les Américains ; six ans plus tard, la Chine dépasse les États-Unis et frise les 20 millions de véhicules vendus à l'année. Cette croissance va légitimement se poursuivre. Accès à l'énergie et développement économique sont intimement liés.

L'enjeu ne réside pas dans une industrialisation identique à celle des pays de l'OCDE au siècle dernier. À l'époque, nous avons agi au mieux, compte tenu des technologies du moment. Mais il est impossible de renouveler l'expérience : on assisterait à un emballement de l'offre énergétique avec des effets dommageables sur l'économie et l'environnement. Les pays membres et non membres de

l'OCDE doivent se concerter pour déployer des technologies éco-performantes, rentables et respectueuses de l'environnement. Bon nombre d'entre elles existent déjà ; elles sont une formidable occasion d'innover car il est plus facile de créer de toutes pièces que de moderniser l'ancien pour le hisser au même niveau de performance que le neuf.

### Quel est le potentiel de l'efficacité énergétique ?

C'est assurément le premier gisement à creuser. Les États-Unis consomment chaque année environ 100 exajoules (10<sup>18</sup> joules) ou encore plus de 2 800 milliards de mètres cubes (m<sup>3</sup>) d'équivalent gaz naturel. Moins de la moitié est transformée en énergie utile, le reste étant essentiellement gaspillé sous forme de chaleur rejetée par les cheminées industrielles, les bâtiments tertiaires et résidentiels, les tuyaux d'échappement de nos véhicules. Gagner en efficacité revient à réduire ces pertes thermiques. Là encore, la démarche est plus facile dans le neuf que dans l'ancien. Chez moi, par exemple, j'ai remplacé les ampoules à incandescence par des fluocompactes, amélioré l'isolation du bâti, opté pour une chaudière à haut rendement... Revers de la médaille, ces investissements ne seront jamais rentabilisés. Certes, les économies d'énergie ont du bon mais elles relèvent davantage de la bonne conscience écologique. Si nous avons mis en œuvre ces mesures dès la pose de la première pierre, ces investissements auraient été rentables d'emblée.

En matière d'énergie, les décisions sont principalement fondées sur les prix. Nous le constatons dans l'industrie mais aussi dans nos choix personnels. Pour séduire

---

## À la différence du pétrole, le gaz naturel n'est pas encore une marchandise « planétaire » : il ne se transporte pas comme le pétrole.

davantage, l'efficacité énergétique doit faire valoir l'argument économique.

### Comment y parvenir ?

Les entreprises peuvent mettre au point des produits offrant de meilleurs rendements, à un prix abordable. Par ses choix personnels, l'individu a aussi son mot à



dire. Les économies d'échelle joueront également, tout comme l'action des pouvoirs publics.

#### Jusqu'à quel point et comment ces derniers devraient-ils s'impliquer ?

Par une panoplie d'incitations encourageant industriels et particuliers à se tourner vers la sobriété et l'efficacité énergétiques. Mais gare à la tentation de tout miser sur le ticket gagnant ! La filière maïs-éthanol pour produire du carburant, aux États-Unis, en est un fâcheux exemple, parmi d'autres : là, il n'est plus question de stratégie énergétique mais de politique agricole. Cette production, qui a besoin d'eau, d'engrais et de terres, est en conflit avec les cultures nourricières tandis que son bilan énergétique net est médiocre. Il aurait mieux valu que les autorités diversifient leurs objectifs (baisse des émissions, efficacité, faible consommation, moindre coût...) et laissent les industriels, universitaires et autres rivaliser pour développer les meilleures solutions. Prenons la pollution par le CO<sub>2</sub>. Si le charbon ou le gaz naturel atteignent ces objectifs à un coût aussi abordable que celui de l'éolien, du solaire..., alors nous pouvons agir dans ce sens. Mais la politique est souvent dictée par des intérêts qui transgressent l'intérêt collectif. Ce qui met à mal les pouvoirs publics...

#### Au sujet du CO<sub>2</sub> justement, quel rôle peuvent jouer les techniques de captage et de séquestration (CSC) ?

Le *Bureau of Economic Geology*, que je dirige, est l'un des chefs de file de la recherche sur la séquestration du carbone aux États-Unis. Nous avons été les premiers à enfouir plus de 1 million de tonnes sous Terre. La discipline est fascinante. Dans une perspective plus large, nous devrions nous poser trois questions de principe : est-ce possible ? est-ce faisable ? est-ce raisonnable ?

Possible ? Mon groupe de géologues étudie les méthodes pour enterrer rapidement de grandes quantités de CO<sub>2</sub>. D'autres planchent sur le captage du CO<sub>2</sub> à partir des cheminées industrielles. Au fil de nos recherches, nous constatons que la solution est possible dans certaines régions, grandement tributaires de la géologie.

Est-ce faisable, sous le double prisme de la politique et de la réglementation ? Là se pose la question de l'acceptabilité sociale : qui est prêt à enfouir le CO<sub>2</sub> dans son jardin ? L'enjeu dépasse le cadre de l'environnement. Une fois de plus, je pense qu'on peut envisager la solution mais au prix de beaucoup de travail, et pas partout. Enfin, est-ce raisonnable ? Quels en seront le

coût et le bénéfice environnemental ? La planète produit chaque année entre 25 et 30 Gt (10<sup>9</sup> tonnes) de CO<sub>2</sub> de sources anthropogéniques. Pour capturer 1 Gt par an, nous devrions dans le même temps réaliser la bagatelle de 1000 projets d'injection de 1 Mt (10<sup>6</sup> tonnes) chacun. Ce n'est pas rien ! Il faut trouver les bons sites et se donner les moyens de les réaliser. La partie captage se chiffre en milliards de dollars pour une grande installation. Certes, les volets compression et injection coûtent moins mais nécessitent tout de même beaucoup d'argent. Ajoutez à cela l'arsenal réglementaire et législatif qui gonfle l'addition et renchérit considérablement le prix du kWh tiré du charbon. Et pour quelle différence en termes de changement climatique ? L'infrastructure mettra du temps à monter en charge. Or cet objectif de la gigatonne annuelle, pour être ambitieux, ne représente qu'environ 1 trentième des émissions totales. Les défis pour mener à bien ce vaste chantier, au rythme souhaité, sont colossaux. Et pendant tout ce temps voué à la recherche, l'horloge tourne. Même si la majorité de ceux qui s'investissent dans cette voie ou dans la recherche sur le climat ne l'avoue pas, je crains que le CSC ne soit pas raisonnable. L'avenir le dira.

Il n'y a pas que le CO<sub>2</sub> qui fasse débat en matière de pollution par le pétrole et le gaz. La fracturation hydraulique est aussi un sujet « détonant ».

Ce procédé d'extraction existe depuis de nombreuses décennies et est aussi utilisé en forage traditionnel. Lorsque l'hydrocarbure liquide ou gazeux est emprisonné dans des microfissures ou de très petits pores (réservoirs compacts), la seule façon de le libérer est de fracturer la roche en injectant à très haute pression de grandes quantités d'eau additionnée de produits chimiques et d'agents de soutènement pour garder ces fissures ouvertes. Et cela, entre 1 000 et 3 000 mètres de profondeur. L'énergie utilisée à cette fin limite naturellement l'étendue de ces failles artificielles. Nous avons effectué près de 1 million de fracturations aux États-Unis. Certains forages totalisent plus de 30 drains horizontaux. Or, à ma connaissance, la fracturation en elle-même n'a jamais provoqué de fissures affleurant en surface. Pour cela, il faudrait utiliser un procédé beaucoup plus puissant et écorner certaines lois de la physique...

Cela dit, le forage des puits, l'injection, l'évacuation et le transport des liquides de fracturation par camion présentent un risque de fuites dans l'environnement, comme tout autre processus industriel. Nous devons améliorer ces opérations et viser le « zéro-accident ». Pourtant, en général, nous savons quand il y a eu fuite : le danger est alors circonscrit, la fuite arrêtée et les dégâts sont endigués et atténués. Pareil incident est déplorable mais il ne risque pas de contaminer de vastes étendues géographiques.

Quelles autres tendances marquent le développement des ressources non conventionnelles ?

Technologie et prix sont indissociables. Quand les cours d'une ressource montent, la technologie devient économiquement viable. L'Arctique nous donne l'exemple de formidables potentialités : on n'y a extrait qu'une infime partie des vastes réserves d'huile. Nous allons devoir travailler dans cette région en y respectant l'environnement.

Il en va de même, par exemple, de l'exploitation à ciel ouvert des sables bitumineux en Alberta (Canada). Une vraie plaie pour l'environnement ! Les progrès de la technologie nous permettent aujourd'hui d'y remédier grâce au « drainage par gravité au moyen de vapeur (DGMV) » : on utilise le gaz naturel pour porter l'eau à ébullition

et produire ainsi de la vapeur qui est injectée dans les forages afin de réchauffer le bitume (très dense) et le fluidifier. Les nuisances en surface sont donc minimales. Le gisement épuisé, la tête de puits est déplacée et, lorsque la végétation reprend ses droits, il n'y a plus guère de traces du forage.

L'opération est coûteuse mais, dans un contexte de forte demande en hydrocarbures liquides, de prix à la hausse et de techniques en progrès, de plus en plus de réserves deviendront rentables. D'aucuns disent (et l'ont annoncé depuis des lustres) que le pétrole et le gaz ont atteint leur pic de production, au vu des conditions économiques et technologiques du moment. L'offre finira certes par plafonner, surtout si nous arrêtons d'explorer et migrons vers de nouvelles zones géographiques et géologiques. À mesure que le prix des énergies fossiles augmente, d'autres sources, plus viables, remplaceront petit à petit le pétrole et le gaz. Un jour, nous en viendrons même à nous demander pourquoi nous avons brûlé du pétrole dans nos voitures ?!

Par conséquent, si le pétrole atteint son pic, ce n'est pas parce que les réserves s'épuisent mais que nous avons trouvé d'autres ressources ?

Oui, des filons plus abordables ou même plus riches ! Tout comme la fin de l'Âge de pierre n'est pas due à la disparition de la pierre, l'ère du pétrole ne s'achèvera pas par pénurie de pétrole ! Au juste prix, la planète en regorge. Songez à l'époque où nous nous éclairions à l'huile de baleine : quitte à m'attirer les foudres de nos lecteurs, j'oserais dire que grâce au pétrole, nous n'avons plus besoin de chasser les baleines pour leur huile. Pour un peu, c'est le pétrole qui les a sauvées...

À combien chiffrez-vous les réserves d'hydrocarbures ?

Le monde a consommé un peu plus de 1 billion (10<sup>12</sup>) de barils de pétrole et environ 28 billions de m<sup>3</sup> de gaz naturel. Il reste encore 5 à 10 billions de barils et probablement 140 à 280 billions de m<sup>3</sup> de gaz, à un prix acceptable. Le problème est qu'il est impossible de récupérer une bonne partie de cette manne, de manière économique. Avec un cours du brut qui s'envole – et peu importe de savoir si cette flambée sera (à n'en pas douter) suivie d'un repli – il se peut que nous ayons atteint aujourd'hui un niveau de prix qui plaide en faveur des molécules difficilement accessibles et plus chères.

Scott W. Tinker



Scott W. Tinker, géologue de l'État du Texas, est directeur du *Bureau of Economic Geology* et du consortium AEC (*Advanced Energy Consortium*), professeur titulaire de la chaire *Allday Endowed Chair* et vice-doyen en exercice de l'École Jackson de Géosciences à l'université du Texas (Austin). Ses 17 ans de carrière passés dans l'industrie du pétrole et du gaz, avant de rejoindre l'Université en 2000, lui ont valu de nombreuses distinctions : président de l'association américaine de géologues pétroliers *American Association of Petroleum Geologists* (2008–2009) et de l'*Association of American State Geologists* (2006–2007), éminent conférencier auprès de l'*AAPG* (1997) et de la *Society of Petroleum Engineers* (2002), en charge des questions d'éthique à l'*AAPG* (2006–2007). Il a aussi remporté plusieurs trophées du meilleur article pour deux publications de prestige. M. Tinker est chargé de mission au *National Petroleum Council* et à l'*Interstate Oil and Gas Compact Commission*, et siège à plusieurs conseils de sociétés privées, ordres professionnels et universités. Ce passionné de la convergence entre milieux académique, industriel et politique a prononcé plus de 400 conférences et discours d'ouverture, dans plus de 45 pays. Docteur de l'université du Colorado, il est aussi titulaire d'un Master de l'université du Michigan et d'une Licence de l'université de Trinity.

Les hydrocarbures ne sont pas seulement sources d'énergie. Quels en sont les autres usages ?

Le développement des renouvelables (solaire, éolien, géothermie et agrocarburants) aidant, nous brûlerons de moins en moins d'hydrocarbures pour produire de l'énergie, préférant les réserver aux applications « nobles », comme les plastiques, les lubrifiants et les engrais. Présent dans toutes ces substances et très difficilement substituable, le pétrole n'a jamais autant mérité son surnom d'or noir.

Merci d'avoir répondu à nos questions.

Propos recueillis par Andreas Moglestue, rédacteur en chef de la *Revue ABB* : andreas.moglestue@ch.abb.com



# Au pays de l'or noir

ABB construit des infrastructures pétrolières  
et gazières en plein désert

SERGIO CASATI – Au cours des 45 dernières années, ABB a mené à bien plus de 300 contrats d'ingénierie, d'approvisionnement et de gestion de la construction (IAGC), au service des secteurs du pétrole et du gaz, de la production d'énergie et de l'eau. Bon nombre de ces chantiers d'envergure obligent à aller toujours plus loin, aux limites de l'extrême : sites reculés, rudesse du climat, déploiement de moyens techniques et humains sur de multiples fronts...

Parmi ces grands travaux figure le complexe pétrogazier d'El Merk, dans le sud algérien, pour lequel ABB conçoit, fournit, construit et met en service une part importante des infrastructures. La complexité et le gigantisme du site exigent des compétences, des outils et une logistique hors pair pour garantir l'ingénierie, l'approvisionnement et la construction de ce mégaprojet dans le respect des délais et du budget.



Les champs de pétrole et de gaz d'El Merk, dans le bassin de Berkine, sont à la fois le deuxième plus « riche » gisement d'hydrocarbures algérien et l'un des plus prometteurs en termes de capacité de production et de nouvelles découvertes. Aux confins du désert saharien, l'environnement d'El Merk est aussi rude qu'inhospitalier : la température y atteint fréquemment 50 °C, les pluies sont rares et le relief dentelé se compose en grande partie de gigantesques dunes de sable sans cesse redessinées par le siroco. Éloigné de tout (à quelque 1 000 km des villes et ports du littoral méditerranéen où se concentrent 90 % des 35 millions d'Algériens), le site est naturellement dépourvu d'infrastructures → 1.

Le gisement d'El Merk est constitué de quatre réservoirs de pétrole et de gaz (EKT, EMN, EME et EMK) répartis sur deux blocs (405 et 208) et développés par un consortium de six partenaires (Sonatrach, Anadarko, Eni, Maersk,

ConocoPhillips et Talisman), copilotés par le Groupement Berkine<sup>1</sup>. À pleine capacité, le complexe traitera 160 000 barils équivalent pétrole par jour que débiteront près de 140 puits. Ceux-ci seront reliés par un réseau de canalisations à dix stations collectrices qui enverront le brut à une usine de traitement assurant la séparation pétrole-eau-gaz, la stabilisation, la compression du gaz, l'extraction des liquides de gaz naturel et le stockage des hydrocarbures. Le gaz sera ensuite réinjecté par six manifolds de distribution de gaz répartis entre les quatre réservoirs. Les 80 premiers puits devraient commencer à produire en 2012.

#### Feuille de route ABB

Le Groupement Berkine a découpé le projet El Merk en plusieurs contrats IAGC

portant sur la réalisation de l'usine de traitement, des installations annexes, de la base de vie, de la base industrielle, des canalisations de transport, des

---

## Avec El Merk, le bassin de Berkine devient le deuxième plus grand gisement d'hydrocarbures algérien.

lignes d'alimentation électrique et d'un poste électrique. Le consortium regroupant ABB, SARPI (Société Algérienne de

---

#### Note

- 1 Entité codétenue par la société algérienne Sonatrach, le pétrolier texan Anadarko, la compagnie pétrolière publique italienne Eni et le groupe pétrogazier privé danois Maersk.

---

#### Photo p. 20-21

Au sud-est de l'Algérie, El Merk déroule à perte de vue, sur 5 000 km<sup>2</sup>, d'immenses dunes de sable pouvant atteindre 300 m de hauteur.

Réalisation de Projets Industriels) et l'Égyptien Petrojet, mené par ABB, est responsable des installations annexes. Pour un montant de 650 millions de dollars – l'un des plus gros contrats IAGC jamais décrochés par ABB! –, le Groupe est chargé de concevoir, d'approvisionner, de transporter, de construire, de mettre en service et de démarrer :

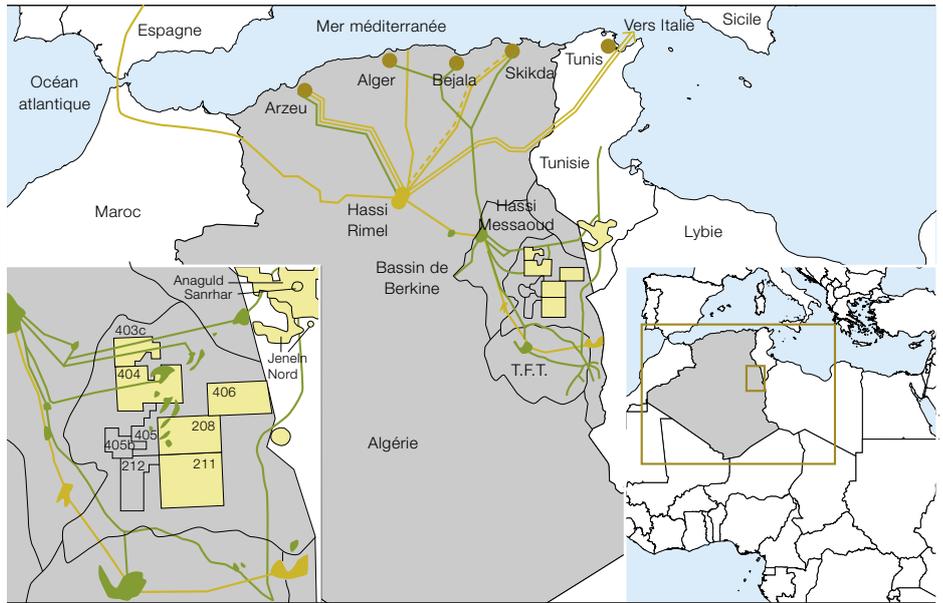
- les 10 stations collectrices ;
- les 6 collecteurs de distribution de gaz ;
- tout le matériel des 120 puits ainsi que le raccordement des 80 puits devant être mis en production en 2012 ;
- les 719 km de pipelines et de canalisations de transport reliant les 4 champs du bloc 208.

La fourniture ABB → 2 comprend les systèmes d'injection d'eau, les conduites d'évacuation de la production, d'extraction au gaz, d'approvisionnement en eau et en eau de dilution, les lignes de distribution d'huile et de condensats, les dessertes d'injection d'eau et de gaz, les canalisations de transport. En termes d'équipements et de produits, ABB fournira les pompes d'injection d'eau, les pompes de charge, les pompes d'eau de dilution, les filtres à eau, les refroidisseurs de recyclage et les séparateurs d'azote. La fourniture électrique se compose d'appareillages et de transformateurs de puissance moyenne et basse tension. L'instrumentation comprend le système de mesurage, les débitmètres multiphasés, les vannes de têtes de puits et les appareils de terrain. Les châssis mobiles d'injection de produits chimiques, le lanceur et les récupérateurs de racleur de pipeline, ainsi que les systèmes de protection cathodique seront aussi fournis par ABB.

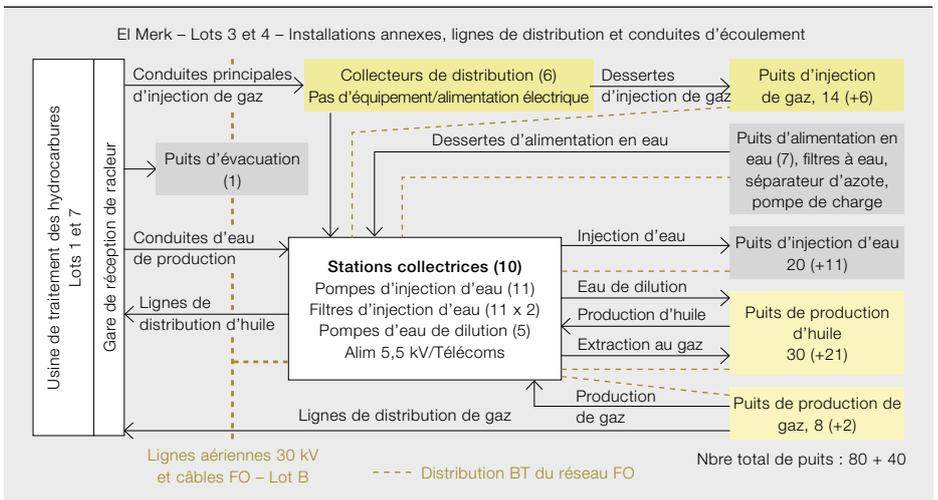
### Précision et efficacité

Autre fourniture clé d'ABB, le système d'information géographique (SIG) couvrant la totalité du site. Ce système de géomatique permet de concevoir, de construire, d'entretenir et de gérer toutes les infrastructures et les ouvrages de production du champ avec le maximum d'efficacité et de précision. Il fournit à l'ensemble des intervenants au projet une vue précise et à jour de son avancement, en temps réel. Il regroupe les données d'un grand nombre de sources différentes et calcule la quantité exacte de matériaux de construction nécessaires. Il recense tous les accidents topographiques sur le tracé des pipelines (dénivellement, déclivité des dunes, etc.) et produit automatiquement des plans et documents de pose, avec toute l'information sur le site. La solution s'appuie sur le modèle standard PODS (*Pipeline Open Data Standard*), très prisé pour le transport du pétrole brut et du gaz.

## 1 Géographie du bassin de Berkine et du gisement d'El Merk



## 2 Les grandes lignes du projet ABB d'El Merk présentées lors de la réunion de lancement

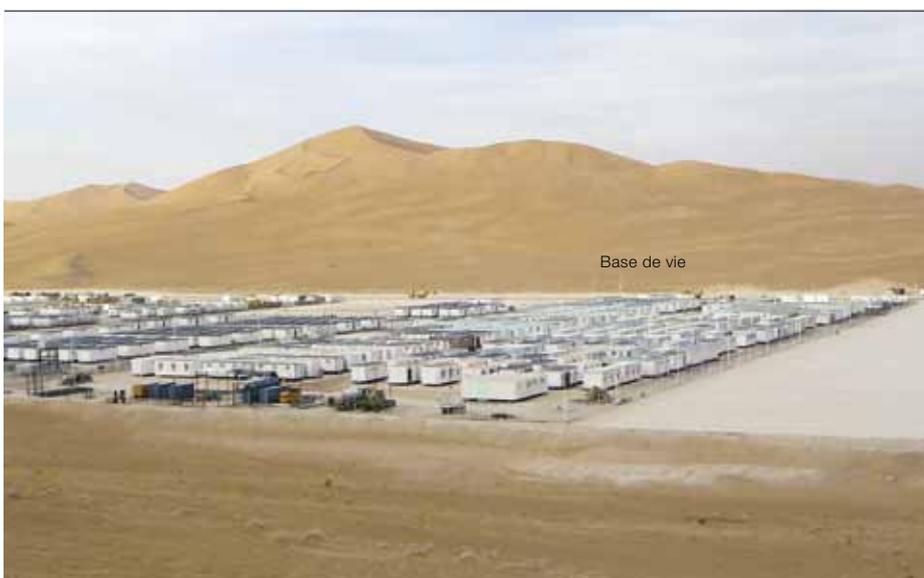


Le SIG contribue amplement au succès d'un grand projet d'infrastructures comme El Merk → 3, qui réunit au même moment une multitude de prestataires et de sous-traitants, et des milliers d'ouvriers. Sans lui, le chantier nécessiterait sans doute 12 mois de plus, avec tous les surcoûts et manques à gagner engendrés par ce retard. Il n'est pas rare, dans un projet de cette importance, que l'emplacement des puits ou le tracé des canalisations, par exemple, évolue avec le déploiement du réservoir. Les sous-traitants ayant tendance à interpréter différemment les

données géodésiques, les désaccords sur le positionnement correct des équipements de production sont monnaie courante. Le SIG d'ABB écarte tout risque de malentendu (et, donc, de retards éventuels dans l'exécution du contrat) mais améliore aussi la précision et l'efficacité du chantier.

ABB a fait d'Intergraph son partenaire SIG et fournisseur de la plate-forme géospatiale, ABB gérant les informations du projet et la compilation des données de tous les participants au projet → 4. Le système surveille la construction de chaque ouvrage et équipement du site, des puits et canalisations d'hydrocarbures aux ateliers, bureaux et logements sur la base, ainsi que les lignes électriques, les circuits de distribution d'énergie et d'eau, et les câbles de communication qui relient les installations au réseau national.

### 3 Vues aériennes du site d'El Merk



### Mirage technologique

À la complexité de ce projet ambitieux s'ajoutent l'éloignement et la rudesse du milieu. Sur le plan technique, les ingénieurs se heurtent à une double difficulté : l'étendue des champs et l'obligation de mener de front les travaux de forage des puits, de pose des canalisations et de construction des installations. Côté logistique, il faut acheminer d'énormes quantités de matériels et de matériaux<sup>2</sup> livrés par des fournisseurs et usines du monde entier, et parcourir les 1 000 km

Le SIG est une plate-forme géo-spatiale permettant de concevoir, bâtir et gérer les infrastructures et équipements de production du champ.

de désert séparant le site du littoral algérien. Sans oublier de respecter les contraintes d'efficacité et de rentabilité pour convoier le tout à bon port.

Au pic de l'activité, El Merk mobilisera jusqu'à 6 000 travailleurs locaux et étrangers ; c'est dire les barrières linguistiques et les différences de culture qu'il convient d'anticiper et de gérer au quotidien ! La sécurité est aussi de la partie. La contribution d'ABB au projet est chiffrée en → 5.

### Santé et sécurité

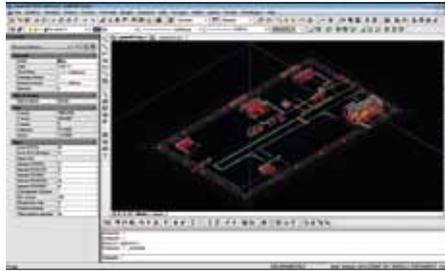
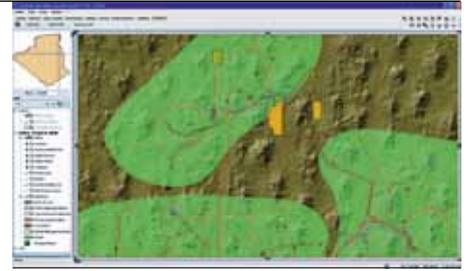
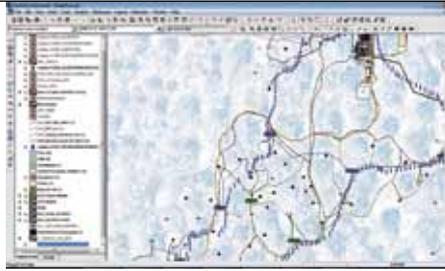
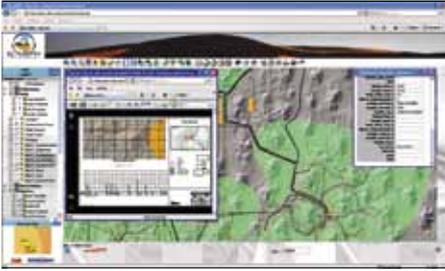
Avec des effectifs de 1 500 personnes cumulant plusieurs millions d'hommes-heures, ABB se doit d'exceller en matière d'hygiène, de sécurité et d'environnement (HSE)<sup>3</sup>. Ses objectifs se déclinent en 5 axes :

- Instiller une culture du « zéro-incident » auprès de tout le personnel ;

### Notes

- <sup>2</sup> Tous les équipements et matériaux doivent résister à une température de 55 °C.
- <sup>3</sup> La politique HSE d'ABB se résume ainsi : zéro-danger pour les personnes, zéro-dommage pour l'environnement, les ouvrages et équipements ; zéro-perte ou destruction de données et de documents.

#### 4 Écrans du système SIG reproduisant les infrastructures et installations d'El Merk.



#### 5 ABB et El Merk en chiffres

ABB évalue la réalisation du projet à :

- 150 000 hommes-heures pour la fourniture d'équipements et la gestion de projet ;
- 200 000 hommes-heures supplémentaires en ingénierie.

Sa fourniture électrique comprend :

- 300 km de câbles haute tension ;
- 200 km de câbles basse tension ;
- plus de 150 tableaux haute, moyenne et basse tension ;
- 140 transformateurs ;
- 3 000 instruments de terrain (vannes de régulation, capteurs, manomètres, débitmètres, etc.) ;
- 400 km de câbles de mesure ;
- 400 km de câbles optiques.

Le consortium ABB est par ailleurs responsable de la conception, de la fourniture, de l'installation et de la mise en service de 700 km de pipelines qui seront équipés de près de 10 000 vannes manuelles.

ABB est également chargé des 5 tours de télécommunication et des systèmes de chauffage, ventilation, climatisation (CVC) et incendie des 10 stations collectrices.

Une équipe ABB supervisera sur place quelque 2 000 collaborateurs SARPI-Petrojet ; ces effectifs devraient consacrer, en 42 mois, 5 millions d'hommes-heures à la construction et à l'installation des équipements annexes d'El Merk.

- Intégrer le triptyque santé-sécurité-environnement dans la totalité des installations et lieux de travail du consortium ;
- Développer et mettre en œuvre un système de gestion HSE et une procédure de gestion des risques ;

L'étendue et la complexité d'El Merk imposent des compétences et outils garantissant l'exécution et l'achèvement du chantier dans les temps et budgets établis.

- Exécuter des programmes HSE d'entreprises spécifiques au site ;
- Être prêt à passer sans heurt le relais des procédures et systèmes HSE à l'exploitant, au terme du projet.

#### Pôle d'excellence

C'est depuis son centre d'excellence milanais qu'ABB pilote, dans les temps, sa part du chantier. Avec plus de 300 projets d'IAGC à son actif, dans les domaines du pétrole et du gaz, de la production d'énergie et de l'eau – pour beaucoup dans des régions reculées et

hostiles –, ABB est l'une des sociétés d'ingénierie affichant l'expertise la plus fructueuse sur ce créneau. Ce palmarès n'est pas le seul critère à prouver l'adéquation d'ABB au projet El Merk : très présent en Algérie depuis les années 1970, le Groupe a accompagné l'essor de l'industrie pétrogazière du pays, qui a notamment vu la création de SARPI, en 1993.

D'autres projets clé en main sont en cours en Algérie : citons l'élimination des gaz torchés à Haoud Berkaoui, pour le compte de Sonatrach (contrat de 225 millions de dollars portant sur des trains de compression du gaz et la ré-instrumentation des trois centres de production), de même que la fourniture des réseaux de fluides et d'énergie, et des installations de stockage et d'exportation pour l'usine de traitement de MLE, dans le bassin de Berkine (pour 245 millions de dollars).

**Sergio Casati**

ABB SpA

Milan (Italie)

sergio.casati@it.abb.com

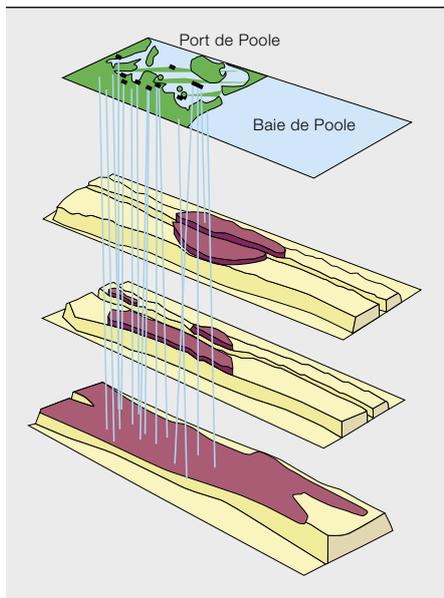


# Les fruits de l'intégration

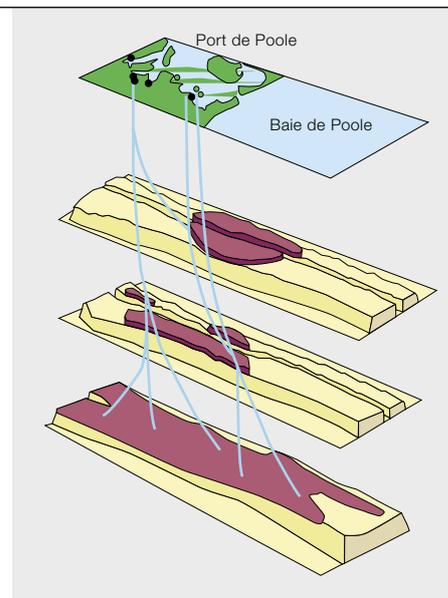
Des solutions globales pour toute la chaîne de production de gaz de charbon

COLIN PEARSON – La recherche effrénée de nouvelles sources d'énergie avive l'intérêt pour le méthane contenu dans les couches de charbon relativement peu profondes. Ce « gaz de charbon », également désigné par l'acronyme anglo-saxon « CBM » (*Coalbed Methane*), est un facteur de risque très important pour la mine. Autrefois, des canaris placés dans les galeries alertaient les mineurs du redoutable coup de grisou provoqué par ce gaz ; aujourd'hui, la technologie permet de le récupérer sous forme liquéfiée pour le valoriser et éviter ainsi

son rejet dans l'atmosphère. Dans le cadre de projets d'exploitation de CBM, ABB apporte une réponse globale en termes d'automatisation, de sécurité, de distribution électrique, de gestion de l'eau et de télécommunications. Ses solutions intégrées offrent une visibilité complète des opérations (souvent réparties sur une vaste zone géographique difficilement accessible) pour l'exploitation, la maintenance, la gestion des équipements et le traitement des alarmes, depuis le « carreau de la mine » jusqu'à l'informatique décisionnelle.



1a Autant de forages que de puits



1b Un forage pour plusieurs puits

Naturellement présent dans les hydrocarbures solides, le méthane a été « adsorbé » dans la veine de charbon au cours de son histoire géologique et de sa formation résultant de processus biologiques ou thermiques. Durant les premiers stades de transformation de la matière végétale en charbon (houillification), l'activité microbienne génère du méthane qui reste piégé dans le filon jusqu'à ce que l'extraction ou la ventilation provoque sa « désorption », à de faibles pressions (1 à 4 bar). La désorption et l'extraction peuvent être réalisées par des procédés relativement simples et peu coûteux, souvent transférables.

Le méthane est la première cause d'accidents miniers dans le monde, faisant, rien qu'en Chine, 5000 victimes par an (soit 80 % de la mortalité annuelle dans les mines). C'est également l'un des plus puissants gaz à effet de serre, dont le pouvoir de réchauffement global est 20 à 25 fois supérieur au dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). La récupération du CBM avant celle du charbon a donc un double effet bénéfique : elle renforce la sécurité des mineurs et réduit de 70 à 80 % les rejets de méthane dans la nature.

Pour que l'extraction soit rentable, la veine doit être relativement peu profonde et inondée. L'exploitation d'un puits commence donc par une phase de « dénoyage » qui peut, selon le cas, durer plusieurs mois ou années. Lorsque la veine est suffisamment asséchée, il y a désorption du gaz qui peut alors être extrait, puis transporté vers des usines de liquéfaction et commercialisé.

Le taux de désorption du méthane dépend de la quantité de charbon non submergé. L'évacuation de l'eau permet donc de réguler la pression et le débit du gaz. Ce dernier point est essentiel car, dans la partie basse pression, les conduites utilisées sont souvent de simples tuyaux PVC. Il est peu rentable de recourir à des conduites en acier ou à de coûteux limiteurs de pression, en raison du grand nombre de puits à forer (généralement plusieurs milliers). Par ailleurs, des débits plus élevés peuvent entraîner l'épuisement prématuré d'un puits.

Le processus d'extraction évacue d'énormes volumes d'eau saumâtre qui doivent être stockés dans de grands réservoirs et traités avant rejet pour préserver l'environnement.

Le dessalement et la compression en amont sont de gros consommateurs d'énergie (parfois dix fois plus que la liquéfaction ultérieure) qui nécessitent d'importants systèmes de distribution électrique et de gestion de l'eau.

#### Méthodes d'extraction

Le CBM est extrait en forant des puits en plusieurs endroits dans la veine de charbon relativement peu profonde (quelques centaines de mètres). La fracturation hydraulique consiste à y injecter sous très haute pression de grands volumes

## Le marché mondialisé et hautement concurrentiel du gaz doit aujourd'hui faire appel à des technologies de plus en plus poussées.

d'eau et du sable, qui s'insinue dans les microfissures et empêche qu'elles se referment lorsque l'injection cesse. Le gaz migre ensuite vers la tête de puits pour être récupéré en surface.

Le cycle de vie d'un puits comprend habituellement une première phase de dénoyage, suivie d'une phase d'écoulement libre. Lors du dénoyage, on installe au fond un groupe de pompage qui peut être retiré quand débute la phase d'écoulement libre. L'équipement est complété d'un séparateur d'eau, d'appareils de

mesure, de panneaux solaires avec batterie de stockage et de postes asservis de téléconduite « RTU » (*Remote Terminal Units*). Ces RTU rapatrient par liaisons sans fil les données de la tête de puits à un centre de commande et de consigne qui, dans le cas d'ABB, peut être un superviseur SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) ou son système d'automatisation étendue 800xA pour constituer une solution totalement intégrée.

Les sites d'exploitation du CBM peuvent nécessiter des milliers de têtes de puits mettant en œuvre plusieurs techniques de forage, dictées par les études de topologie régionale et d'impact environnemental : forage vertical, à l'aplomb du filon à atteindre (un RTU/puits) ; forage directionnel ou incliné (un seul RTU pouvant gérer jusqu'à dix puits), bien moins dommageable pour l'environnement → 1.

ABB TotalFlow est leader sur le marché américain du forage de puits de CBM : sur les 30 000 à 35 000 têtes de puits aux États-Unis, 20 000 à 25 000 sont équipées de matériel ABB → 2.

### Enjeux techniques

Ces grands systèmes distribués que sont les projets d'exploitation du CBM posent de nombreuses difficultés techniques et opérationnelles ainsi que des problèmes de maintenance ; ils exigent soit du personnel posté à chaque installation (stations de compression, par exemple), soit une infrastructure de communication et des équipes de terrain prêtes à intervenir en cas de pannes, défauts ou problèmes de configuration.

La solution intégrée d'ABB fournit des informations et des moyens d'action aux équipes d'exploitation, de maintenance et de gestion (voire aux fournisseurs de solutions informatiques), à partir du centre de conduite et de la plate-forme de développement distants. Elle permet ainsi de réduire au minimum le personnel sur site, améliorant l'efficacité et la sécurité de l'exploitation.

ABB constate une nette tendance en faveur de cette intégration, incitant les clients et propriétaires-exploitants à choisir leurs systèmes de contrôle-commande distribués très en amont du projet, sans s'en remettre aux entreprises d'ingénierie, d'approvisionnement

## 2 ABB et l'exploitation du gaz de charbon

Depuis de nombreuses années, ABB TotalFlow fournit des systèmes pour l'exploitation du gaz de charbon ou « CBM » (*Coalbed Methane*) aux États-Unis et au Canada ; l'entreprise y a équipé les têtes de puits de plus de 30 000 postes de téléconduite. ABB a par ailleurs récemment décroché une commande de 58 millions de dollars (voire plus), dans le cadre d'un projet australien avec BG (Royaume-Uni), pour la fourniture d'une solution totalement intégrée, basée sur son système d'automatisation 800xA et des RTU de fournisseurs tiers.

Plusieurs grandes sociétés gazières jugent désormais rentable l'exploitation du CBM et investissent des milliards de dollars dans l'exploration, l'extraction et les infrastructures. La Chine est l'un des pays qui offrent le plus de perspectives dans ce domaine.

Bien que le gaz extrait ait été jusqu'à présent surtout distribué directement aux « consommateurs », on envisage désormais de le commercialiser sous sa forme liquéfiée.

La chaîne de production du CBM comprend plusieurs procédés et équipements relativement simples : têtes de puits, compression, distribution et stockage, liquéfaction et chargement. L'eau

produite par les têtes de puits est évacuée vers de grandes retenues en vue de son rejet ultérieur. Des compresseurs basse pression transfèrent le gaz « humide » vers une installation de séchage, puis des compresseurs haute pression l'injectent dans des gazoducs qui, dans certains cas, servent également au stockage. En aval, la chaîne se termine par les trains de liquéfaction et les réseaux de distribution par bateau.

Compte tenu de l'étendue des opérations, il est impératif d'en optimiser l'intégration afin de dépêcher le moins de techniciens de maintenance et d'ingénieurs sur place (en terrain souvent très difficile) pour dépanner et configurer les appareils.

S'appuyant sur une solide expertise et un portefeuille complet d'activités, ABB a su répondre aux besoins spécifiques de ces projets d'envergure avec des solutions globales associant automatismes, sécurité, distribution électrique, gestion de l'eau et télécoms. Sans cela, l'utilisateur serait incapable de tirer tout le potentiel des diagnostics fournis par le système 800xA et serait contraint d'envoyer du personnel sur site, accentuant les risques pour la santé et la sécurité.

et de gestion de la construction (IAGC), dont les choix d'investissement sont souvent en conflit avec les impératifs à long terme du donneur d'ordre.

La stratégie ABB alliant « excellence opérationnelle », produits et services intégrés, et technologie apporte une réponse extrêmement efficace à ces grands pro-

## Sur les marchés tendus du gaz naturel liquéfié, les activités d'extraction et de distribution doivent plus que jamais marier efficacité et fiabilité.

jets centrés sur l'utilisateur. Plusieurs arguments de poids justifient cette ligne de conduite → 3.

### Avantages clients

Les propriétaires-exploitants les plus tournés vers l'avenir se préparent dès à présent à revoir leurs stratégies d'automatisation pour relever ces défis d'intégration, comme l'ont récemment montré des projets australiens de CBM. L'architecture du système 800xA d'ABB et son évolutivité répondent parfaitement à ces besoins d'intégration en permettant à nos clients de tirer le maximum de leurs équipements sur le long terme, tout en offrant à leur personnel un environnement de travail efficace et sûr.

En fédérant ses automatismes, télécoms et matériels électriques (conformes à la norme CEI 61850, sous protocole Profinet) dans l'environnement 800xA, ABB offre aux utilisateurs une visibilité sans précédent de leurs équipements et en optimise l'exploitation.

Selon une récente étude du cabinet ARC, cette meilleure visibilité de l'état global du système, depuis un centre de conduite, évite plus de 44 % des défaillances matérielles.

Une solution totalement intégrée pour l'automatisation du procédé, la sécurité, le contrôle-commande électrique, la

### 3 Onze arguments en faveur d'une exploitation intégrée du CBM

- La pénurie d'ingénieurs et, par conséquent, le manque de personnel apte à garantir la continuité des opérations ; cela vaut notamment pour des pays qui, comme l'Australie, ont du mal à recruter.
- Les progrès de la téléconduite et l'accès à un support technique mondial, qui permettent aux utilisateurs de bénéficier de l'expertise d'ABB et de prestataires tiers en évitant les coûts et inconvénients des déplacements dans le monde entier.
- La possibilité de limiter et de simplifier au maximum les contrats de maintenance sur site, le CBM étant souvent exploité dans des endroits isolés ou hostiles.
- La nécessité croissante de réduire les dépenses d'investissement et d'exploitation en améliorant et en optimisant les systèmes à distance.
- L'obligation, tant pour les sociétés d'ingénierie que les utilisateurs, d'intégrer leurs ressources en automatismes, technologies de l'information et génie électrique pour des raisons de coûts et de déficit de compétences : un effort facilité par la nature intégrée des systèmes d'automatisation et des outils de conception et de modélisation d'usines tels que SmartPlant (Intergraph) ou Comos PT.
- Les risques accrus de non-respect des délais dû au resserrement des calendriers de projet et à l'hétérogénéité des systèmes.
- Des politiques d'excellence opérationnelle (clé de la rentabilité à long terme des projets) élaborées par les utilisateurs au sein de leurs propres groupes.
- Des décisions stratégiques devant s'appuyer sur des informations temps réel opportunes pour tirer pleinement parti des variations du procédé et des conditions du marché.
- Des puits ou groupes de puits appartenant souvent à plusieurs participants au projet, ce qui complique la gestion de la production et oblige à prendre des décisions sur la base de données multisources, puisées à différents niveaux de l'organisation (du terrain à la gestion).
- Les acquis et attentes d'une génération d'opérateurs rompus aux usages numériques ; les futures formations vont englober toutes les composantes de l'automatisation (génie électrique, télécoms, informatique).
- La nécessité, pour le personnel du centre de conduite, d'avoir une vue globale de multiples sites de production pour homogénéiser les procédures d'exploitation et de maintenance dans toute l'entreprise.

Ces critères tangibles s'appliquent parfaitement aux très grands projets CBM au long cours.

### 4 Les vertus de l'intégration

- Elle procure aux opérateurs une vue complète et cohérente de tout le site avec des relevés d'alarmes, journaux de bord et rapports de gestion des équipements communs aux systèmes d'automatisation, de distribution électrique et de télécommunications.
- Elle autorise des outils de développement communs pour la configuration et la maintenance.
- La conformité CEI 61850 permettant l'intégration des dispositifs électroniques intelligents « IED » réduit les risques et les coûts tout en fournissant une grande quantité de données de diagnostic aux systèmes intégrés de gestion des alarmes/événements et des équipements.
- Les systèmes de gestion de la maintenance assistée par ordinateur peuvent gérer tous les équipements (appareils de terrain intelligents, IED, outils télécoms).
- Des rapports sur les équipements et la production peuvent être produits à partir des données dynamiques provenant de la totalité des actifs raccordés à l'entreprise. Les responsables d'unité peuvent prendre des décisions plus précises s'ils ont accès à ces informations temps réel sur l'ensemble du site. Cela permet d'optimiser les processus décisionnels, tant en matière de budget que de production.

En assurant toutes ces fonctions à partir d'une seule plate-forme harmonisée, le système 800xA d'ABB s'érige en leader des solutions de contrôle-commande étendu pour les grands projets CBM.

### 5 Espace de travail 800xA d'ABB



gestion de l'énergie et les télécommunications s'appuyant sur une plate-forme et des protocoles communs, est avantageuse à plus d'un titre → 4.

#### Contrôle-commande centralisé

Les utilisateurs de ces grands systèmes distribués doivent impérativement avoir accès aux informations utiles, toutes sources et tous types de système confondus. En mettant à leur disposition un environnement unique, homogène et cohérent, ABB peut fournir à ses clients des systèmes et solutions conformes aux principes et exigences d'exploitation édictés par les normes EEMUA (191 et 201) et ISO 11064.

En tenant compte du mode opératoire des clients, ABB est amené à proposer des offres intégrées dotées d'interfaces utilisateurs communes, quels que soient les fournisseurs des équipements de terrain. Cette stratégie répond aux intérêts des clients à long terme et procure à ABB un réel avantage concurrentiel puisque le système 800xA est bâti sur ce principe.

L'utilisateur ayant en main les informations d'exploitation et de maintenance nécessaires peut prendre les bonnes décisions au bon moment et réagir rapidement à toutes les urgences.

L'avantage est manifeste lorsque le temps d'intervention est crucial.

Le système 800xA, avec son interface homme-machine et son poste de conduite panoramique → 5, permet aux utilisateurs (opérateurs, agents de maintenance et responsables) de remplir leur mission beaucoup plus efficacement que par le passé.

#### Des écueils ?

Dans une certaine mesure, c'est au niveau des approvisionnements que peuvent se dresser des obstacles à une excellence opérationnelle pérenne. Souvent, les stratégies d'achat imposent de rogner sur plusieurs volets de la solution pour pouvoir soutenir la comparaison avec la concurrence en matière de coûts. Bien que justifiée, la démarche pousse les acheteurs à opter pour le composant le moins cher, sans tenir compte des aspects liés à l'intégration ou les coûts d'exploitation sur le long terme.

Dans ses récents projets en Australie, ABB a été en mesure de fournir une puissante solution intégrée de produits et services, permettant à ses clients de tirer le maximum de leurs systèmes pour les propulser dans le peloton de tête des producteurs de CBM.

#### Colin Pearson

ABB Process Automation  
St Neots (Royaume-Uni)  
colin.pearson@gb.abb.com



# Distribution électrique *offshore*

ABB met à profit son savoir-faire pour proposer des solutions électriques et d'automatisation intégrées, clé en main

ANDREAS RENULF, J. PAUL SINGH – Traditionnellement, les sociétés pétrogazières et les entreprises d'ingénierie, d'approvisionnement et de gestion de la construction (IAGC) achètent leurs équipements électriques et leurs systèmes d'automatisation auprès de différents fournisseurs. Dans le même temps, ils font appel à une entreprise spécialisée pour construire le bâtiment destiné à les

accueillir. Or la nécessité de réduire à la fois les risques, les coûts et les délais remet en cause cette pratique pour lui préférer des solutions complètes et intégrées, prêtes à installer et à mettre en service. L'offre de produits et de systèmes ABB est parfaitement adaptée à cette évolution, le Groupe ayant déjà fourni de nombreuses solutions clé en main.



Pour bon nombre d'entreprises, s'approvisionner auprès d'un fournisseur unique présente un avantage majeur indiscutable. Dans l'industrie du pétrole et du gaz, tout le matériel électrotechnique (appareillages → 1, variateurs de vitesse, tableaux de distribution, automatismes, etc.) provient traditionnellement de plusieurs fournisseurs. Qui plus est, la construction du bâtiment dans lequel ils seront installés est généralement confiée à une entreprise spécialiste des structures métalliques. Or cette manière de procéder présente des risques inhérents accrus d'erreurs lors de l'intégration, de dérive des coûts et d'allongement des délais de mise en service.

Pour réduire ces risques tout en maîtrisant les budgets d'investissement, la meilleure solution consiste à faire appel à un seul et même fournisseur « ensemble » pour toutes les étapes d'un projet : études, conception, assemblage, intégration, essais et livraison des équipements, gestion de la construction du bâtiment.

#### Réduction des risques

Pour tout projet d'installation électrique, une société d'IAGC ou pétrogazière s'approvisionne généralement auprès d'une multitude de fournisseurs. Or toute

modification, même mineure, des charges électriques entraîne une cascade de modifications des caractéristiques des équipements (réglage de l'appareillage, couple des entraînements, nombre d'E/S, agencement du bâtiment et besoins en climatisation). Le donneur d'ordres se voit alors obligé d'avertir chaque fournisseur ainsi que le constructeur du bâtiment, qui doivent à leur tour apporter toutes les modifications indispensables, avec un risque d'erreurs élevé. En s'approvisionnant auprès d'un fournisseur unique, ce risque est atténué.

#### Réduction des coûts

Les coûts peuvent s'envoler pour plusieurs raisons. S'agissant de systèmes électriques et d'automatisation, ils dérivent très vite lorsque plusieurs fournisseurs doivent installer les équipements sur des sites assez souvent éloignés.

Avec un fournisseur unique, le système pré-assemblé, prétesté et en état de marche est expédié sur site où il n'y a plus qu'à le « brancher ». Qui plus est, les éléments préfabriqués du bâtiment → 2, 3 peuvent être expédiés sous forme de modules avec un minimum d'assemblage sur site. En cas de modification des charges électriques en cours d'études, les adaptations se font sans surcoût car elles sont centralisées par le fournisseur unique. Enfin, la réduction

des travaux sur site induit d'importantes économies financières.

#### Réduction des délais

La logique traditionnelle d'approvisionnement multi-source impose de terminer la construction du bâtiment avant de

---

Pour un fournisseur de matériel et de systèmes électriques, gérer la construction d'un bâtiment est un métier relativement nouveau qui requiert des compétences supplémentaires.

livrer, d'installer, de câbler et de mettre en service les équipements. Avec des éléments préfabriqués, cela peut se faire en parallèle et le système opérationnel être expédié sur site en une seule fois, réduisant les délais de livraison et d'installation.

La masse et l'encombrement sont des paramètres clés si l'ouvrage est destiné à une plate-forme offshore ou une unité flottante de production, de stockage et

---

**Photo p. 29**  
Bâtiment abritant les équipements électriques d'une plate-forme offshore.

de déchargement FPSO. Dans ce cas, les relations entre le fournisseur de matériel électrique et le constructeur du bâtiment sont d'autant plus importantes que ce dernier ne pourra prévoir d'espace supplémentaire pour prendre en compte des modifications du matériel.

### Stratégie d'approvisionnement mono-source

Quelques grandes sociétés d'IAGC, notamment au Japon, ont perdu beaucoup d'argent suite à des dépassements de budget. C'est pourquoi elles ont récemment opté pour une stratégie d'approvisionnement mono-source, le fournisseur unique supervisant également la construction du bâtiment qui abrite les équipements électriques. D'autres secteurs y viennent, comme l'industrie minière qui cherche à limiter les interventions sur chantier car les mines sont souvent situées dans des endroits isolés où il est difficile de recruter du personnel qualifié. Les producteurs d'énergie s'y intéressent pour la même raison, leurs centrales électriques se trouvant souvent sur des sites éloignés.

Pratiquement tout le matériel nécessaire à l'alimentation électrique d'une plateforme offshore ou d'une FPSO peut être fourni, prétesté et installé par ABB. Le client bénéficie alors d'un interlocuteur unique qui assume l'entière responsabilité de la fourniture, réduisant les risques de retard et de surcoût.

### Nouveaux défis

Fournir des produits performants – appareillages électriques, variateurs de vitesse, systèmes d'automatisation, etc. – est dans la nature d'ABB. Mais pour un fournisseur de matériel et de systèmes électriques, gérer la construction d'un bâtiment est un métier relativement nouveau qui requiert des compétences supplémentaires en structure métallique, génie climatique, systèmes de détection incendie et gaz, passage des câbles et, plus important encore, gestion de projet. Assumer cette responsabilité et accepter les risques inhérents supplémentaires imposent de disposer, entre autres, de ces compétences. Les modifications en cours de construction sont inévitables et doivent être soigneusement gérées. Ainsi, par exemple, si l'emplacement des tableaux électriques change, la longueur des câbles évolue.

## 2 Fabrication du bâtiment des équipements électriques offshore



Certes, les sociétés pétrolières et d'ingénierie sont capables de gérer cette construction elles-mêmes. Mais déléguer cette tâche à un fournisseur comme ABB peut être très avantageux. Pour réussir, il est indispensable de bien connaître les ressources du constructeur de même que son mode de chiffrage car le coût du bâtiment peut représenter jusqu'à 50 % du budget global. Pour construire au meilleur coût, ABB s'appuie sur sa puissance d'achat à l'échelle mondiale.

Ultime épreuve de vérité après la livraison : le service, bien sûr ! En choisissant un seul fournisseur comme ABB, le donneur d'ordres sait qu'il aura en face de lui un prestataire unique qui assurera tous les services liés aux produits et au bâtiment.

### Des projets couronnés de succès

Chaque projet offshore pose des contraintes spécifiques et demande une solution sur mesure. Les contrôles demandés par les autorités maritimes et les études de faisabilité sur différents aspects (levage de charges lourdes, traitement de surface, arrimage et procédures de mise hors circuit) sont systématiquement réalisés. ABB dispose également d'équipes qualifiées et expérimentées en Asie du Sud-est et en Chine.

### Préparation des offres

La qualité technique des offres est un important levier de réussite des projets de distribution électrique offshore d'ABB. Nous l'avons dit, le bâtiment abritant les équipements peut atteindre 50 % de la valeur totale du contrat. En consultant

Avec un fournisseur unique, le système pré-assemblé, prétesté et en état de marche est expédié sur site où il n'y a plus qu'à le « brancher ».



des ingénieurs spécialistes de la construction de tels ouvrages pendant la phase de proposition, on réduit à la fois les risques liés à la gestion de projet et le

#### Santé et sécurité au travail

La santé et la sécurité de son personnel et de celui de ses partenaires est une des priorités d'ABB. De même,

tous nos produits et solutions techniques doivent être conformes aux exigences les plus strictes. Des études complètes d'analyse de risques sont réalisées avant toute mise en fabrication ou en chantier. Les règles et normes de sécurité sont appliquées

aux étapes de conception technique et de planification des projets pour garantir la conformité tout au long du cycle de vie de l'infrastructure complète.

#### Qualité

Chez ABB, la qualité fait partie intégrante des produits et services. Ses systèmes avancés de gestion de la qualité couvrent la totalité des processus, depuis les premiers contacts avec le client jusqu'aux services après-vente, en passant par la livraison du produit final et sa mise en service. Par exemple, le personnel qualifié en charge des contrôles qualité est présent en permanence sur le chantier en phase de construction. Nos équipes d'assurance qualité développent et tiennent à jour toutes les procédures de qualité.

#### Gestion de la documentation

La gestion de la documentation est une fonction importante de tous les projets ABB; elle englobe la transmission, le suivi et l'archivage de tous les documents liés à chaque projet. Une personne en assure le contrôle et la gestion. Des outils comme la gestion électronique de documents (GED), notamment, ajoutent de la valeur au projet et accélèrent l'échange d'informations pendant son exécution.

#### Chaîne d'approvisionnement

Le responsable des approvisionnements est un membre à part entière de l'équipe projet. Il gère notamment la logistique, les devis, l'évaluation des fournisseurs ainsi que la documentation et la certification. Le rôle du gestionnaire de projet inclut la coordination de cette fonction d'approvisionnement pour garantir une gestion efficace de tous les matériels et matériaux spécifiques au projet.

En choisissant un seul fournisseur comme ABB, le donneur d'ordres sait qu'il aura en face de lui un prestataire unique qui assurera tous les services liés aux produits et au bâtiment.

nombre probable de modifications ultérieures. Ces ingénieurs peuvent alors vérifier l'adéquation de plusieurs éléments (masse de la structure, besoins en génie climatique, câblage et raccordements, moyens de circulation, détection incendie et gaz) au cahier des charges. Cette démarche garantit la pertinence de l'offre ABB.

#### Gestion de projet

La réussite d'un tel projet est largement tributaire d'une gestion et d'un suivi de chantier efficaces. Par ailleurs, s'agissant principalement de projets pétro-gaziers, il existe des procédures très strictes de certification et d'analyse des risques. L'équipe projet doit donc posséder une expérience dans la construction de ce type d'ouvrage; ABB bénéficie d'un solide savoir-faire dans la gestion des grands chantiers.

#### Andreas Renulf

Anciennement chez ABB Process Automation  
Oil, Gas and Petrochemicals

#### J. Paul Singh

ABB Process Automation  
Oil, Gas and Petrochemicals  
Singapour  
paul.singh@sg.abb.com

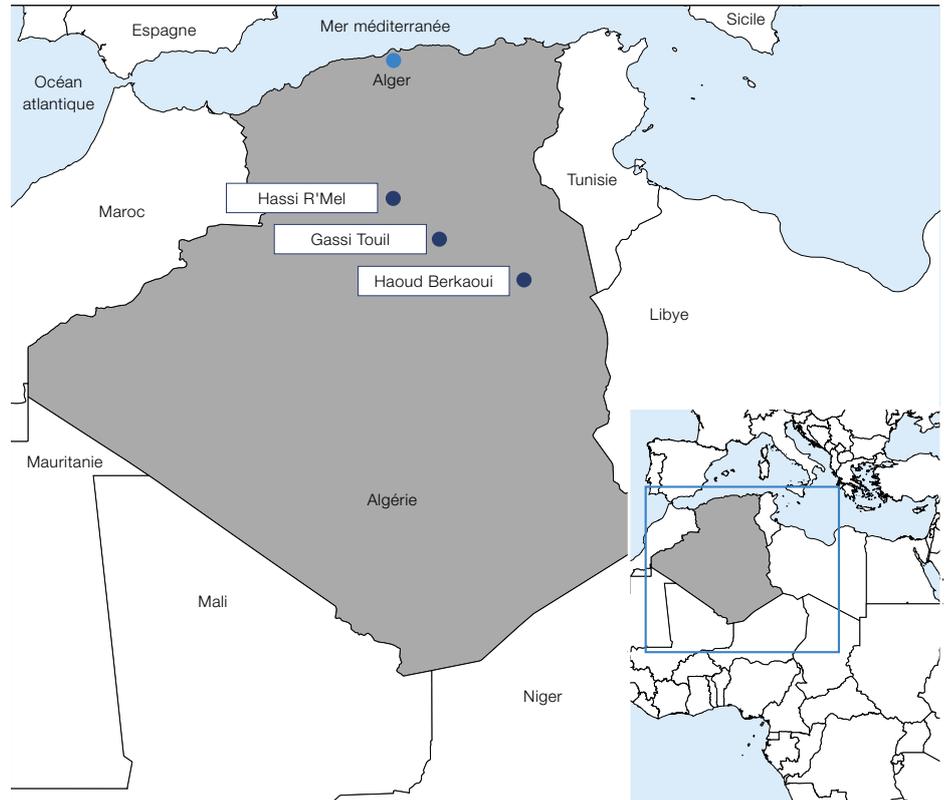


# Clair comme de l'eau de roche

Une solution de séparation huile/eau  
souple, compacte et efficace

MARCO APICELLA, NUNZIO BONAVITA, PAOLO CAPELLI, RAIMONDO CIANFRUGLIA – L'eau de production est un sous-produit huileux de l'exploitation pétrolière et gazière, dont la forte salinité pose de sérieux problèmes en termes d'environnement. Il s'agit essentiellement d'eau piégée dans les formations souterraines et amenée à la surface avec le pétrole ou le gaz extrait. Cet effluent représente, en volume, le principal rejet de l'industrie pétrogazière. Or son traitement se heurte à de grandes difficultés et coûte cher aux exploitants [1]. Du fait de sa forte salinité, son rejet peut présenter des risques pour l'environnement.

## 1 Localisation des installations de déshuilage d'eau



Les effluents huileux posent un problème environnemental majeur dans de nombreux secteurs industriels [2] comme la métallurgie, le textile, l'automobile, la pétrochimie et l'aéronautique. Le traitement de ces effluents associe traditionnellement des procédés physiques, chimiques et biologiques. Outre les eaux de formation, l'eau de l'exploitation gazière comprend également de l'eau de condensation et elle est plus fortement chargée en hydrocarbures aromatiques de faible masse moléculaire, tels que le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et le xylène (BTEX). Elle est donc comparativement plus toxique que l'eau de la production pétrolière; des études ont d'ailleurs montré que les eaux rejetées par les plates-formes d'extraction de gaz à condensats étaient environ dix fois plus toxiques que celles issues de plates-formes pétrolières [3].

Pendant des décennies, le traitement classique des effluents huileux s'est conformé à la norme API 650 de l'Institut américain du Pétrole relative à la séparation eau/huile. Il s'agit d'une séparation gravimétrique en bassins de décantation avec clarification des effluents dans un bassin de rétention avant épandage, ce qui entraîne une importante pollution de l'air et des eaux souterraines. À l'évi-

dence, cette démarche va à l'encontre des exigences plus strictes de la réglementation environnementale actuelle. Elle ne se prête pas non plus à des solutions intégrées de traitement en sites isolés.

Un large éventail de nouveaux modes de séparation des effluents huileux est désormais disponible: les différents flux peuvent être séparés et concentrés au moyen d'hydrocyclones, de séparateurs à plaques coalescentes ou par ultrafiltration. Les effluents huileux sont généralement séparés en une phase huileuse et une phase aqueuse par gravité, au moyen soit d'un séparateur normalisé API, soit d'un séparateur à plaques parallèles. La couche huileuse en surface peut ensuite être retirée à l'aide de divers dispositifs. Dans les cas plus difficiles, la flottation à l'air améliore et accélère aussi la séparation (au besoin, à l'aide d'additifs chimiques) et la récupération. L'ultrafiltration joue également un grand rôle dans l'épuration des effluents pour permettre leur rejet dans le réseau d'égouts et la récupération d'un concentré huileux suffisamment riche pour être incinéré.

Si ces méthodes donnent de bons résultats dans un grand nombre de cas et permettent de respecter la limite réglementaire de 100 mg d'hydrocarbures totaux par litre, elles ne répondent pas aux objectifs fixés par les propositions de réglementation environnementale européenne et risquent de ne pas se conformer à la directive ATEX régissant la sécu-

## Le traitement des effluents huileux représente un défi environnemental majeur en raison de leur forte salinité et des contraintes locales.

rité des procédés en atmosphère explosible [4].

De surcroît, aucune de ces méthodes de filtration ne permet à elle seule d'éliminer les métaux lourds ni de réduire la demande chimique en oxygène (DCO) ou encore la charge azotée et phosphorée des effluents. Il faut pour cela des traitements supplémentaires, tels que la précipitation ou l'oxydation chimique, l'entraînement à l'air ou l'adsorption sur charbon actif. Toutefois, ces procédés sophistiqués ne conviennent générale-

ment pas aux solutions intégrées en sites isolés et génèrent tous des concentrés ou des boues toxiques qui doivent, à terme, être traités ou éliminés en tant que déchets spéciaux.

### Installations de déshuilage d'eau

Entre 2000 et 2006, ABB a conçu et construit, en partenariat avec SARPI (co-entreprise ABB/Sonatrach), sept installations de déshuilage d'eau en Algérie, réparties sur trois sites → 1 :

- Trois, dans la région de Hassi R'Mel (capacité de traitement totale de 3 400 m<sup>3</sup>/jour) ;
- Trois, dans la région de Haoud Berkaoui (4 800 m<sup>3</sup>/jour) ;
- Une, dans la région de Gassi Touil (2 400 m<sup>3</sup>/jour).

Après livraison, ces installations ont été exploitées et entretenues en interne jusqu'en 2007, puis ces services ont été externalisés, suite à un changement de politique.

ABB et SARPI ont été chargés de l'exploitation et de la maintenance globale, pour cinq ans :

- des trois installations de Hassi R'Mel, depuis mars 2009 ;
- du site de Gassi Touil, depuis février 2009.

Les trois installations de Hassi R'Mel sont appelées « Nord », « Centrale » et « Sud », selon leur implantation géographique.

Avec une capacité de traitement journalière de 2 400 m<sup>3</sup>, l'installation « Centrale » est la plus grande tandis que les deux autres sont nettement plus petites (500 m<sup>3</sup>).

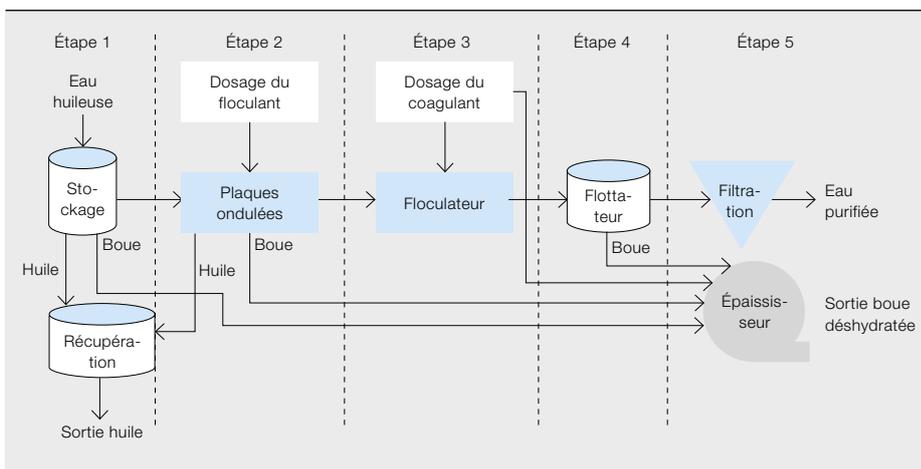
L'installation de Gassi Touil a la même capacité que celle de Hassi R'Mel Centrale et elle a été construite en même temps (démarrage en 2001) tandis que les deux plus petites (Hassi R'Mel Nord et Sud) sont entrées en activité en 2006. Gassi Touil et Hassi R'Mel Centrale ont été modernisées en 2008 dans le cadre du projet actuel, afin d'améliorer leur rendement et leur performance.

### Procédé

Schématiquement, le procédé comprend trois cycles de traitement distincts :

- Eau : l'eau du gisement pétrolier et gazier, chargée en hydrocarbures et

## 2 Synoptique du traitement de l'eau huileuse



en particules en suspension, est récoltée dans un réservoir de stockage. Elle traverse un déshuileur à plaques ondulées, puis est dirigée vers un flocculateur où sont ajoutés des agents chimiques tels que flocculants et coagulants. Elle est ensuite transférée dans un flottateur, puis l'eau purifiée est filtrée avant d'être réinjectée dans le sol.

- Huile : les hydrocarbures flottant à la surface du réservoir de stockage et du déshuileur sont récupérés à l'aide d'écumeurs d'huile (disques) et collectés dans un réservoir de récupération d'huile, avant d'être expédiés vers l'unité de production pétrolière du client.
- Boue : la masse de floccs formés dans le déshuileur et le flocculateur est dirigée vers le flottateur. Ces floccs s'accumulent jusqu'à constituer une boue qui est récupérée à l'aide d'un racleur dans le flottateur et transférée dans un épaisseur. Les boues collectées au fond du réservoir de stockage, du flottateur et du flocculateur sont également dirigées vers l'épaisseur.

À Hassi R'Mel, Gassi Touil et Haoud Berkaoui, l'eau subit ce même traitement en 5 étapes → 2.

Au cours du stockage, les hydrocarbures plus légers remontent à la surface du réservoir S 101 et sont récupérés à l'aide d'un écumeur d'huile avant de passer dans le réservoir S 108. L'eau est transférée dans le déshuileur S 102 où elle est séparée des hydrocarbures par un procédé physique. L'addition d'un flocculant spécifique dans le déshuileur entraîne la constitution de floccs qui s'accumulent

La filtration mécanique traditionnelle est renforcée par une filtration chimique au cours de laquelle des grains de sable sont enrobés d'additifs chimiques.



La solution utilise des composants de base bon marché et disponibles : un réel avantage dans les régions désertiques.

pour former une boue, facilitant ainsi la récupération des hydrocarbures et des particules solides. La troisième phase intervient dans le flocculateur S 103 avec l'addition d'un coagulant spécifique permettant l'élimination de la matière colloïdale.

L'eau est ensuite transférée vers le flottateur S 104 où l'injection d'air comprimé provoque la formation de très fines bulles d'air qui font remonter les floccs à la surface, permettant ainsi leur collecte. Les matières solides en surface sont retirées à l'aide d'un racleur et transférées dans l'épaississeur S 105. L'eau est ensuite traitée de différentes manières selon l'installation :

- À Gassi Touil et Haoud Berkaoui, elle est transférée dans un bassin externe où elle s'évapore ;
- À Hassi R'Mel, elle est filtrée avant d'être injectée dans le sol.

La cinquième et dernière étape comprend l'épaississement et la déshydratation : les matières solides collectées dans le flottateur S 104, la boue du réservoir de stockage S 101 ainsi que les matières solides provenant du déshuileur et du flocculateur S 103 sont agglomérées et centrifugées. La boue est ensuite stockée à l'extérieur.

#### Défis

Le traitement de l'eau dans ces conditions particulières est très difficile. Les auteurs de cet article ont entrepris un grand nombre de recherches et d'essais, notamment avec un large éventail de produits du commerce couramment utilisés dans le traitement d'eaux huileuses et industrielles, sans pour autant aboutir à des résultats pleinement satisfaisants.

Cependant, une nouvelle formulation stœchiométrique de produits traditionnels a donné des résultats étonnamment bons et montré la voie. D'autres expériences ont permis la conception et la réalisation d'un dispositif de dosage mobile permettant de traiter et de préparer automatiquement l'additif à des doses optimales, à partir de matières premières disponibles dans ces pays en développement.

L'eau traversant les filtres étant mélangée avec le même additif, la phase de filtration s'en trouve également améliorée. La filtration mécanique traditionnelle est dès lors renforcée par une filtration chimique au cours de laquelle des grains de sable sont enrobés d'additifs chimiques.

Enfin, le procédé est suffisamment souple pour pouvoir s'adapter aux spécificités et besoins de chaque installation. L'expérience nous a appris que la capacité à comprendre et à résoudre les problèmes

#### 4 Opérations courantes

- Contrôles périodiques des paramètres *process* (sur site et dans le poste de commande)
- Enregistrement et analyse des valeurs et de l'évolution des paramètres *process*
- Gestion de l'installation selon l'évolution des paramètres *process* : ouverture/fermeture des vannes de dosage d'additifs chimiques, etc.
- Contrôles visuels des dispositifs et instruments
- Prédiagnostic de dysfonctionnements (bruit, vibration, température anormale, etc.)
- Enregistrement de la consommation et reconstitution des réserves d'additifs chimiques
- Sécurisation des dispositifs avant le début des opérations de maintenance
- Arrêts et démarrages planifiés des dispositifs
- Coordination avec le personnel de maintenance et le technicien de laboratoire

propres à un site avait autant d'importance que la technologie mise en jeu.

#### Avantages

Cette solution novatrice a fait l'objet d'un dépôt de brevet. Outre l'avantage d'être relativement peu onéreuse, elle permet d'éliminer une part significative des métaux lourds par un processus de type échange ionique.

Ce choix de procédé se justifie aussi par les atouts manifestes de sa mise en œuvre.

En effet, la solution proposée :

- peut être adaptée au traitement d'eau huileuse fortement saline ;
- est insensible au pH de l'effluent ;
- est insensible à la température de l'effluent ;
- convient à une large gamme de débits (0 à 100 % du flux maximal entrant) ;
- améliore l'efficacité énergétique en tirant parti de l'écoulement par gravité qui minimise le nombre de pompes mises en œuvre.

La solution se caractérise également par un faible encombrement, l'installation étant logée dans une enceinte d'à peine 35 m de large sur 80 m de long → 3. Elle permet une gestion aisée par des opérateurs locaux et les substances chimiques utilisées peuvent être produites sur site à partir de composants de base bon

#### 5 Qualité de l'eau traitée à Hassi R'Mel Centrale

	Unités	Eau à l'entrée	Eau à la sortie	Valeurs acceptables après traitement
Concentration d'hydrocarbures	mg/kg	278,90	0,70	5
Concentration de matières solides en suspension	mg/kg	11,05	0,34	20 (SiO <sub>2</sub> )
Degré de filtration	µm	> 5	< 5	5

marché et disponibles, ce qui est extrêmement avantageux dans des régions désertiques comme le Sahara algérien. Enfin, grâce à leur conception, les installations de déshuilage peuvent être montées sur systèmes mobiles (en usine ou en atelier), puis transférées sur site en vue de l'installation finale et de la mise en service.

#### Bilan opérationnel

Après modernisation, les installations de déshuilage d'eau de Gassi Touil et Hassi R'Mel Centrale ont été mises en service au premier trimestre 2009.

Pour chacune d'elles, trois groupes d'intervenants ont été constitués pour assurer la continuité et la performance du procédé :

- Une équipe d'exploitation composée d'un responsable du site et de quatre opérateurs (deux en équipe de jour + deux en équipe de nuit) ;
- Une équipe de maintenance composée d'un mécanicien, d'un électricien et d'un instrumentiste, secondés d'un assistant ;
- Un technicien de laboratoire.

Les activités de maintenance → 4 sont organisées selon un programme précis, fondé sur les manuels de maintenance des équipements et une analyse de leur criticité, qui vise à garantir la disponibilité, la fiabilité et la conformité de l'installation avec la réglementation sanitaire, sécuritaire et environnementale. Cette planification

a permis d'alléger la maintenance corrective et de maximiser les tâches de maintenance préventive suivantes :

- Révisions complètes ;
- Inspection des organes mécaniques et statiques ;

- Vérification des appareils de mesure et des composants électriques ;
- Gestion des pièces de rechange ;
- Recharge des lubrifiants ;
- Nettoyage général.

Pour assurer le bon fonctionnement des installations, des analyses sont régulièrement effectuées en laboratoire par un technicien en charge des analyses d'eau de l'ensemble des installations de déshuilage d'une même région. À cet effet, les paramètres suivants sont déterminés quotidiennement dans des échantillons d'eau :

- Teneur en hydrocarbures ;
- Concentration de particules en suspension ou turbidité ;
- Degré de filtration (uniquement pour Hassi R'Mel) ;
- pH (uniquement pour la préparation de floculant).

Après démarrage de l'installation et début d'exploitation, les analyses de laboratoire ont systématiquement fourni d'excellents résultats → 5. Il est à noter que les mesures de teneur en hydrocarbures et de concentration de particules en suspension dans l'eau purifiée sont respectivement 7 et 55 fois plus

**Ce procédé novateur est suffisamment souple pour s'adapter aux spécificités et besoins de l'installation, avec des équipements peu encombrants.**

faibles que celles stipulées dans le cahier des charges client → 6.

L'installation met en œuvre des appareils (pompes, moteurs, compresseurs d'air, etc.) et instruments (indicateurs, capteurs, etc.) classiques ne nécessitant de



l'opérateur ni savoir-faire ni expérience spécifiques. Son exploitation est relativement simple et l'ensemble du procédé est piloté par un système de contrôle-commande distribué, dans la salle de commande. L'agencement et le profil hydraulique de l'installation ont été conçus pour utiliser au maximum l'écoulement par gravité et réduire le nombre

La teneur en hydrocarbures et la concentration de particules en suspension dans l'eau purifiée sont respectivement 7 et 55 fois plus faibles que celles stipulées dans le cahier des charges client.

de pompes. L'appareillage électrique et l'instrumentation sont conformes à la directive ATEX et l'installation est équipée d'un système de protection incendie qui utilise, selon le cas, de l'eau, de la mousse et du CO<sub>2</sub>. La construction et le réglage de l'installation se sont étalés sur près de deux ans, dont six semaines pour la mise en service et la phase préparatoire à celle-ci.

### Perspectives d'avenir

La stratégie du traitement de l'eau huileuse et sa mise en œuvre ont donné d'excellents résultats à plusieurs égards. Tout d'abord, les objectifs visés ont été atteints et dépassés en termes de qualité des eaux traitées et rejetées. Ensuite, ces résultats ont été obtenus assez rapidement, en procédant avec intelligence et prudence, assurant ainsi une performance durable. Enfin, la conception de l'installation permet de réduire la consommation d'énergie et donc de minimiser les coûts d'exploitation.

Du fait de ses spécificités, la solution se prête parfaitement au traitement des effluents fortement salins de l'exploitation pétrolière et gazière.

La méthodologie pourrait aisément être déployée avec succès dans les installations de traitement d'eau de différentes filières industrielles, du raffinage pétrolier à l'industrie papetière, en passant par l'exploitation des sables bitumineux – marché prometteur dans des régions telles que l'Alberta (Canada) – qui nécessite de grands volumes d'eau.

**Marco Apicella**

**Nunzio Bonavita**

**Paolo Capelli**

ABB Process Automation, Service

Milan (Italie)

marco.apicella@it.abb.com

nunzio.bonavita@it.abb.com

paolo.capelli@it.abb.com

**Raimondo Cianfruglia**

Oil and Gas Services Srl

Merate (Italie)

### Lectures complémentaires

Les informations techniques de cet article se fondent sur les résultats publiés sur le site [pollutionsolutions-online.com](http://pollutionsolutions-online.com), mai/juin 2010, et dans la revue *Processing & Control News Europe*, juin 2010.

### Bibliographie

- [1] Veil, J. A., et al., *A White Paper Describing Produced Water from Production of Crude Oil, Natural Gas, and Coal Bed Methane*, livre blanc du laboratoire national d'Argonne (Illinois, États-Unis) pour le compte du ministère américain de l'Énergie, National Energy Technology Laboratory, janvier 2004.
- [2] Zeman, L. J., Zydney A. L., *Microfiltration and Ultrafiltration: Principles and Applications*, CRC Press, 1996.
- [3] Jacobs, R. P., Grant, R. O. H., Kwant, J. et al., « The Composition of Produced Water from Shell Operated Oil and Gas Production in the North Sea », *Produced Water: Technological/ Environmental Issues and Solutions*, Plenum Press, James P. Ray and F. Rainer Engelhart, 1992.
- [4] Orlebeke, D., *Electro-Catalytic Oxidation of Oil-Wastewater Process Streams*, [http://www.waterandwastewater.com/www\\_services/ask\\_tom\\_archive/elec-tro\\_catalytic\\_oxidation\\_of\\_oily\\_wastewater\\_process\\_streams.htm](http://www.waterandwastewater.com/www_services/ask_tom_archive/elec-tro_catalytic_oxidation_of_oily_wastewater_process_streams.htm), consulté en 2009.



# Essais concluants

ABB démontre sur banc d'essais les performances de ses systèmes d'entraînement à vitesse variable destinés à l'industrie pétrogazière

DANIELE BUZZINI, MAURIZIO ZAGO – La commande en vitesse variable des compresseurs renforce leur souplesse d'exploitation, accroît leur rendement, allège leur maintenance et améliore leur bilan environnemental. Tous ces avantages expliquent l'utilisation croissante de compresseurs et de pompes pilotés en vitesse variable par les industriels du gaz et du pétrole, en particulier dans les applications de transport, de liquéfaction et d'injection de gaz. Cet article vous emmène en coulisses, là où ABB teste ses gros systèmes d'entraînement et où les clients ont la preuve que les performances de leur système sont en accord avec les caractéristiques assignées avant expédition sur site [1].



**E**n 2009, la division Pétrole/Gaz d'ABB Process Automation remportait un double contrat pour la fourniture, d'une part, de deux systèmes d'entraînement à vitesse variable de 18,2 MW destinés à des compresseurs centrifuges pour des installations d'extraction au gaz et, d'autre part, de deux systèmes de 13,5 MW pour des compresseurs centrifuges d'installations d'injection de gaz. Pour ce projet situé aux Émirats arabes unis, ABB recourt à la technologie des convertisseurs commutés par la charge ou « LCI » (*Load Commutated Inverters*) constitués chacun d'un transformateur à quatre enroulements, d'un convertisseur LCI dodécaphasé, d'un moteur synchrone et d'un système de compensation du facteur de puissance et de filtrage des harmoniques → 1. Le transformateur compte un enroulement primaire et trois enroulements secondaires, dont deux alimentent le redresseur du convertisseur dodécaphasé commuté par le réseau et le troisième le système de compensation-filtrage. Les enroulements dédiés au convertisseur présentent un déphasage de 30°, créant ainsi la réaction dodécaphasée côté réseau qui contribue à supprimer les courants harmoniques non caractéristiques (rangs 5, 7, 17 et 19).

Le convertisseur LCI compte parmi les solutions les plus fiables du marché. Utilisant des thyristors, il se compose de deux redresseurs hexaphasés, d'une inductance pour le bus courant continu (CC), de deux onduleurs hexaphasés, d'un système de commande, d'une excitation pour le moteur synchrone et d'un bloc de refroidissement. Ce convertisseur constitue une source de courant pour le moteur, les redresseurs commandés sont commutés par le réseau alors que les onduleurs sont commutés par la charge. Les thyristors sont en configuration N+1, garantissant la continuité de service à pleine puissance même en cas de défaut d'un des composants. L'inductance joue un double rôle : elle lisse le courant continu et réduit les courants de défaut dans le bus CC.

La machine synchrone tétrapolaire à rotor massif possède deux enroulements déphasés de 30° convenant au couplage dodécaphasé. Le courant débité dans chacun des enroulements triphasés reste hexaphasé, alors que le champ magnétique dans l'entrefer ne présente que des harmoniques caractéristiques dodécaphasés. Cela permet de réduire l'ondulation du couple à l'arbre de même que l'échauffement du rotor provoqué par les pertes des harmoniques de courant induits dans le rotor.

L'excitation du moteur sans balais comporte un enroulement statorique triphasé (excitatrice) alimenté par une excitation statique installée dans l'armoire de l'excitation du convertisseur LCI. L'enroulement d'excitation lui-même, qui produit

le champ tournant, est alimenté par l'intermédiaire de l'excitatrice et du pont à diodes tournantes.

Le système de compensation du facteur de puissance et de filtrage des harmoniques sert principalement à compenser la consommation de puissance réactive du convertisseur LCI. Son agencement (nombre de branches, accord, etc.) permet de réduire autant que possible l'injection de courants harmoniques par le système d'entraînement dans le réseau électrique.

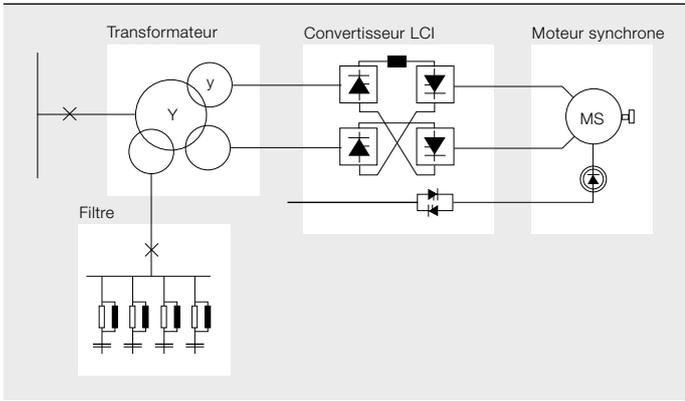
#### Essais en opposition

Pour ce projet, le client exigea un essai de performance du système d'entraînement complet conformément aux pratiques Shell DEP (*Design and Engineering Practice*). Le convertisseur LCI étant un convertisseur quatre quadrants (4Q), il peut fonctionner à la fois en mode moteur et en mode générateur ; il est donc bien

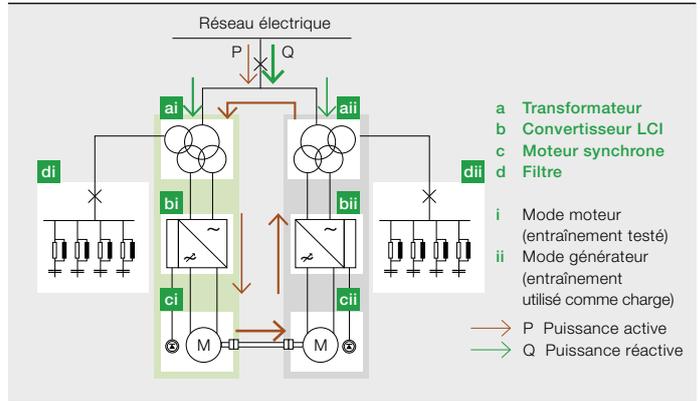
**L'autotransformateur constitue le choix idéal pour conserver une puissance de court-circuit élevée côté réseau.**

adapté aux essais en opposition. Pour ces derniers, deux systèmes d'entraînement à vitesse variable sont accouplés par une ligne d'arbre, l'un fonctionnant en moteur et l'autre en générateur → 2. La puissance active absorbée par le moteur est fournie par le convertisseur en mode générateur pour être renvoyée au moteur, alors que la puissance réactive est absorbée par les deux convertisseurs. Par conséquent, quasiment toute la puissance reste dans le procédé et seules les pertes des deux systèmes

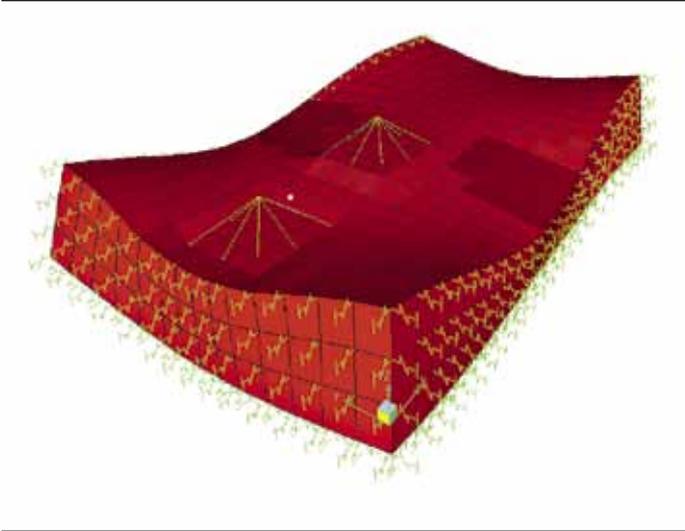
## 1 Système d'entraînement à vitesse variable



## 2 Montage pour l'essai en opposition des systèmes d'entraînement



## 3 Modélisation par éléments finis des fondations



## 4 Construction des fondations



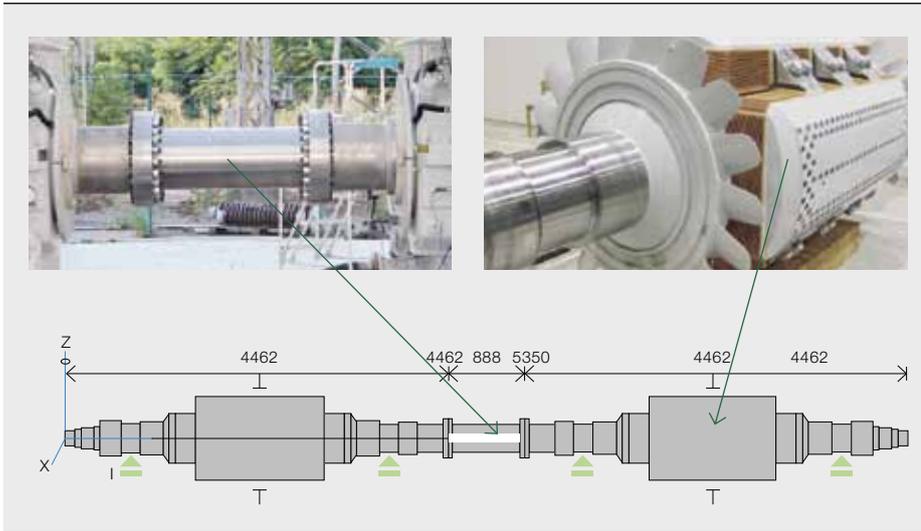
d'entraînement ainsi que la puissance réactive excédentaire, non compensée par les deux filtres, prélève de l'énergie sur la source d'alimentation du banc d'essais. La puissance absorbée atteignait 8 MVA, dont 1,7 MW de puissance active et 7,8 MVar de puissance réactive.

Ce type de montage d'essai permet de faire fonctionner les systèmes d'entraînement à leur puissance assignée, contrairement à un essai sur le groupe compresseur complet ou à un essai sur site. Dans ces deux derniers cas, la charge appliquée à l'arbre moteur correspond à la puissance assignée du compresseur, soit 10,6 MW (application d'injection de gaz) et 15 MW (extraction au gaz), alors que la puissance assignée des machines synchrones est de 13,5 MW et 18,2 MW. Ces essais nécessiteraient une alimentation dédiée, des installations adaptées ainsi qu'un grand savoir-faire. La coopération entre les experts d'ABB Process Automation et l'équipe du laboratoire d'essais CESI de Milan (Italie) fut un vecteur essentiel de réussite.

### Puissances d'essai

Le banc d'essais est alimenté par un transformateur 70 MVA, 220/24 kV spécifique, directement raccordé au réseau de transport haute tension italien, garantissant la stabilité et la fiabilité de l'alimentation électrique de même qu'une puissance de court-circuit élevée au point de raccordement de 600 MVA. Ce niveau de puissance de court-circuit se traduit par une chute de tension plus faible aux mêmes conditions de charge et par une injection de courant harmonique plus élevée dans le réseau, ce qui permet de concevoir un filtre d'harmoniques plus simple et moins onéreux. Un autotransformateur 20/25 MVA est utilisé pour élever la tension au niveau du primaire du transformateur du système d'entraînement, soit 33 kV. Avec son impédance de court-circuit intrinsèquement faible, l'autotransformateur est idéal pour conserver une puissance de court-circuit élevée côté réseau. Sous 33 kV, elle atteint en fait 350 MVA, soit 20 fois plus que la puissance absorbée, sans aucun problème dynamique.

Le convertisseur LCI étant un convertisseur quatre quadrants (4Q), il est bien adapté aux essais en opposition.



L'essai en opposition permet de faire fonctionner les systèmes d'entraînement à leur puissance assignée, contrairement à un essai sur le groupe compresseur complet ou à un essai sur site.

#### De l'importance des fondations

Les fondations des machines électriques tournantes ont fait l'objet d'une attention particulière. En effet, la norme CEI 60034-14 stipule qu'elles doivent garantir un montage rigide des machines tournantes. Des fondations spéciales de  $20 \times 13 \times 3$  m furent conçues et construites pour le banc d'essais. Un modèle par éléments finis basé sur le modèle de ressorts dit « fondation de Winkler » servit à calculer les valeurs et vecteurs propres → 3. Sachant que les déplacements élastiques peuvent être provoqués par des forces déséquilibrées, une analyse dynamique fut réalisée avec le modèle pour évaluer les vibrations au point de fixation du moteur. Les calculs de vibrations verticales maximales donnèrent environ  $10^{-3}$  mm/s, soit moins que les minima de la CEI 60034-14 pour les limites de vibration de classe B (25 % de 1,5 mm/s pour le moteur de hauteur d'axe supérieure à 280 mm) → 4.

#### Analyse de la dynamique du rotor et couple pulsatoire dans l'entrefer

L'accouplement entre les deux machines synchrones fut conçu pour résister aux couples de court-circuit et éviter les éventuelles résonances dues au couple pulsatoire au niveau de l'entrefer des machines tournantes, produit par le fonctionnement du convertisseur → 5.

Les machines pilotées par des convertisseurs de puissance sont soumises à un couple pulsatoire dans l'entrefer → 6. Les composantes pulsatoires sont le fait des harmoniques de courant appliqués au moteur par les convertisseurs. Ces composantes peuvent être classées comme

suit ( $f_M$  = fréquence moteur,  $f_N$  = fréquence réseau) :

- Valeurs de couple pulsatoire entières avec les fréquences  $n f_M$  (avec  $n = 6, 12, 18, 24$ ) ;
- Valeurs de couple pulsatoire non entières avec les fréquences  $k f_N$  (avec  $k = 6, 12$ ) ;
- Valeurs de couple pulsatoire non entières qui dépendent à la fois de la fréquence réseau et de la fréquence moteur comme suit :  $f = |n f_M \pm k f_N|$  (avec  $n = 6, 16$  ;  $k = 6, 12$ ).

Même si les amplitudes du couple pulsatoire sont faibles comparées au couple moteur, elles peuvent provoquer des résonances lorsque leurs fréquences coïncident avec une fréquence naturelle (modes) de la ligne d'arbre. L'accouplement a été conçu afin de garantir une marge de séparation entre les intersections (résonances) des segments de droite en pente et des modes.

#### Filtrage d'harmoniques et compensation de puissance réactive

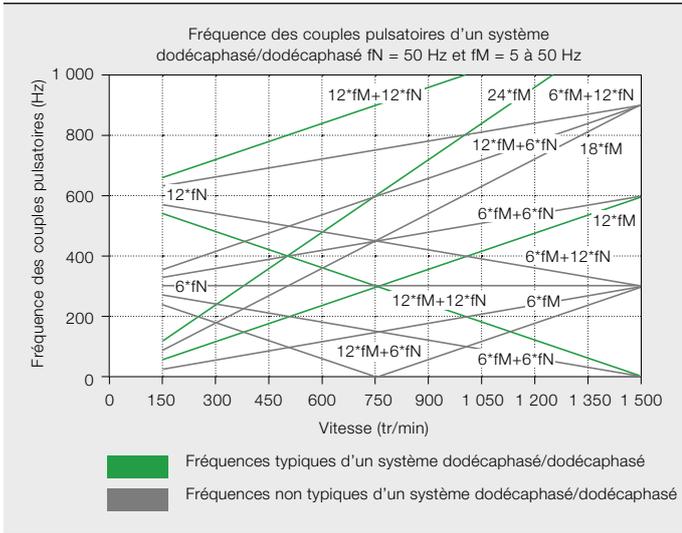
Pour compenser la puissance réactive et atténuer les harmoniques, un système spécial de filtrage a été conçu et mis en service pour cet essai → 7. Le filtre, composé de trois branches accordées aux harmoniques 5, 11 et 23, réduit les harmoniques de courant injectés dans le réseau par le convertisseur LCI. Les

Pour compenser la puissance réactive et atténuer les harmoniques, un système de filtrage a été conçu et mis en service pour cet essai.

condensateurs du filtre servent également à compenser la puissance réactive absorbée par le convertisseur.

Les harmoniques de courant caractéristiques sont absorbés par les branches des harmoniques 11 et 23, alors que les harmoniques non caractéristiques  $N = 5$  sont absorbés par celle de l'harmo-

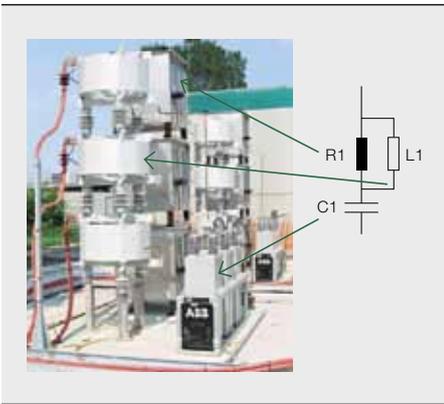
## 6 Couples pulsatoires



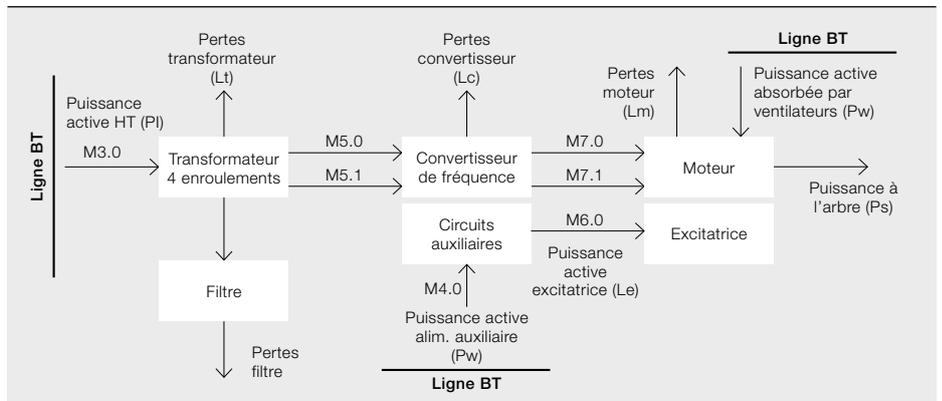
## 7 Filtre d'harmoniques et de compensation de la puissance réactive



## 8 Branche de filtre de l'harmonique 5



## 9 Écoulement de puissance active pendant les essais



rique 5 → 8. La puissance réactive des trois branches du filtre de chaque convertisseur totalise 11,5 MVar pour l'installation d'extraction au gaz et 6,5 MVar pour celle d'injection de gaz (seules les branches des harmoniques 5 et 11 furent activées). Le taux global de distorsion harmonique de tension mesuré s'est élevé à 0,85 %, soit nettement moins que les valeurs normalisées (< 5 % pour la CEI 61000-2-4, classe 1).

### Déroulement et résultats des essais

Le système d'entraînement à vitesse variable (CA) a subi tous les essais Shell DEP: essais thermiques, essais en charge et à vide, essais fonctionnels et essais en défaut → 9. Un analyseur de réseau électrique monté sur le banc indiquait la tension et le courant côtés primaire et secondaire du transformateur lorsque le filtre était activé → 10.

Le rendement du système d'entraînement est déterminé en totalisant les pertes de ses constituants qui sont soit mesurées, soit calculées par la méthode

des pertes séparées [2]. Les résultats ont donné un rendement de 95,76 %, conforme aux valeurs prévues.

Une méthode *ad hoc* doit être adoptée pour mesurer les grandeurs électriques dans le cas d'une charge déformée comme un convertisseur de fréquence.

La puissance active est définie comme suit :

$$P = \frac{1}{k \cdot T} \cdot \int_{\tau}^{\tau+k \cdot T} p \cdot dt$$

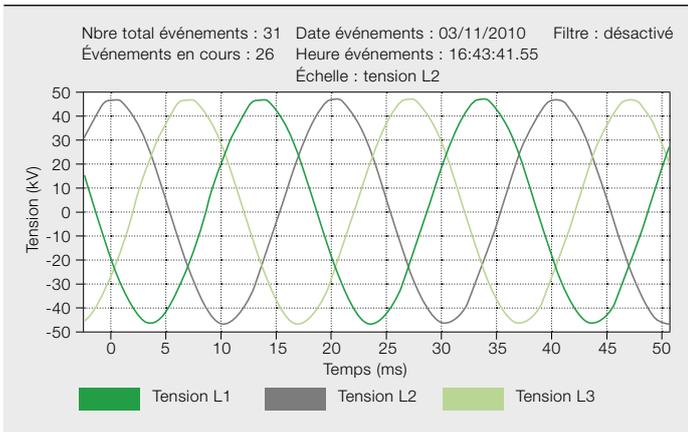
( $p$  = puissance instantanée  $v \cdot i$ )

Une analyse de Fourier (tension et courant) indique que la puissance active est le résultat de la somme de deux termes,  $P_1$  (puissance active fondamentale) et  $P_H$  (puissance active harmonique).

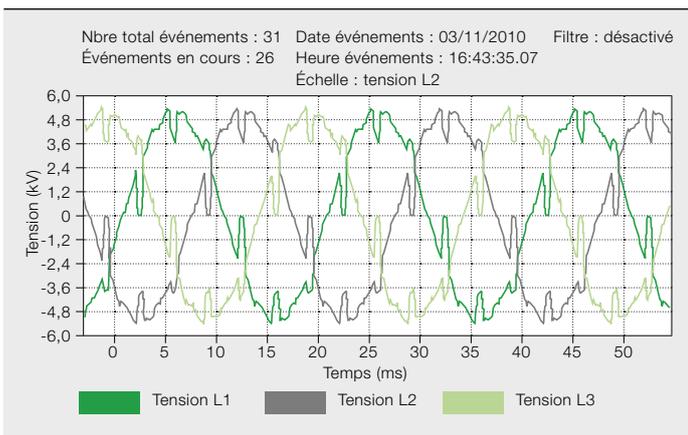
$$P = P_1 + P_H$$

L'expérience acquise confirme au client l'obtention des valeurs de rendement et de puissance demandées.

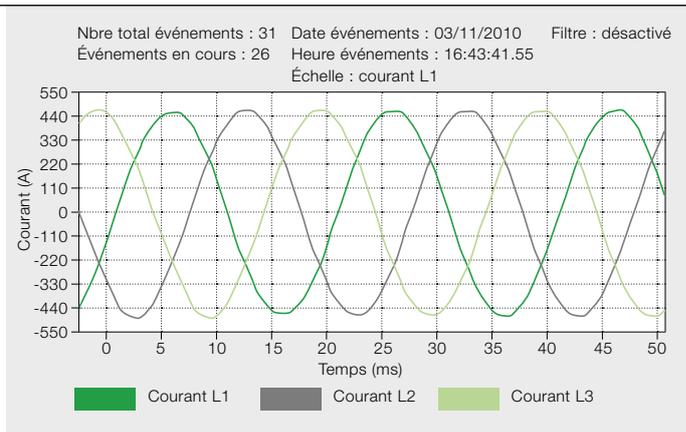
## 10 Tension et courant côtés primaire et secondaire du transformateur à 4 enroulements



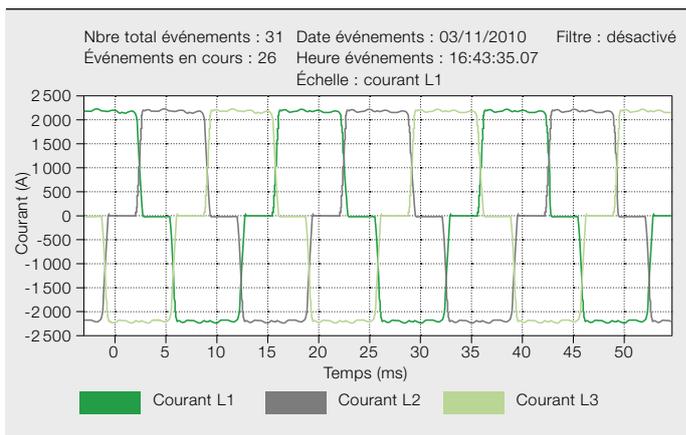
10a Tension côté primaire



10c Tension côté secondaire



10b Courant côté primaire



10d Courant côté secondaire

Puissance active fondamentale (W)

$$P_1 = V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \delta_1$$

Puissance active harmonique (W)

$$P_H = V_0 \cdot I_0 + \sum_{h \neq 1} V_h \cdot I_h \cdot \cos \delta_h$$

Pour la machine électrique, la puissance active harmonique n'est pas de la puissance utile car elle ne contribue pas au couple de sens positif. Par conséquent, il est judicieux de séparer la puissance active fondamentale  $P_1$  de la puissance active harmonique  $P_H$ .

La mesure de  $P_H$  elle-même n'est pas un moyen efficace pour évaluer l'écoulement de puissance harmonique car certains rangs d'harmonique peuvent produire de la puissance alors que d'autres en dissipent dans la charge observée, débouchant sur une annulation mutuelle dans le terme  $P_H$ . Seul un relevé complet des phaseurs de tension et courant harmoniques (amplitude et phase) autorise une compréhension éclairée de la contribution de chaque harmonique à l'écoulement d'énergie électrique [3].

### Des résultats précieux

Deux systèmes d'entraînement à vitesse variable de 13,5 MW et deux de 18,2 MW ont été testés avec succès par l'activité Pétrole/Gaz d'ABB Process Automation au sein du CESI, sur un banc capable de tester des machines de 40 MW et plus.

L'expérience acquise dans ce domaine permet de garantir au client l'obtention des valeurs de rendement et de puissance demandées. Qui plus est, les essais à pleine charge démontrent que les équipements sont conformes aux exigences normatives de l'industrie pétro-gazière.

**Daniele Buzzini**

**Maurizio Zago**

ABB Process Automation, Oil and Gas  
Milan (Italie)

daniele.buzzini@it.abb.com

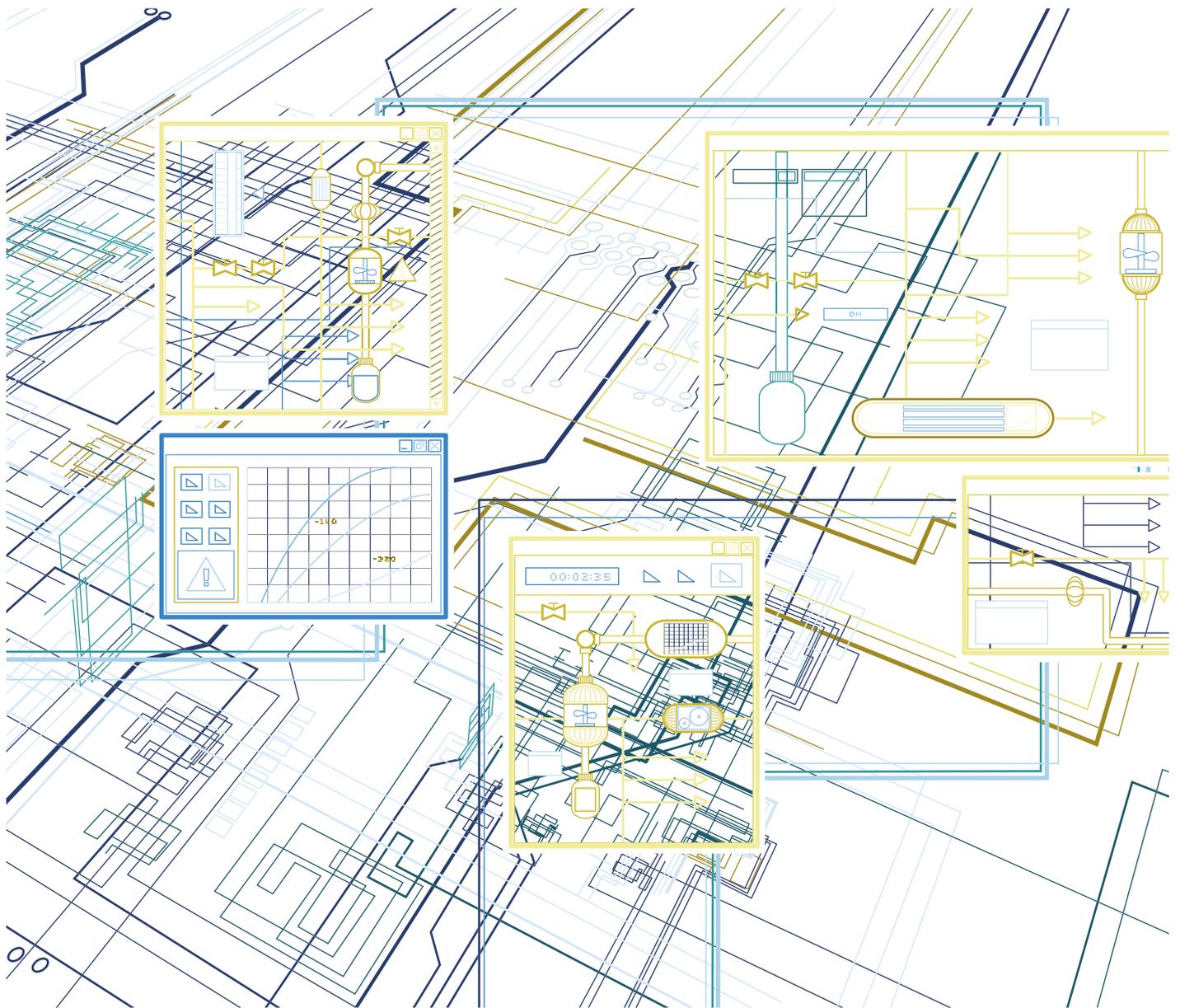
maurizio.zago@it.abb.com

### Lectures complémentaires

- Rimann, J., *MV AC drives in the Oil & Gas Industry*, ABB Process Automation, Oil and Gas, mars 2007.
- Rebecchi, V., « Foundation Vibration Analysis », Enel.Hydro S.p.A. ISMES (V), mars 2010.
- *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 11, n° 1, janvier 1996.
- Devold, H., Nestli, T., Hurter, J., *All electric LNG plants*, ABB Process Automation, Oil and Gas, 2006.

### Bibliographie

- [1] Buzzini, D., Belli, P., Mercandez, M., « LNG compressors find full-electrical solutions », *Pipeline and Gas Technology Magazine*, 2010.
- [2] Burmeister, P., « Torque pulsation in the Air Gaps of both Motor and Generator », *ATDAD*, novembre 2009.
- [3] Standard IEEE 995-1987, *Recommended Practice for Efficiency Determination of Alternating-Current Adjustable Speed Drives*.



# Intelligence précoce

Les données de procédé constituent une mine d'informations très utiles pour l'entreprise

GEOFF ARTLEY – Le secteur du raffinage est aujourd'hui soumis à forte pression financière : amputation des marges, utilisation accrue d'un pétrole lourd à forte teneur en soufre et en métaux alors que le cours des huiles légères propres augmente, départ en retraite d'un personnel chevronné. Pour autant, des solutions existent. Les procédés de raffinage peuvent être optimisés sans gros investissement en extrayant une information précieuse des données historisées dans les systèmes d'automatisation.

référence construit à partir des données historiques du fonctionnement normal.

Actuellement, on distingue deux types d'alarme procédé : d'une part, les alarmes destinées à protéger les équipements et le procédé de toute dégradation ; d'autre part, celles signalant que le procédé est en situation anormale. Les premières surviennent en général trop tard pour que l'opérateur puisse prendre des mesures correctives, sauf à arrêter le procédé ou à agir de manière extrêmement évasive. Les applications d'exploration de données en ligne doivent permettre de détecter et de signaler toute anomalie de fonctionnement avant d'atteindre le point d'alarme.

Ces applications existent et sont aujourd'hui utilisées dans certains secteurs industriels. ABB, par exemple, propose son système de détection précoce des anomalies de fonctionnement « EDAO<sup>1</sup> » (*Early Detection of Abnormal Operation*) basé sur l'application MS2 Online de AJMC [1] et développe également une autre application de détection précoce des défauts [2] en partenariat avec Shell/Statoil. Cette dernière constitue une application de surveillance d'actifs très pointue bâtie sur la connaissance des évolutions multivariées. Au lieu de se cantonner à une seule variable, plusieurs variables sont corrélées et leur corréla-

Les systèmes modernes de contrôle-commande distribué engrangent des masses de données riches d'enseignement sur les procédés. Leur exploitation et conversion en informations pertinentes doivent permettre d'optimiser ces mêmes procédés avec un investissement limité, argument majeur dans le contexte économique actuel.

Ces systèmes produisent des téraoctets de données souvent historisées uniquement pour des raisons de réglementation et de conformité ; elles sont détruites à la fin du délai imposé de conservation sans jamais avoir été analysées. Or elles représentent une mine d'informations qui, correctement interprétées, se transforment en connaissances fort utiles à l'amélioration de la rentabilité de l'entreprise.

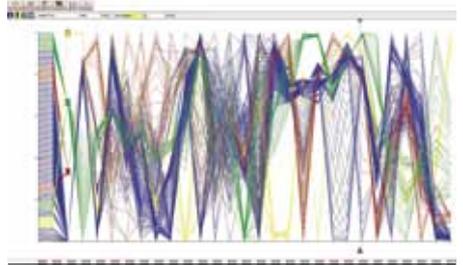
Dans de nombreux cas, maîtriser étroitement un procédé signifie agir de manière opportune. Être apte à détecter de manière précoce tout écart par rapport à la normale réduit la variabilité du procédé et permet de l'exploiter au plus près de son optimum. Une application de *data mining* (« exploration de données » en bon français) permet d'identifier les signes avant-coureur d'une anomalie de fonctionnement. Pour ce faire, les données sont comparées à un modèle de

## Une application d'exploration des données en ligne permet de détecter un fonctionnement anormal avant le déclenchement d'une alarme.

tion est prise en compte dans la réponse de la mesure d'intérêt. La plupart des procédés sont, par nature, multivariés. Les applications utilisent une analyse en composantes principales (ACP) pour cerner la variabilité au sein des données, du fait des évolutions multivariées.

### 1 Graphique en coordonnées parallèles

Il représente les liens existants entre de nombreuses variables de procédé différentes. Exemple : paramètres de qualité (pH et viscosité, par ex.), paramètres de procédé (pression ou température maxi, par ex.) et valeurs calculées (durée d'une opération ou caractéristiques du poste, par ex.). Les résultats d'une autre analyse (composantes principales, par ex.) peuvent figurer sur le même graphique sous forme de variables primaires.



Le principe de base est le suivant : les données représentatives du fonctionnement normal servent à construire le modèle de référence, les valeurs actuelles du procédé étant comparées à ce modèle pour savoir si elles reflètent ou non un fonctionnement normal.

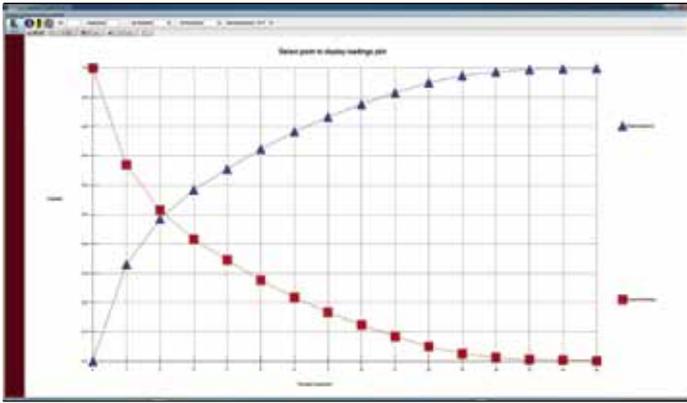
Il faut pour cela une mesure qui, dans le cas du système MS2, est le carré des erreurs entre les données actuelles et celles du modèle de référence. Si elle augmente, cela signifie que le fonctionnement du procédé est très différent de celui de ce modèle et, donc, anormal.

Lorsque l'application reconnaît des évolutions qui se situent en dehors de la variabilité normale du procédé, elle en avertit l'opérateur. Ces évolutions peuvent être détectées avant le déclenchement d'une alarme procédé, donnant à l'opérateur le temps nécessaire pour redresser la situation. Pour les grosses machines tournantes, de telles applications ont permis d'anticiper de plusieurs jours, voire plusieurs semaines, la défaillance d'une machine et de disposer du temps nécessaire pour agir avant une panne catastrophique.

#### Note

- 1 L'application EDAO d'ABB inclut le système de diagnostic des procédés MS2 développé par AJM Consulting avec l'aide du *Centre for Process Analytics and Control Technology* de l'université de Newcastle. MS2 est utilisé avec succès par plusieurs industriels de la pétrochimie, de la chimie, de la pharmacie, du nucléaire et des nouveaux matériaux.

## 2 Exemple de graphe scree



Pour avoir un caractère universel, l'application doit être indépendante du système de contrôle-commande. Par conséquent, le standard OPC sera utilisé pour le transfert des données de procédé temps réel entre les automatismes multiconstructeurs et les données hors ligne seront importées dans des fichiers aux formats .csv et .xls.

Les opérateurs et ingénieurs de production privilégient souvent les représentations graphiques. Dans le cas de MS2 et ED AO, elles peuvent prendre la forme de graphiques des individus qui représentent l'évolution des composantes principales (3 composantes principales produisant 3 graphiques, 4 en produisant 6, etc.) et illustrer la représentation « normale » ou « requise » des données de référence dans des ellipses de confiance qui englobent toutes les données. Les données actuelles du procédé sont ajoutées aux données de référence et, si elles se situent dans l'ellipse de confiance, la représentation de l'opération est alors classée comme « normale et requise ». Dès qu'une donnée sort de l'ellipse de confiance, elle est classée « anormale ». Si l'on décide par la suite qu'elle n'est pas anormale, elle peut alors être incluse dans le modèle de données normales afin d'améliorer ce modèle et d'éliminer les fausses alarmes. Cette possibilité de reclasser ces données « limites » concourt beaucoup à la prévention des fausses alarmes.

Lorsqu'une situation anormale déjà rencontrée et analysée survient (sa cause et l'action corrective étant recensées dans le système 800xA d'ABB), un message textuel peut être affiché sur l'écran de l'opérateur, accompagné des consignes pour remédier au problème. L'opérateur prend ainsi confiance dans l'application

dont l'aspect « boîte noire » aurait pu le rebuter. Les concepts mathématiques sous-jacents sont relativement compliqués et identifier la cause première d'une situation anormale exigerait une analyse assez complexe pour décider d'une action à entreprendre. Toute analyse supplémentaire obligerait normalement à faire appel à un ingénieur ou un expert.

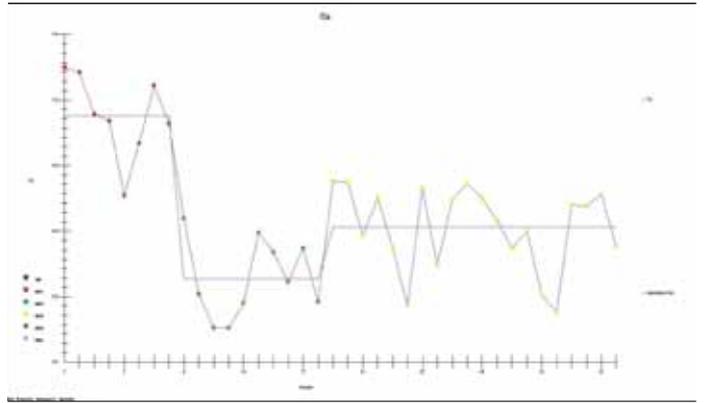
### Déploiement de l'application ABB

Le déploiement en ligne de ces applications se fait en quatre étapes simples, le personnel ABB pouvant accompagner les clients à chacune d'elles :

- 1) Choix de la mesure d'intérêt ;
- 2) Construction du modèle de référence ;
- 3) Paramétrage de la liaison de transmission ;
- 4) Configuration de l'interface.

La première étape est la plus importante et il est essentiel que la variable choisie représente un objectif global pour le procédé, une section ou un équipement donné. La mesure d'intérêt doit normalement être une mesure de haut niveau comme, par exemple, une valeur intermédiaire ou finale de qualité, de productivité ou d'impureté. Il peut s'avérer nécessaire de créer une balise (ou point de mesure) dérivée qui serve de mesure d'intérêt ; dans le cas d'une machine tournante, par exemple, il s'agirait d'une mesure de rendement ou de productivité.

## 3 Graphe Manhattan des températures

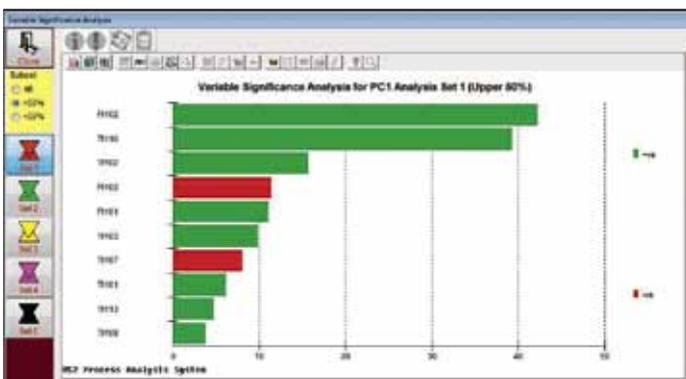


L'utilisateur analyse ensuite quelles sont les variables mesurées qui sont liées ou affectent la mesure d'intérêt choisie, et pourraient mettre en évidence un fonctionnement anormal. Toute donnée utilisée pour cette analyse doit être filtrée pour être ensuite corrigée ou rejetée (valeurs erronées, compression élevée, zéros, etc.). À ce stade, toutes les causes possibles de fonctionnement anormal sont également établies dans le but de transmettre cette information à l'opérateur pour des situations déjà rencontrées.

La deuxième étape consiste à construire le modèle de référence « normal requis » du procédé à la fois pour la mesure d'intérêt et pour les variables influençant cette mesure. Le choix des variables d'influence pour les périodes de fonctionnement où la mesure d'intérêt se situe dans la plage requise ou normale se fait hors ligne et utilise des données historiques.

Pour les grosses machines tournantes, l'application permet d'anticiper de plusieurs jours ou semaines, la défaillance d'une machine et de disposer du temps nécessaire pour agir avant une panne catastrophique.

Pour visualiser les données, un graphique en coordonnées parallèles → 1 est très utile et déterminera toute cause univariée de fonctionnement anormal. Ce graphique montre toutes les données avec chaque variable en ordonnée reliée



La détection précoce des défauts a toutes les chances de devenir une application importante de la conduite optimale des procédés.

à la valeur équivalente (normalement sur une période d'échantillonnage) d'une autre variable en abscisse. Il constitue l'un des principaux outils de visualisation utilisé par les applications MS2 et EDAO.

Il est peu probable que l'analyse univariée explique intégralement la cause du fonctionnement anormal. De même, toute cause univariée peut sans doute être identifiée par d'autres méthodes de visualisation et d'analyse des données (graphiques temporels des variables, par exemple). Pour une analyse multivariée, certainement nécessaire, l'analyse en composantes principales est utilisée pour trouver les variables contribuant au fonctionnement anormal.

L'utilisateur ou l'expert doit choisir le nombre de composantes principales représentant la variabilité du procédé et contribuant à la mesure d'intérêt. Cette tâche, également réalisée hors ligne, est importante car elle conditionne la qualité de l'analyse des données : des composantes en surnombre risqueraient de ralentir l'analyse alors qu'un nombre trop réduit pourrait déboucher sur une perte d'informations vitales. Plusieurs méthodes permettent de choisir le nombre optimal de composantes principales : on peut, par exemple, décider de ne retenir que les valeurs propres supérieures à 1, ce que propose la règle Kaiser-Guttman pour les composantes principales significatives et qui souvent donne un modèle assez représentatif de la variabilité.

Entre 75 et 90 % de la variabilité doivent être représentés par le nombre de composantes principales choisi. Si la méthode de choix automatique ne donne pas une bonne analyse de la mesure d'intérêt, ce

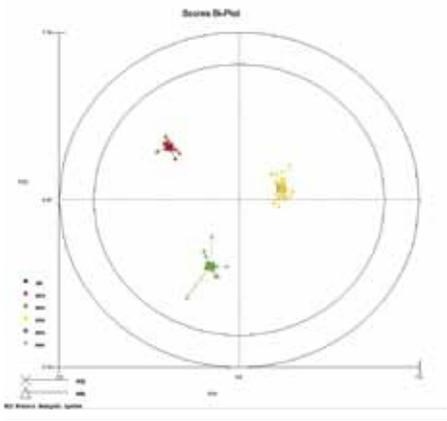
nombre peut être choisi manuellement pour représenter une variabilité plus large. Un tracé scree montre sous forme graphique et numérique l'importance de la variabilité représentée par le nombre de composantes principales retenu → 2.

Pour l'analyse hors ligne, d'autres représentations graphiques pourraient être utilisées afin de cerner de manière définitive les causes du fonctionnement anormal : citons notamment les graphes Manhattan → 3, graphes CUSUM → 3, graphes de signification des variables → 4 et → 5, graphiques des individus → 6 et → 7, etc. Le graphe Manhattan donne la valeur de la variable de série chronologique (bleu), le graphe CUSUM (vert) et le graphe Manhattan (noir) montrant les points d'évolution significative. On peut choisir la sensibilité de l'analyse Manhattan pour évaluer les points d'évolution significative et les comparer aux points d'évolution de la mesure d'intérêt. L'analyse de Manhattan est un puissant outil d'évaluation des zones d'évolution significative et de détermination des variables d'influence. Ce graphique n'est disponible qu'avec les outils MS2 et EDAO.

Pour l'analyse en ligne, les valeurs du procédé déterminées comme influençant la mesure d'intérêt sont comparées au modèle de référence pour déterminer si les valeurs actuelles des variables se situent dans sa plage.

L'étape suivante consiste à paramétrer la liaison de transmission pour autoriser l'utilisation des données en ligne par l'application aux fins d'analyse. Les données temps réel sont généralement transmises à un intervalle spécifique avec OPC. L'application a besoin d'un temps paramétré pour exécuter ses algorithmes sur les données ; ensuite,

## 6 Graphique des individus montrant le regroupement des données en classes



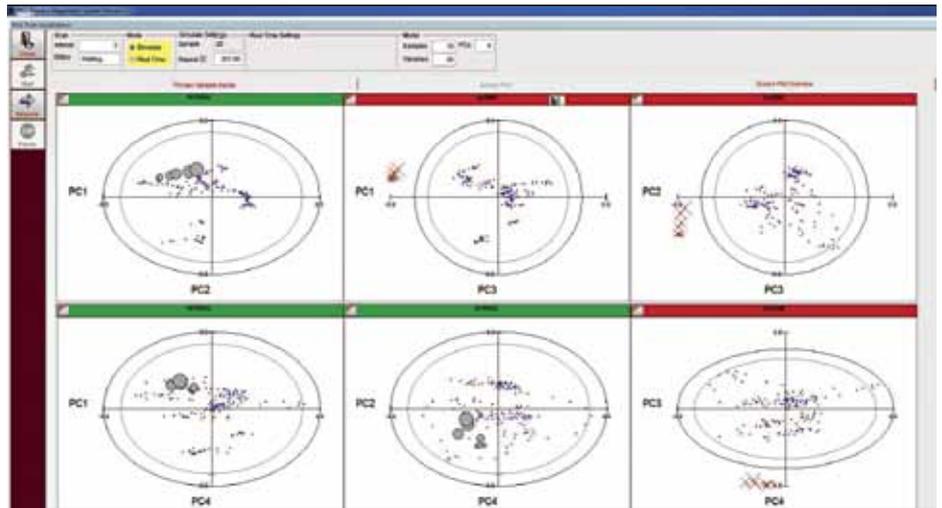
lorsqu'elle détecte un fonctionnement hors référence, un message peut être affiché sur le poste opérateur pour signaler que le procédé prend la mauvaise direction. Un fonctionnement qui, par la suite, est jugé acceptable est aisément intégré au modèle de référence pour éviter de le signaler inutilement.

Une fois la liaison paramétrée, comment informer l'opérateur qu'une anomalie a été détectée ? Si ABB sait qu'il est relativement facile de créer une nouvelle alarme, il est aussi conscient que les opérateurs sont d'ores et déjà saturés de signaux d'alarme ! Bien d'autres possibilités sont envisageables : envoi d'un SMS sur le mobile de l'ingénieur en

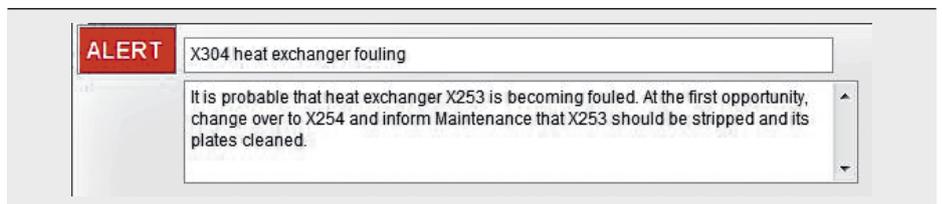
**Un fonctionnement qui, par la suite, est jugé acceptable est aisément intégré au modèle de référence pour éviter de le signaler inutilement.**

charge de la section incriminée du procédé ou sur l'ordinateur de l'ingénieur de production, ou encore message textuel sur le poste opérateur. Lorsque le procédé sort de sa plage de fonctionnement de référence, des alertes peuvent être créées (sous différentes formes : message spécifique, simple changement de couleur des graphiques sur le poste opérateur, etc.) pour informer l'opérateur

## 7 Graphique des individus d'une analyse en composantes principales avec détection de défauts



## 8 Exemple de message de diagnostic transmis à l'opérateur



que la mesure d'intérêt s'écarte de sa valeur désirée. Cet écart serait signalé avant tout déclenchement d'alarme, débouchant sur la détection précoce d'une situation anormale. On pourrait, par exemple, afficher le carré des écarts (pour MS2) sous la forme d'un graphique à barres avec un changement de couleur sur hausse d'une valeur, l'opérateur pouvant alors consulter d'autres graphiques pour confirmer l'évolution. De même, répétons-le, si la situation a déjà été rencontrée et analysée, avec une cause identifiée et configurée dans le système d'automatisation (échangeur thermique encrassé ou filtre obturé, par exemple), un message textuel peut venir s'afficher sur l'interface homme-machine avec des suggestions pour résoudre le problème → 8.

### Conclusions

La détection précoce des défauts a toutes les chances de devenir une application importante de la conduite optimale des procédés. Les alarmes serviront alors véritablement à signaler les situations d'urgence et non plus à masquer un fonctionnement insatisfaisant ou protéger un équipement ou un procédé. Si elles supposent des calculs mathématiques complexes, les solutions sont normalement perçues par les opérateurs

comme des boîtes noires, l'intervention d'un ingénieur ou d'un expert étant indispensable pour en comprendre tous les aspects. Rappelons que l'investissement dans ce type d'application est minime par rapport au coût énorme d'une perte de production ou du remplacement d'un équipement critique.

### Geoff Artley

ABB Process Automation, Oil and Gas Systems  
St Neots (Royaume-Uni)  
geoff.artley@uk.abb.com

### Bibliographie

- [1] <http://www.ajm.co.uk>. L'application MS2 Offline est commercialisée par AJMC et l'application MS2 Online par ABB Royaume-Uni (St Neots).
- [2] ProcessInsights – Contacter Knut Hovda ou Hans Petter Bieker, ABB Norvège.

# Télérobotique d'inspection et de maintenance

## Les robots investissent la production pétrolière et gazière

CHARLOTTE SKOURUP, JOHN PRETLOVE – Dans un contexte de forte demande en pétrole et en gaz, appelée à s'accroître dans l'avenir, l'industrie doit relever le défi de maintenir ses niveaux de production et de puiser dans des réserves souvent de plus en plus lointaines et très difficilement accessibles. Ces obstacles sont autant de leviers pour doper l'automatisation de l'industrie pétrolière et gazière tout en restant attentif aux problématiques de santé, de sécurité et d'environnement. Si, en temps normal, de nombreux sites pétrolifères et gaziers sont d'ores et déjà pilotés à distance, la présence d'intervenants chevronnés est indispensable pour assurer la maintenance et la réparation des installations, en exploitation comme à l'arrêt. Pour tirer parti d'une automatisation accrue dans ce domaine, capable d'intervenir en milieux difficiles ou dangereux pour l'homme, il faut combiner téléconduite et télérobotique. Dans cette optique, ABB a développé un prototype de système télérobotisé dédié à l'inspection et à la maintenance de la production d'hydrocarbures. Ce dispositif prête main forte au système d'automatisation existant et permet aux opérateurs d'accomplir les mêmes tâches, mais en lieu sûr.

Le niveau d'automatisation peut varier du tout au tout, selon les secteurs industriels. Dans le manufacturier, par exemple, les automatismes s'acquittent fort bien des tâches monotones, lourdes et pénibles dans des ambiances insalubres et dangereuses, de même que des travaux à répétition exigeant une grande exactitude. Dans le pétrole et le gaz, le degré d'automatisation varie en fonction des stades du procédé (exploration, extraction, production), des disciplines et de la

situation géographique : l'automatisation peut ainsi être quasi inexistante (les équipes de terrain se chargeant elles-mêmes des relevés de mesures analogiques, par exemple) ou, à l'inverse, largement déployée au sein de systèmes avancés de contrôle-commande et de sécurité de vastes procédés complexes et dynamiques. La plupart des installations pétrolières et gazières fonctionne à un niveau d'automatisation hybride ou mixte, entre les deux extrêmes du tout-automatique et du tout-manuel.





## 1 Physique ou cognitif ?

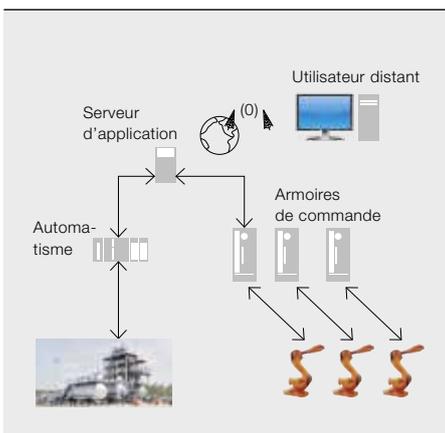
La part mécanique ou physique de l'automatisation (*LoAphys*), qui concerne les tâches physiques accomplies par des équipes d'opérateurs et des spécialistes, est réduite à la portion congrue dans l'industrie du pétrole et du gaz. Le cas échéant, ces intervenants s'aident de leurs mains et d'outils, parfois perfectionnés, comme les caméras infrarouges qui sondent la température au cœur du procédé et des équipements.

La part du cognitif (*LoAcogn*), quant à elle, varie amplement selon la tâche. Face à un imprévu, par exemple, l'opérateur doit puiser dans ses ressources cognitives pour comprendre la situation, en prédire l'évolution et décider des actions à entreprendre. À l'extrême, le système d'automatisation commande automatiquement l'arrêt d'urgence de tout ou partie du procédé, sans intervention humaine. Celle-ci reste toutefois indispensable après la mise à l'arrêt de l'installation pour analyser le dysfonctionnement et redémarrer les opérations.

## 3 Installation d'essais extérieure à Oslo



## 2 Architecture télérobotique



# Le prototype télérobotique d'ABB se charge de l'inspection et de la maintenance d'un équipement de production pétrogazière.

Les dures réalités de la filière (baisse des taux de récupération, difficultés d'accès aux gisements et exploration de réserves non conventionnelles) ont fait de l'automatisation une priorité. Si bon nombre d'installations, souvent implantées en milieux dangereux, sont déjà « téléopérées » en temps normal, elles ne sont pas pour autant dispensées de l'intervention d'un personnel aguerri aux tâches essentielles d'inspection (contrôle, maintenance et réparation), en fonctionnement comme lors d'arrêts programmés. De nos jours, une automatisation accrue du domaine passe par une « téléopération robotisée » ou « télérobotique ».

L'intégration du robot dans la boucle de contrôle-commande influera sur les rôles, responsabilités et tâches de chacun. Pour commencer, le robot n'a pas vocation à remplacer l'opérateur : celui-ci reste un maillon incontournable de la chaîne de production, surtout pour les tâches privilégiant les fonctions cognitives à la force physique → 1. Dans ce contexte, il faut impérativement décider des rôles, tâches et automatismes confiés à l'homme et dévolus au système d'automatisation robotisé. D'où l'idée d'une approche adaptative et variable permettant de trouver le juste compromis coûts-bénéfices entre l'automatique et la commande manuelle. Dans tous les cas, la mission première du couple homme-robot est de permettre à l'opé-

rateur de se concentrer sur les tâches à exécuter tout en percevant les robots placés sous ses ordres comme des « facilitateurs de terrain » : cette coopération homme-robot n'est pas sans rappeler l'interaction, dans les usines modernes, des équipes de conduite et des opérateurs postés. Dans un système robotisé, l'homme demeure responsable du procédé et de son exploitation ; au pied des machines, le robot instrumenté ne fait qu'appliquer ses consignes.

### La robotique coopérative

Dans le cadre de sa stratégie pour explorer, mettre au point et déployer de nouveaux concepts de téléopération, ABB a déjà développé un prototype de système télérobotisé chargé de l'inspection et de la maintenance d'un équipement de production pétrolière et gazière. Les robots multiplient les opérations à distance (contrôle visuel, vérification, manutention automatique de racleur de canalisations, essais et étalonnage des composants du procédé), le principe étant de les intégrer au site en les considérant comme des actifs à part entière du contrôle-commande. Ils sont le prolongement des yeux, des oreilles et des mains de l'opérateur, en milieu dangereux. L'opérateur agit à distance par le biais d'une interface de commande lui permettant de dicter et de lancer les différentes tâches que le télérobot doit accomplir, sans droit à



l'erreur. Les résultats de la mission sont ensuite rapatriés et présentés à l'opérateur par le système de contrôle-commande.

##### Bancs d'essais

Des installations d'essais intérieures et extérieures permettent de simuler, de tester et de vérifier les nouvelles configurations sur site. Le laboratoire abritant notre prototype est un environnement exceptionnel pour éprouver, tester et valider les concepts et solutions de télérobotique applicables aux futures installations de pétrole et de gaz. Il comprend trois robots ABB (un IRB 2400 sur portique et deux IRB 4400 sur rails) et module de séparateur grandeur réelle (photo p. 50-51). Les robots ont automatiquement accès à une panoplie d'outils sur changeur pneumatique. Certains capteurs sont embarqués dans le bras du robot, tels les caméras de surveillance ; d'autres, spécifiques à l'application, sont montés sur l'outillage. Un robot se charge de l'inspection et les deux autres, de la maintenance.

Tous trois sont asservis à des armoires de commande accessibles à partir d'un serveur d'application, tandis qu'un automatisme pilote le procédé → 2. Le serveur exécute les algorithmes de suivi de trajectoire et gère le dialogue homme-robot ; il doit avant tout traduire les ordres de l'opérateur en instructions de contrôle-commande et inversement.

Un système de visionique et des algorithmes d'optimisation ont aussi été implantés pour lever les incertitudes de déplacement des instruments et appareils, en milieu difficile. Ces objets étant amenés à bouger ou à subir une déformation momentanée ou définitive, leur position et orientation ne sont pas fixes et constituent une incertitude qu'il faut prendre en compte quand le robot interagit avec le procédé.

Trois principales variantes de la télérobotique sont testées en laboratoire : la commande *autonome*, *semi-autonome* et *manuelle* à distance. La première est ambiguë en ce qu'elle s'inscrit dans un continuum entre une intervention totalement manuelle et une conduite 100 % autonome. En d'autres termes, en manuel, l'être humain a le pouvoir de décision et l'initiative de toutes les opérations, sans aucune assistance du système de contrôle-commande ; à l'autre extrême, c'est à ce dernier qu'il revient de prendre les décisions et de les exécuter, sans aide humaine. Les fréquentes tournées d'inspection, qui obéissent à un calendrier précis, sont un

exemple de conduite totalement autonome : outre la capacité d'assurer cette mission, le système de contrôle-commande peut aussi décider du robot disponible pour chaque tâche, sélectionner le capteur *ad hoc*, déplacer en sécurité le robot instrumenté pour atteindre les différents points de contrôle et prendre les mesures. L'opérateur n'est averti que des dérives par rapport aux valeurs « normales ». Sinon, les mesures sont stockées en bases de données et les relevés utiles sont édités. La commande *manuelle*, pour sa part, est nécessaire pour retirer le givre qui s'est formé sur une vanne, par exemple. Enfin, en *semi-autonome*, le contrôle-commande ou l'opérateur lance les tâches destinées aux robots. L'opérateur distant utilise comme interface un modèle 3D du procédé pour définir la mission, lancer les tâches robotisées et en récupérer les résultats. Cette procédure a été testée en exploitant l'installation d'essais depuis plusieurs sites distants, dont Houston aux États-Unis et Stavanger en Norvège. Résultat : la télérobotique fonctionne sans accroc, plusieurs jours durant, même sur un réseau public souffrant d'une bande passante limitée.

L'installation extérieure sert à simuler, tester et valider les concepts développés et mis en service en laboratoire pour adapter les configurations d'essais réelles sur site avant livraison → 3.

##### Inspection et nettoyage de conduites d'hydrocarbures

Forts de ces installations d'essais dédiées et de l'expertise développée dans ce

Dans un système robotisé, l'opérateur humain demeure responsable du procédé et de son exploitation ; le robot, avec ses capteurs et outils, est un exécutant.

domaine novateur, la société Shell Global Solutions et ABB viennent de collaborer au développement, au test et à la validation d'un robot de lancement et de récupération de racleur de pipelines. Le projet entend prouver le bien-fondé de la solution, en conditions réelles.



Avec le démonstrateur ABB/Shell, les robots trouvent leurs marques dans l'industrie pétrolière et gazière pour exécuter des tâches de grande précision, par tous les temps.

Pour mémoire, un « racleur » est un engin servant à inspecter ou nettoyer l'intérieur du pipeline. Constitué de coupelles élastiques, du diamètre du pipeline, il est propulsé par la pression de l'hydrocarbure. Le racleur est habituellement introduit et retiré de la conduite à la main, dans des « gares » de lancement et de réception; son extraction est des plus risquées pour l'opérateur.

Le racleur accumule les débris au fil de sa progression dans le pipeline, lequel s'élargit en forme de tonneau à l'extrémité réceptrice pour permettre l'extraction. Il faut dépressuriser et vidanger cette section de tube avant de pouvoir ouvrir la porte. Or il arrive que les déblais amassés empêchent la dépressurisation, le racleur étant alors violemment éjecté de la conduite. Qui plus est, dans les installations à forte concentration de gaz toxique ( $H_2S$ , par exemple), la maintenance du racleur doit suivre des procédures draconiennes qui renchérisent les opérations et constituent une sérieuse menace pour la santé, la sécurité et l'environnement.

La solution ABB/Shell consiste en un robot industriel IRB 5500, certifié ATEX et équipé d'un outil spécialement conçu pour la maintenance de racleur. Les capteurs de l'outillage, de même que ceux intégrés au robot, guident ce dernier et sécurisent la mission. Ce démonstrateur utilise une section de tube en tonneau et une porte de racleur standard, non modifiées. Sécurité oblige, une interface de dialogue est installée tout près du robot pour permettre à un opérateur expéri-

menté d'acquiescer chaque étape du processus avant d'autoriser le robot à exécuter la suivante.

Le démonstrateur complet a d'abord été installé, mis en service, testé et validé (lancement des racleurs par le robot dans le tonneau et réception à l'arrivée) à l'installation d'essais extérieure d'Oslo, puis réceptionné par des équipes d'ABB et de Shell → 4 avant d'être expédié au site de démonstration de la compagnie pétrolière néerlandaise NAM (*Nederlandse Aardolie Maatschappij*), à Schiedam, près de Rotterdam. Les essais sur site, qui n'ont porté que sur l'extraction des racleurs, se sont déroulés en hiver, sous la neige, la pluie ou au soleil, à des températures de  $-10^{\circ}C$  → 5.

Au cours d'un essai type → 6, le robot commence par effectuer les premiers contrôles de sécurité pré-opérationnels : verrou et poignée de porte doivent être en bonne position, c'est-à-dire fermés. Un détecteur de proximité intégré à l'outil est utilisé à cette fin. Puis le robot déverrouille et entrouvre doucement la porte pour permettre le déversement des déblais et résidus d'huile sur une table d'égouttage placée devant le tonneau. La porte complètement ouverte, il introduit l'outil dans le tonneau et recherche le racleur; l'armoire de commande immobilise le robot sur changement d'état d'un signal d'entrée. Après avoir localisé le racleur, le robot le récupère et le dépose sur la table. La porte se referme et se verrouille, et le robot revient en position d'origine.

Certaines simplifications ont dû être apportées au démonstrateur pour respecter le cahier des charges. Tout d'abord, le nombre de tâches robotisées de maintenance du racleur a constitué un sous-ensemble de la procédure complète d'extraction. Parmi les sous-tâches dépassant le cadre de ce projet, citons l'ouverture et la fermeture des vannes, la manœuvre des pompes de vidange et le retrait des bouchons d'aération (opérations précédant l'extraction du racleur). Toutes ces étapes peuvent néanmoins être automatisées avec la technologie existante. Le robot de démonstration fut aussi limité dans son champ d'action pour ne retirer que les racleurs situés relativement près de la porte, à moins de 0,5 mètre. En conditions réelles, les racleurs peuvent être récupérés jusqu'à



2 mètres de la porte. Enfin, ce démonstrateur fut alimenté par un groupe Diesel autonome et produisit son propre air pour éviter de trop modifier les plans de l'installation.

Grâce à ce démonstrateur, ABB et Shell ont pu prouver que les robots ont leur place dans les infrastructures de pétrole et de gaz pour réaliser par tous temps des travaux de grande précision, et l'immense potentiel de réduire les risques sanitaires, sécuritaires et environnementaux liés à ces opérations.

### En phase avec la demande

L'extraction et la production de pétrole et de gaz sont confrontées à un certain nombre de défis, comme la baisse des taux de récupération, les difficultés d'accès aux gisements et l'exploration de réserves non conventionnelles, plus problématiques. Dans ces conditions, tout porte à croire que l'automatisation poussée des installations de pétrole et de gaz – pouvant aller, pourquoi pas, jusqu'à supplanter l'homme – est inévitable, en particulier pour satisfaire aux besoins constants de sécurité accrue. Si ce scénario se confirme, il faudra confier à des robots intégrés au système de contrôle-commande les opérations d'inspection et maintenance, de vérification, d'essai et d'étalonnage assurées jusqu'ici par des intervenants sur site et des techniciens de maintenance. Si cette stratégie a de quoi améliorer la sécurité, elle devra aussi faire preuve d'efficacité pour sécuriser la chaîne de valeur et optimiser l'exploitation de sites éloignés et difficiles.

Remplir ces objectifs de sécurité, d'efficacité et de coût n'est pas chose facile et peut nécessiter des solutions techniques, des pratiques de travail et des modèles économiques inédits. En revanche, plusieurs facteurs fondamentaux favorisent la réussite de la solution. Au premier chef, une collaboration étroite avec les utilisateurs et clients du marché pétrogazier permet de se concentrer sur les vrais problématiques et enjeux du

---

**Au-delà d'une sécurité accrue, la télérobotique ABB a le potentiel pour accroître le taux d'engagement et la rentabilité des installations.**

secteur, et de bien définir le cahier des charges. Reste à savoir si ces spécifications peuvent être satisfaites par des techniques existantes, émergentes, ou un mix des deux. Lever les verrous technologiques d'un système robotisé aussi complexe passe, en phases de développement, par une démarche par étapes, qui implique aussi de valider la technologie dans des configurations de plus en plus astreignantes et réalistes.

Telle est la voie adoptée par ABB pour le développement de son prototype télé-robotique. Les premiers résultats sont très encourageants ; au-delà d'une plus grande sécurité, un autre objectif à long terme est de fiabiliser et de régulariser l'exploitation de façon à accroître le taux d'engagement des équipements et la rentabilité des installations.

**Charlotte Skourup**

**John Pretlove**

ABB Strategic R&D for Oil, Gas and Petrochemicals  
Oslo (Norvège)

charlotte.skourup@no.abb.com

john.pretlove@no.abb.com

---

**Photo p. 50-51**

Ce prototype, composé de trois robots ABB (un pour l'inspection, deux pour la maintenance), sert à simuler, tester et valider les concepts et nouvelles configurations d'essais.



# Gisement de productivité

ABB dope et prolonge l'exploitation de la gigantesque mine de cuivre d'Aitik

LENA NYBERG, GERD EISENHUTH, KJELL SVAHN, PER ASTROM, SARAH STOETER – À quelque 1 000 km au nord de Stockholm (Suède), au-delà du cercle arctique, s'étend l'une des plus grandes mines de cuivre à ciel ouvert, Aitik. Malgré un minerai pauvre, à moins de 0,3 % de cuivre, la mine s'avère extrêmement rentable grâce à une exploitation optimisée. Et le complexe minier vient encore de gagner en performance avec un programme de modernisation de 790 millions de dollars qui a permis au groupe métallurgique Boliden de doubler la production et de prolonger la mine jusqu'en 2030. Une réussite à laquelle ABB a contribué en fournissant des produits et systèmes d'entraînement, de contrôle-commande et d'alimentation électrique pour tout le site.



Le premier entraînement de broyeur sans réducteur de 6,4 MW, livré à Lafarge en 1969 : toujours opérationnel !

C'est tout près de la petite ville de Gällivare, en Laponie suédoise, que l'on découvre, dans les années 1930, le dépôt métallifère d'Aitik. Il faudra attendre 1968 pour que le progrès technologique garantisse la rentabilité de l'extraction, même si le précieux minerai ne titre que 0,25 % de cuivre, 0,1 g d'or et 2 g d'argent à la tonne. En 2006, Boliden décide d'investir 790 millions de dollars dans un vaste projet triennal de modernisation de la production.

La fourniture ABB est impressionnante : 650 moteurs, 230 convertisseurs et variateurs, 2 entraînements de broyeurs sans réducteur de 22,5 MW, 2 systèmes d'entraînement à deux pignons de 5 MW, 4 moteurs à aimants permanents de 1,4 MW, 23 transformateurs de distribution, un poste à isolation gazeuse, un système de filtrage d'harmoniques, le système d'automatisation étendue 800xA → 1 et, bien entendu, un contrat de services complet.

#### Grandes manœuvres

ABB est au service de l'industrie minière depuis 120 ans ! Dès 1891, l'entreprise équipait un treuil de la mine de fer de Kolningsberget, à Norberg (Suède), des premiers systèmes d'entraînement et de commande. Elle a aussi livré plus de 600 nouvelles machines d'extraction et modernisé des centaines d'exploitations. Le treuil ASEA (société à l'origine d'ABB) de la mine de zinc de Zinkgruvan, qui date des années 1930, fonctionne encore à ce jour. ABB est aussi pionnier de plusieurs autres inventions minières : les premiers excavateurs à chaîne à godets et ponts roulants en 1949, fournis par VEM (ancienne société d'ABB), le convoyeur à bande en 1960.

ABB est également un précurseur dans le développement des énormes systèmes d'entraînement de broyeur sans réducteur<sup>1</sup>, plus fiables, plus productifs et moins énergivores que les entraînements classiques. Le premier du genre, une machine de 6,4 MW livrée au cimentier Lafarge en 1969, est toujours en service aujourd'hui.

Le premier entraînement de broyeur sans réducteur ABB pour la minérallurgie vit le jour au concentrateur de cuivre de Panguna, sur l'île de Bougainville (Papouasie Nouvelle-Guinée), en 1985. Depuis 1969, ABB a livré ou a en commande plus de 100 systèmes de ce type dans le monde. Au fil des ans, ces équipements ont fait l'objet d'une double course à la puissance et au gigantisme. En 2010, ABB livrait un entraînement sans réducteur de 28 MW pour un broyeur semi-autogène de 12,2 m, ainsi que deux entraînements de 22 MW destinés aux broyeurs à boulets de 8,5 m du concentrateur de Toromocho (Pérou), l'une des mines de cuivre

#### Photo p. 56-57

La mine de cuivre à ciel ouvert d'Aitik, à Gällivare (Suède), s'étend sur 3 km, à une profondeur maximale de 405 m. (Avec l'aimable autorisation de Boliden/Lars Devall)

#### Note

- 1 Lire aussi « Force rotatrice », *Revue ABB*, 1/2011, p. 29-35, et « Stabilité opérationnelle », p. 74 de ce numéro.



les plus hautes de la planète (4 600 m d'altitude), exploitée par le géant minier Chinalco. La même année, ABB recevait la commande d'un système sans réducteur de 28 MW pour entraîner le premier broyeur semi-autogène de 12,8 m de diamètre au monde. Le record de puissance revient aux deux entraînements de 22,5 MW qui pilotent les énormes broyeurs autogènes de 11,6 m de l'usine de concentration suédoise de Boliden. Aitik est aussi équipé des plus longs broyeurs au monde (13,7 m)!

Autre contribution majeure d'ABB au secteur minier: la fourniture d'ouvrages et d'équipements électriques garantissant la fiabilité et la stabilité de l'alimen-

tements, d'améliorer la sécurité du personnel et d'optimiser l'usage des matériaux et des ressources énergétiques. Depuis 1883, ASEA équipe les plus grands groupes miniers mondiaux. Certaines de ces récentes réalisations d'envergure sont résumées en → 2.

### Du roc au métal

Un dynamitage hebdomadaire à Aitik suffit pour traiter 106 000 tonnes de minerai par jour. C'en est assez pour charger les impressionnants camions de mine → 3 qui transportent inlassablement près de 200 t de minerai abattu jusqu'au concasseur situé à 405 m de profondeur; là, la roche est fragmentée en blocs de 30 cm qui sont d'abord transportés sous terre, puis remontés en surface pour stockage. À la vitesse de 4 m/s, un autre convoyeur achemine le minerai

concassé au concentrateur, sur un trajet de 7 km jalonné d'équipements alimentés et pilotés par des moteurs et variateurs ABB. Au concentrateur, les deux

## 2 Quelques mégaprojets miniers d'ABB

- 1992 - Fourniture de deux installations de stockage et de manutention pour la mine de bauxite Los Pijigaos (Bauxiven), au Venezuela: toute l'infrastructure et le matériel électrique, tels qu'appareillage d'interruption, transformateurs, départs-moteurs, variateurs de vitesse et système de commande *ABB Master*.
- 1998 - Modernisation de la raffinerie de zinc de Cajamarquilla, au Pérou, pour doubler la capacité de production: redresseurs de transformateurs, four à induction et système de contrôle-commande du procédé.
- 2009 - Lancement du projet d'exploitation de la mine de charbon géante à ciel ouvert de Moatize, au Mozambique, pour le compte du groupe brésilien Vale: système d'automatisation étendue 800xA, tous les appareillages de distribution moyenne et basse tension, variateurs, moteurs et auxiliaires.

## 650 moteurs et variateurs ABB équipent les nouvelles installations d'Aitik.

tation en énergie. Tout aussi cruciaux sont les systèmes d'automatismes qui permettent de piloter avec précision procédés et équipements, de maximiser les

3 Des camions de 100 t, juchés sur des roues de 3,4 m, transportent chacun 200 t de roche au concasseur primaire d'Aitik. (Photo : Peter Tubaas)



4 Entraînements ABB installés sur le convoyeur de 7 km qui achemine le minerai au concentrateur d'Aitik.



entraînements de broyeurs sans réducteur de 22,5 MW réduisent en poudre 4 400 t de minerai par heure. La « pulpe » (mélange de minerai et d'eau) est ensuite introduite dans des « cellules de flottation » au fond desquelles on injecte de l'air, et mélangée à des réactifs, des agents moussants qui favorisent la formation de bulles d'air, et de la craie. Des agitateurs créent par brassage une écume surnageante à laquelle se fixe la poussière de minerai utile. Ce traitement physico-chimique, nécessitant l'ajout de 500 000 l d'eau par heure, facilite la séparation du métal valorisable de sa gangue stérile. On obtient un concentré de minerai à 25 % de cuivre (chalcopyrite), amené par train à la fonderie pyrométallurgique de Rönnskär, à 400 km au sud-est de Gällivare.

### Les technologies ABB dans la mine

Pour augmenter sa productivité, la mine d'Aitik mise sur la performance des technologies ABB qui ont permis à Boliden de porter ses capacités d'extraction à 36 millions de tonnes de minerai par an.

#### Entraînements de convoyeur

Les 7 km de convoyeur qui charrient les énormes blocs de minerai au concentrateur → 4 sollicitent beaucoup la mécanique et l'alimentation électrique. Ces conditions d'exploitation imposent de maîtriser le démarrage progressif, le fonctionnement et la protection des appareils. Il est donc primordial de choisir la meilleure solution d'entraînement.

ABB a développé pour ce créneau une technologie et des fonctionnalités spécialement adaptées à la manutention

longue distance de matériaux en vrac : répartition des charges, démarrage progressif dans toutes les conditions de charge, divers modes de freinage et d'arrêt, etc. La solution tient compte d'une multitude de critères : performance, rendement, coûts d'acquisition, souplesse d'utilisation et optimisation de l'exploitation, fiabilité et vieillissement des convoyeurs, nombre de pièces soumises à la fatigue et à l'usure, compacité et conception des moteurs autorisant un changement rapide et aisée des poulies d'entraînement et paliers de poulies.

#### Moteurs électriques et variateurs

ABB a équipé les nouvelles installations d'Aitik de quelque 650 moteurs (de 4 kW à 5 MW) et variateurs, qui pilotent presque tous les équipements de la mine : concasseur en fond de mine,

## 7 km de convoyeur transportent le minerai au concentrateur pour y être broyé.

convoyeurs, broyeurs, pompes (pour alimenter en eau les broyeurs et évacuer les résidus boueux de la concentration), ventilateurs pour réguler la qualité de l'air.

Nombreux sont ces moteurs à fonctionner 24 heures sur 24, toute l'année, au rythme de la mine, souvent dans la pous-

sière. De plus, les équipements extérieurs doivent endurer des températures polaires (jusqu'à  $-45^{\circ}\text{C}$  en hiver). Dans ces conditions, la fiabilité est la priorité de ces entraînements.

#### Poste électrique et filtre d'harmoniques

L'extraction minière étant une activité électro-intensive, l'extension d'Aitik a nécessité la construction de deux lignes électriques supplémentaires et d'un nouveau poste de plus grande capacité pour gérer ce surcroît de puissance.

ABB a ainsi fourni un poste à isolation gazeuse de 170 kV, qui a permis de réduire la taille de l'installation de 80 % → 5. Ce poste comporte deux lignes d'arrivée garantissant la continuité de la fourniture électrique même en cas de défaillance de l'une d'elles. Trois transformateurs de 80 MVA abaissent la tension d'alimentation au niveau nécessaire à l'exploitation de la mine ; ils peuvent gérer une puissance égale à celle consommée par une ville de 100 000 habitants.

L'électricité est distribuée dans toute la mine par un tableau UniGear 24 kV d'ABB. Le poste et les deux lignes électriques sont surveillés et protégés par des relais Relion®. Ces équipements fiablent l'alimentation électrique du complexe minier, qui peut ainsi fonctionner *non stop*, de jour comme de nuit.

ABB a également fourni un système de filtrage d'harmoniques qui protège les installations de Boliden et le réseau électrique, évitant ainsi les pénalités du fournisseur d'électricité. Les harmoniques



Grâce à son poste électrique à isolation gazeuse de 170 kV, ABB a réduit la taille de l'installation de 80 %.

sont ainsi maintenus à des niveaux inférieurs aux limites fixées par la normalisation internationale (CEI) et suédoise. Ce système de filtrage et de compensation rapproche le facteur de puissance de l'unité ( $\geq 0,99$ ).

#### Entraînements de broyeurs sans réducteur

Les entraînements de broyeurs sont un pivot de la chaîne de traitement du minerai. Ils conjuguent puissance, force rotatrice et efficacité énergétique pour réduire le minerai à la granulométrie requise par les autres étapes d'affinage du cuivre. Les entraînements sans réducteur sont les plus nombreux ; l'absence de réducteur et d'autres organes mécaniques améliore les performances du broyage tout en réduisant les besoins de maintenance.

La pièce maîtresse de ce type d'entraînement est un colossal moteur intégré à un broyeur à tambour et associé à un variateur qui démarre le broyeur en douceur, sans à-coups. Rappelons que les entraînements sans réducteur d'Aitik détiennent le record mondial de la puissance (22,5 MW) et pilotent les plus gros broyeurs au monde → 6, capables de réduire 2 200 tonnes de minerai à l'heure. Les entraînements de broyeurs sans réducteur d'ABB développent toute la puissance requise tout en minimisant la consommation énergétique, sans dégrader la qualité de l'alimentation électrique.

L'énergie consommée au broyage peut représenter 50 à 70 % de l'énergie totale nécessaire à la concentration du minerai. Les variateurs sont une solution écopro-

formante pour adapter la vitesse des machines aux besoins de l'application. L'absence de pièces en mouvement entre moteur et tambour augmente considérablement la robustesse du broyeur et fiabilise le traitement de grosses quantités de minerai.

#### Système de contrôle-commande

L'ensemble du complexe minier d'Aitik (concentrateur, convoyeurs, postes de pompage et station d'épuration des eaux usées) est piloté par le système d'automatisation étendue 800xA d'ABB → 7, qui regroupe un large éventail d'équipements, de systèmes et d'applications sur une même plate-forme de conduite.

Le système IBM Maximo de gestion de la maintenance de la mine est intégré à 800xA, ce qui permet la création de rapports de défauts directement dans l'interface opérateur et facilite leur transfert au service de maintenance. Quelques clics suffisent à l'opérateur pour pointer l'objet qu'il souhaite signaler à la maintenance, choisir l'application de création de rapport de défauts, saisir le problème et le soumettre à Maximo. Depuis ce rapprochement du contrôle-commande 800xA, cinq fois plus de problèmes ont pu être anticipés, réduisant d'autant les arrêts intempestifs et les perturbations du procédé.

Aitik est le premier site au monde à intégrer non seulement la maintenance mais aussi la gestion de la documentation au système 800xA. En accédant rapidement et facilement aux instructions, schémas, etc., les opérateurs peuvent



Le système d'automatisation étendue 800xA d'ABB pilote toute l'usine et chaque équipement de la mine.

accélérer et affiner la prise de décisions et les actions correctives. En mars 2011, Aitik a également commencé à utiliser les « contrôleurs d'actifs » de 800xA aux fins de maintenance prédictive, en se concentrant sur trois composants essentiels de l'exploitation minière qui conditionnent sa disponibilité et sa rentabilité. L'un d'eux est le réducteur des gros broyeurs. Les contrôleurs d'actifs signalent le besoin de maintenance et aident à

## Aitik est le premier site industriel au monde à intégrer maintenance, gestion de la documentation et contrôle-commande 800xA d'ABB.

anticiper les dysfonctionnements de l'équipement pour les corriger avant qu'ils ne perturbent les opérations. Boliden compte profiter de la mise à niveau des systèmes 800xA de tous ses sites miniers pour implanter la solution ABB d'optimisation des actifs industriels.

Autre grande première d'Aitik, la possibilité de faire tourner toute l'application de contrôle-commande 800xA du concentrateur sur des *smartphones* HTC → 8.



Bientôt, tout le personnel technique (ingénieurs, opérateurs et chefs d'atelier) pourra superviser et piloter le site sur son mobile.

Un « plus » pour la souplesse de supervision et de conduite de la mine !

Aitik est aussi l'un des premiers sites industriels au monde à faire usage de la nouvelle norme CEI 61850 sur les réseaux et systèmes de communication dans les postes électriques. Le système 800xA constitue ainsi une plate-forme unique de conduite et de supervision des automatismes du procédé et des appareils de protection, de coupure, de transport et de distribution électriques. L'intégration des systèmes de commande électrique et de conduite du procédé, sur le site, augmente la productivité et réduit les arrêts de production en permettant de regrouper les activités d'ingénierie, de maintenance et d'exploitation. De surcroît, l'adoption d'une norme internationale, à la pointe de la technologie, diminue les coûts d'installation et de fonctionnement tout en augmentant la visibilité des usages et consommations énergétiques.

Aucune filière industrielle ne peut faire l'impasse sur une alimentation en énergie fiable et sûre. Il est donc vital de gérer et de maîtriser cet approvisionnement, comme n'importe quel autre paramètre clé du *process*. À Aitik, l'alimentation électrique est accessible dans 800xA : les opérateurs ont une vue complète de tout le complexe minier et peuvent immédiatement procéder aux réglages nécessaires pour parer aux perturbations de la fourniture électrique.

### Lena Nyberg

ABB Process Automation, Open Control Systems  
Västerås (Suède)  
lena.nyberg@se.abb.com

### Gerd Eisenhuth

ABB Process Automation  
Baden-Dättwil (Suisse)  
gerd.eisenhuth@ch.abb.com

### Kjell Svahn

ABB Process Automation, Minerals  
Skellefteå (Suède)  
kjell.svahn@se.abb.com

### Per Astrom

ABB Power Products  
Ludvika (Suède)  
per.g.astrom@se.abb.com

### Sarah Stoeter

Revue ABB  
Zurich (Suisse)  
sarah.stoeter@ch.abb.com



# Cohabitation harmonieuse

## Les atouts de poids des nouveaux variateurs de fréquence ABB

**MIKKO LÖNNBERG, PETER LINDGREN – L'offre de variateurs ABB, depuis les appareils basse et moyenne tension en courant alternatif (CA) jusqu'aux appareils courant continu (CC) pour applications industrielles complexes, booste le rendement, la fiabilité et la souplesse de conduite des procédés tout en dégagant d'importantes économies d'énergie. ABB crée aujourd'hui sa première gamme de variateurs de fréquence basse tension (BT) s'articulant sur une base technologique commune : même interface utilisateur, même facilité de paramétrage par menu, mêmes accessoires et outils de développement. Cette nouvelle architecture ABB, qui s'applique d'abord aux gammes *industrial drive* et *standard drive* jusqu'à 250 kW, est appelée à monter en puissance. Les variateurs ACS880-01 ABB *industrial drive* sont parmi les premiers à inaugurer cette architecture commune, totalement compatible. Leur puissance n'a d'égale que leur polyvalence applicative.**

**A**BB est leader mondial de la variation électronique de vitesse. Ses variateurs régulent avec précision la vitesse et le couple d'un moteur électrique en agissant directement sur la puissance fournie à ce dernier. Nombreux sont leurs atouts : économies d'énergie (par rapport aux charges à puissance constante), commande optimisée du *process*, maintenance réduite et sécurité fonctionnelle intégrée, conforme aux exigences de la directive européenne sur les machines 2006/42/CE.

ABB renforce encore son activité vitesse variable avec une nouvelle offre de variateurs BT 100% compatibles, bâtis sur une architecture commune. Ses objectifs ? Simplifier l'exploitation, optimiser l'efficacité énergétique, maximiser les rendements. Cette plate-forme permet de piloter quasiment tous les types de moteurs CA et interfaces se conformant aux protocoles des grands bus de terrain, ainsi que les solutions de télésurveillance. La compatibilité ascendante des appareils est primordiale pour les utilisateurs voulant bénéficier de nombreuses fonctions plus intuitives pour faciliter la sélection, l'installation, le paramétrage rapide et la maintenance du produit enrichi de fonctions de sécurité intégrées. Le premier variateur commercialisé sera l'ABB *industrial drive* pour montage mural.

Cette architecture unifiée a bien des avantages :

- Facilité d'apprentissage et d'exploitation, grâce à une micro-console, des outils de développement et des menus de paramétrage communs à toute la gamme, qui écourtent le temps de formation aux nouveaux variateurs ABB ;
- Accessoires universels pour abaisser le coût des pièces de rechange et en faciliter le stockage ;
- Fonctions intégrées de sécurité pour renforcer la protection du personnel tout en diminuant les coûts d'installation ;
- Consommation énergétique réduite et optimisée, propice aux économies ;
- Diagnostic énergétique pour faciliter l'étude et le dimensionnement de l'application : l'information est fournie par une courbe de charge et des calculateurs d'efficacité énergétique qui indiquent la puissance consommée et économisée, ainsi que la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> et de la facture d'électricité.

Le passage d'une génération à l'autre d'appareils se fait en douceur car leurs dimensions restent inchangées ou, dans

### Photo p. 62

Les variateurs d'ABB s'adaptent à une grande variété d'entraînements industriels basse et moyenne tension, à courant continu et alternatif.

### 1 Nouvelle micro-console à contraste élevé et haute résolution



### 2 Fonctionnalités de la micro-console

- Ses touches de fonction et sa navigation intuitive à quatre directions permettent à l'utilisateur de localiser rapidement les paramètres et fonctions sur lesquels il souhaite agir.
- Au-delà des visualisations simples, cette interface offre des affichages évolués comme des courbes de tendance, des graphiques, des histogrammes et des données numériques permettant d'interpréter plus vite et plus facilement les dérives et défauts du procédé.
- Des assistants font gagner du temps à la mise en service en simplifiant les réglages essentiels des différentes fonctions sans que l'utilisateur ait besoin d'en connaître tous les paramètres. Un assistant dédié bus de terrain, par exemple, aide à paramétrer le variateur et son coupleur réseau.
- Menus et messages peuvent être adaptés à la terminologie métier de l'application.
- Un éditeur de texte permet de personnaliser l'affichage et de compléter l'information.

### 3 Par leurs fonctions intégrées, les variateurs ABB sécurisent les machines.



La nouvelle architecture 100 % compatible d'ABB permet de piloter quasiment tous les types de moteurs CA et interfaces conformes aux protocoles des grands bus de terrain, ainsi que les solutions de télésurveillance.

bien des cas, sont nettement revues à la baisse: en effet, la densité de puissance de la nouvelle gamme a considérablement augmenté au point que l'ABB *industrial drive* est jusqu'à trois fois et demi plus petit que son aîné! De même, nombre de fonctions pointues qui ont fait le succès de l'offre existante (sécurité fonctionnelle, calculateurs d'efficacité énergétique...) sont reprises dans la nouvelle architecture.

#### Réglages facilités

La nouvelle micro-console à affichage haute résolution → 1 s'appuie sur des techniques d'interface modernes et des fonctionnalités poussées → 2 qui accélèrent les réglages et autorisent la commande de plusieurs variateurs en chaîne, reliés par bornier intégré. La micro-console permet également de dupliquer des paramètres d'un variateur à l'autre, d'où un gain de temps et une flexibilité accrue, très appréciables quand il faut configurer plusieurs appareils.

Il est aussi possible de centraliser les réglages sur un ordinateur: pour cela, un outil logiciel assure le démarrage, la mise en service et la surveillance rapides de tous les types de variateurs. Sa version de base offre des fonctionnalités de mise en route et de maintenance tandis que la variante « professionnelle » redouble de fonctions comme la personnalisation des fenêtres de paramétrage, les réglages de sécurité et les schémas de configuration du variateur. Ces derniers permettent à l'utilisateur de localiser rapidement les

paramètres sans avoir à dérouler de longues listes et de configurer plus vite et plus facilement la logique de commande de l'appareil. L'outil sur PC se raccorde aux variateurs par un câble USB standard ou une connexion Ethernet. D'un clic, toutes les données du variateur (paramètres, défauts, sauvegardes et événements) sont compilées dans un fichier transférable par courriel aux agents de maintenance ou à ABB pour analyse. Résultat: des défauts plus vite décelés, des arrêts de production écourtés, des coûts de fonctionnement et de maintenance minimisés.

#### Sécurité renforcée

La sécurité fonctionnelle des variateurs ABB satisfait aux exigences de la directive machine « deuxième génération » de l'Union européenne. C'est ainsi que sont intégrées en standard des fonctions évoluées, dont l'arrêt « STO » (*Safe Torque Off*) qui supprime le couple à l'arbre moteur et empêche tout démarrage intempestif, en vue de garantir la sécurité optimale de l'exploitation et de la maintenance. En ayant moins recours à des composants externes, cette sécurité intrinsèque simplifie la configuration et diminue l'encombrement de l'appareil → 3. À ces fonctions standard s'ajoutent des options comme l'arrêt sûr de catégorie 1 (SS1), l'arrêt d'urgence sûr (SSE), la vitesse limitée sûre (SLS), la commande sûre du frein (SBC) et la vitesse maximale sûre (SMS).



### Gains énergétiques

Si les variateurs sont déjà, par nature, sources d'économies d'énergie, les appareils *ABB industrial drive* embarquent des calculateurs qui donnent le détail des kWh et MWh consommés et économisés, ainsi que les émissions de CO<sub>2</sub> évitées: des informations qui permettent d'affiner le réglage du procédé pour mieux utiliser l'énergie. Cette optimisation garantit une commande à couple maximal par ampère et diminue la consommation électrique.

### Formation minimale

Le principe de l'apprentissage unique pour un usage multiple (*learn it once, use it everywhere*) réduit considérablement le temps nécessaire aux constructeurs de machines, intégrateurs et utilisateurs (personnel de maintenance compris) pour configurer, exploiter et entretenir au mieux ces nouveaux variateurs. Cet optimum résulte de l'architecture commune des appareils qui, rappelons-le, utilisent une seule micro-console, les mêmes outils de développement et des accessoires universels. De plus, tous les paramètres sont harmonisés: leurs désignations, significations et emplacements, tout comme les noms des différentes fonctions, sont identiques pour tous les variateurs.

### ACS880-01 ABB industrial drive

Les premiers appareils à bénéficier de cette plate-forme sont les ACS880 *ABB industrial drive* et, notamment, la gamme ACS880-01 *single drive*<sup>1</sup>, conçue pour

une plage de puissance de 0,55 à 250 kW sous 380 à 500 V → 4; des tensions supérieures seront couvertes plus tard. Il est adapté à la commande d'une grande variété de machines telles que les extrudeuses, engins de levage, treuils, enrouleurs/dérouleurs, convoyeurs, mélangeurs, compresseurs, pompes et ventilateurs, que l'on retrouve dans bien des domaines industriels: construction navale et propulsion marine, exploitation minière, ciment, pétrole/gaz, métallurgie, chimie, manutention, papier... Les différentes versions d'ACS880 sont fabriquées selon les exigences du client avec une foule d'options: large choix de bus de terrain, filtres RFI/CEM, résolveurs, codeurs, filtres du/dt, filtres sinus, selfs réseau et résistances de freinage, logiciels métiers.

Grâce à leur commande ultraprécise et éprouvée DTC (*Direct Torque Control*), les ACS880 *ABB industrial drive* peuvent piloter, en boucle ouverte ou fermée, presque tous les types de moteurs CA, y compris les machines synchrones et à aimants permanents, de même que les servomoteurs asynchrones. Pour maximiser la productivité, ABB a encore amélioré sa technologie DTC pour accroître la précision de commande des moteurs et réagir plus vite aux modifications du process, sans retour capteur. Ses nouvelles gammes de variateurs peuvent aussi commander des moteurs à aimants permanents, sans logiciel supplémentaire. L'ACS880-01 est proposé en protection IP21 et IP55 pour les environnements

poussiéreux et humides. Les deux versions embarquent des cartes vernies pour accroître la longévité de l'appareil en milieux difficiles. De plus, la température de l'air de refroidissement est surveillée en continu et une alarme est émise en cas de surchauffe.

Ces variateurs sont compatibles avec l'environnement de programmation et de paramétrage CoDeSys<sup>2</sup>, qu'ABB utilise déjà pour son automate programmable AC500. Ce socle commun permet d'intégrer aisément variateur et automatisme, la logique de commande pouvant même être transférée de l'AC500 au variateur. La gamme *ABB industrial drive* peut aussi dialoguer avec la plupart des grands réseaux de terrain et les solutions de télésurveillance.

### Force motrice

La variation de vitesse a remarquablement évolué au cours des deux dernières décennies, sous l'impulsion prépondérante d'ABB. Les nouvelles générations de variateurs se démarquent par leur compacité, grâce aux formidables progrès de la miniaturisation, leur capacité à communiquer, leur intelligence fonctionnelle, leur facilité d'installation et de mise en œuvre. ABB réussit encore à accroître la densité de puissance de ses appareils, comme l'atteste le nouvel ACS880, trois fois et demi plus petit que son prédécesseur!

Cette génération de variateurs BT partageant la même architecture compatible garantit d'énormes bénéfices aux clients. Outre la commande de la quasi-totalité des moteurs CA, ces appareils polyvalents (applications industrielles, tertiaires et résidentielles) jouent la carte de la rapidité de mise en service, des économies d'énergie et des gains de productivité, ce qui laisse augurer un moindre coût global de possession pour le client.

**Mikko Lönnberg**

**Peter Lindgren**

ABB Oy

Helsinki (Finlande)

mikko.lonnberg@fi.abb.com

peter.lindgren@fi.abb.com

### Notes

- 1 Variateur complet (regroupant dans une même enveloppe redresseur, bus courant continu et onduleur), proposé en coffret prêt à l'emploi pour montage mural ou en armoire.
- 2 Acronyme de l'anglais **Controller Development System**, outil de développement et de programmation d'applications automatées, normalisé CEI 61131-3.





# Modernisation de poste

Une installation 380 kV,  
à l'heure de la CEI 61850

**MARCEL LENZIN** – La norme internationale CEI 61850 a beaucoup fait pour l'intégration et la communication des postes électriques. Les fournisseurs d'électricité du monde entier n'ont d'ailleurs pas tardé à l'adopter pour accroître l'interopérabilité de leurs équipements, même hétérogènes, et favoriser les échanges. Loin de se cantonner aux nouvelles installations, elle s'invite aujourd'hui dans les projets de remise à neuf des postes existants.

**L**e poste isolé dans l'air 380/220 kV de Sils (dans le canton des Grisons, au sud-est de la Suisse), exploité par KHR (*Kraftwerke Hinterrhein*), est l'un des plus importants nœuds du réseau de transport helvétique, lui-même rattaché au réseau européen UCTE.

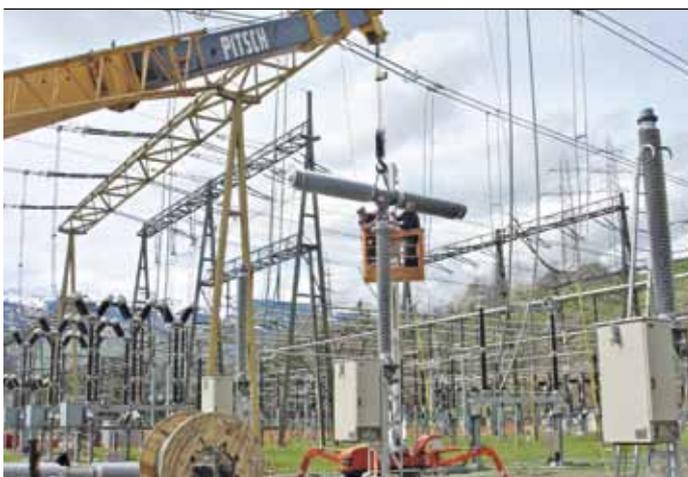
La totalité de l'installation secondaire et une partie des équipements primaires en 380 kV arrivant en fin de vie, une remise à neuf d'envergure s'imposait. KHR décida de remplacer en priorité le secondaire tout en conservant l'essentiel du primaire. Sachant que la durée de vie des équipements secondaires est habituellement deux fois moindre que celle des équipements primaires, une rénovation de ce type n'a rien d'exceptionnel dans les pays industrialisés. Pour garan-

tir l'adéquation de l'investissement aux besoins des 10 à 15 années à venir, KHR décida de mettre le secondaire en conformité avec la norme CEI 61850.

## Vaste entreprise de transformation

Il est toujours plus difficile de rénover que de partir de zéro. En effet, il faut assurer la compatibilité de l'ancien et du neuf, ainsi que la continuité de fonctionnement en phase de transition → 1. Les interruptions de service doivent être réservées aux cas de force majeure et écourtées au maximum. L'exploitation du réseau de transport tout entier ne doit en aucun cas pâtir des travaux. Charge aux équipes de projet d'étudier le système existant à la loupe pour s'en approprier les moindres détails !

## 1 La modernisation d'un poste électrique ne doit en rien entraver son fonctionnement.



## 2 Centre de conduite du poste, à Sils



Il est toujours plus difficile de rénover que de partir de zéro. Il faut assurer la compatibilité de l'ancien et du neuf, ainsi que la continuité de fonctionnement durant la transition.

### CEI 61850 à la rescousse

Le secondaire d'un poste électrique remplit deux grandes missions : commander l'équipement primaire et le protéger des défauts électriques qui risquent de l'endommager. Ces tâches incombent à des dispositifs électroniques intelligents de contrôle-commande et de protection, plus connus sous l'acronyme anglo-saxon « IED » (*Intelligent Electronic Devices*). Un IED est relié aux équipements primaires par des entrées/sorties et pilote tout ou partie d'une tranche. Les fonctions de protection sont spécifiques au type de tranche (transformateur, ligne, coupleur, etc.).

Organes de commande, les IED se chargent des fonctions de pilotage et d'interverrouillage. Ils ne garantissent l'exploitation d'un équipement primaire que si certaines conditions préalables sont vérifiées. Dispositifs de protection, les IED surveillent en permanence le comportement électrique du poste, à l'aide de mesures de tension et de courant. La détection d'un défaut risquant d'endommager le primaire oblige à arrêter les composants concernés du poste et à isoler l'équipement en défaut. Des alarmes sont transmises au centre de conduite sur le bus CEI 61850.

Celui-ci relie les IED au système de contrôle-commande du poste chargé du pilotage et de la surveillance du réseau tout entier. Un poste étant un simple nœud du réseau électrique, il faut regrouper ses informations et les transmettre au centre de conduite, situé habituellement à des kilomètres de distance → 2. Selon la stratégie de l'exploitant du réseau, il est aussi possible de

piloter les équipements primaires à partir de ce centre. C'est une passerelle qui assure le couplage des IED avec la téléconduite.

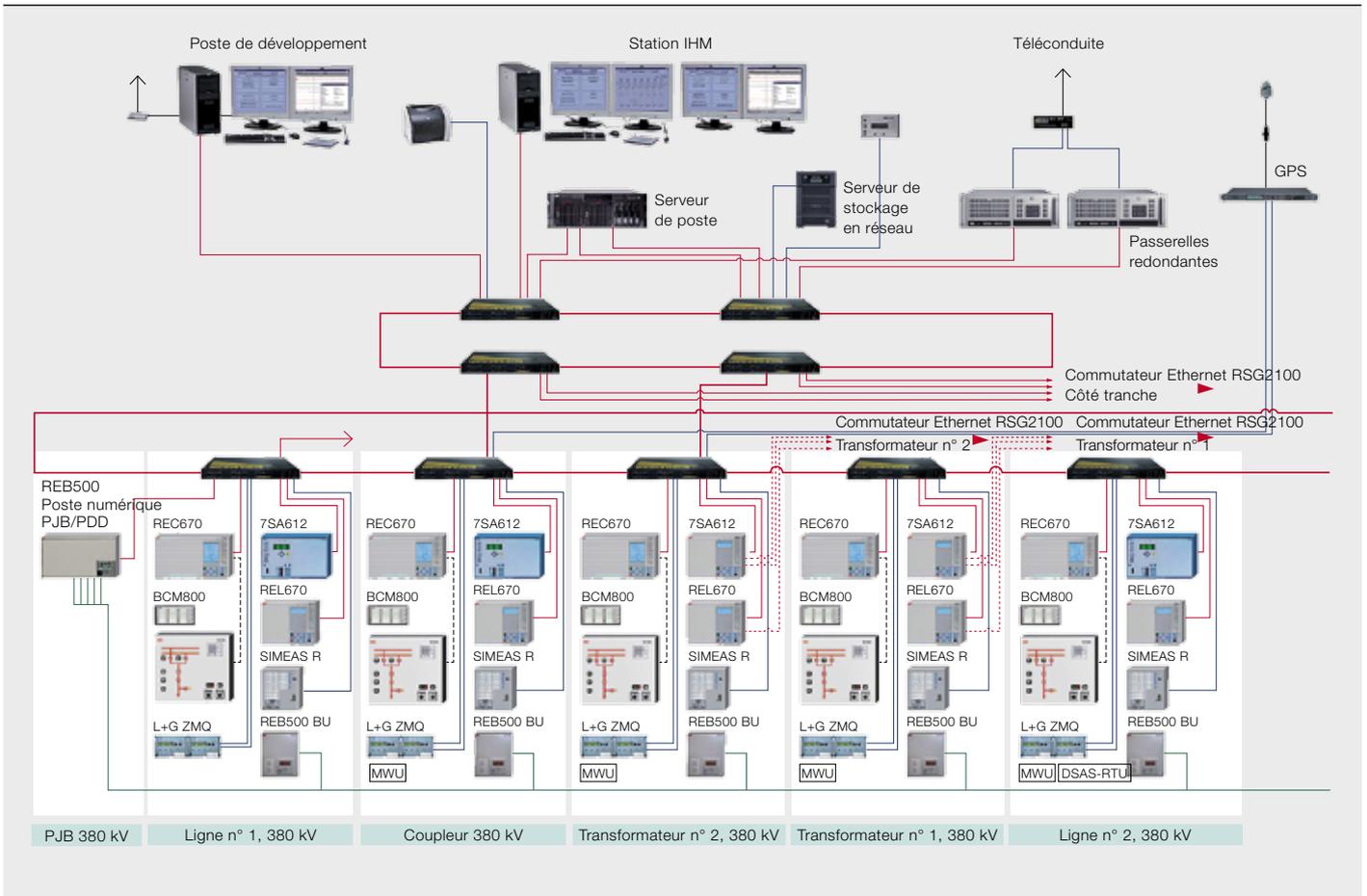
Dans le poste de Sils, les fonctions de commande et de protection sont confiées à des IED de la série Relion® 670 d'ABB. Il arrive souvent que les fournisseurs d'électricité imposent d'installer en parallèle des équipements de secours provenant de constructeurs différents. À Sils, ces appareils (de fourniture tierce) sont totalement intégrés selon la CEI 61850 ; c'est d'ailleurs l'un des points forts de la norme.

Les fonctionnalités de ces IED ont été conçues aussi bien pour répondre aux besoins des équipements existants que pour tirer profit des nouvelles technologies comme, par exemple, le protocole GOOSE<sup>1</sup> de communication entre tranches.

Tous les IED sont raccordés au bus CEI 61850 → 3, lequel est divisé en plusieurs anneaux physiques, dont l'un dessert le réseau local du poste tandis que les autres assurent les échanges aux niveaux poste et tranche. Cette topologie a été choisie pour accroître la disponibilité du réseau. Le contrôle-commande utilise la plate-forme MicroSCADA Pro d'ABB et s'exécute sur un puissant serveur équipé d'une alimentation redondante et d'un système de stockage RAID<sup>2</sup>. La sauvegarde logicielle est

### Notes

- 1 Acronyme de l'anglais *Generic Object-Oriented Substation Event*
- 2 *Redundant Array of Independent Disks*



effectuée par un serveur de stockage raccordé au réseau local du poste.

Deux clients CEI 61850 indépendants, directement couplés au bus, font office de passerelle redondante avec le centre de téléconduite du réseau. Le poste peut ainsi être piloté à distance, même si ses deux calculateurs tombent en panne.

KHR a beaucoup gagné à baser la nouvelle installation secondaire du poste sur la norme CEI 61850. Celle-ci définit un fichier « SCD<sup>3</sup> » qui décrit toute la configuration du poste, depuis la topologie du primaire jusqu'au cheminement complet des données du secondaire. La disponibilité de cette information permet d'envisager des extensions, remplacements ou mises à niveau du système d'automatisation de tout ou partie du poste, et sa réutilisabilité à long terme. Elle garantit par ailleurs la cohérence des données du système tout entier pour les développements en cours. La CEI 61850 spécifiant également la communication horizontale

et verticale sur le bus, le système peut être bâti sur des produits normalisés CEI 61850 multiconstructeurs.

Qui plus est, pour réduire le câblage cuivre entre tranches, KHR a décidé d'implanter une communication horizontale inter-tranche, sous protocole GOOSE : tous les échanges d'interverrouillages entre tranches utilisent la messagerie GOOSE entre IED couplés au bus CEI 61850.

#### Phases du projet

Tout projet débute par une phase de conception axée sur l'interfaçage en place et les ajouts fonctionnels au système. Il faut aussi savoir mettre en service de nouveaux composants sans compromettre l'exploitation commerciale du poste. À Sils, les ingénieurs d'ABB durent commencer par comprendre le détail des fonctionnalités existantes pour bien concevoir le nouveau système ; une

étape à l'avenir facilitée par les fichiers SCD.

Vient ensuite la phase de mise en œuvre et de production. La norme CEI 61850 définissant aussi les processus de développement, il est impératif d'utiliser un outil pleinement conforme à ce référentiel pour préserver la fluidité des échanges et la cohérence des données

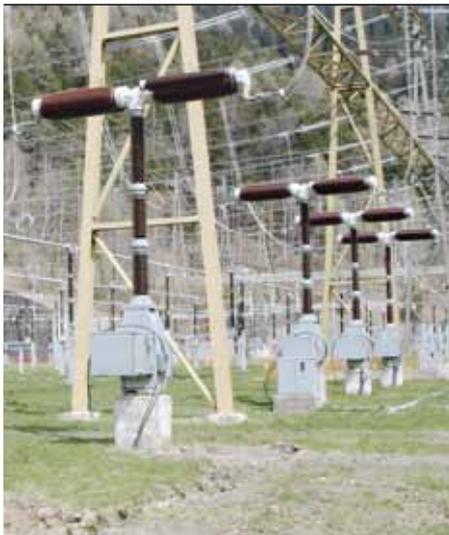
Dans le projet de Sils, la phase d'essais en usine a fait l'objet d'une attention particulière. Plusieurs simulateurs ont servi à tester les interactions avec l'équipement existant.

dans tout le poste, et correctement documenter les modifications dans le fichier SCD.

La phase d'essais en usine (dernière étape avant livraison du nouvel équipement sur site) a mobilisé toute l'attention

#### Note

3 Abréviation de *Substation Configuration Description*



des ingénieurs, permettant ainsi d'écourter l'étape suivante de mise en service par rapport aux essais sur site. Plusieurs simulateurs ont servi à tester les interactions avec l'existant. Les essais se sont déroulés en deux temps : tests individuels de chaque tranche et test du système global. Les IED de chaque type de tranche furent raccordés au niveau poste et les fonctionnalités de l'ensemble du système testées sur le site d'essais ABB. Pour vérifier l'interverrouillage des tranches, on simula les messages GOOSE émis par tous les équipements qui n'étaient pas physiquement présents sur le site.

La mise en service est sans doute la phase critique d'un projet de rénovation : pas question d'arrêter le poste ! Les temps d'indisponibilité de chaque départ doivent non seulement être réduits au strict minimum mais aussi planifiés et autorisés par l'exploitant du réseau (ici, Swissgrid), des mois à l'avance. À Sils, il a fallu exécuter la mise en service pas à pas, départ par départ, selon un calendrier précis.

La mise en service par tranche implique de livrer et d'installer sur site des systèmes complets englobant les composants du niveau poste, sauf les interfaces de l'appareillage isolé dans l'air → 4 ; cette exception permet de tester toute l'installation (y compris la communication CEI 61850) sans léser l'exploitation commerciale. Après quoi, il ne reste plus qu'à raccorder les nouveaux IED aux équipements primaires. Cette procédure accélère la mise en service et garantit des temps d'arrêt conformes au planning.

La démarche a un autre avantage : lorsque la totalité du système est reliée au bus CEI 61850, qu'il soit déjà raccordé ou non à l'appareillage isolé dans l'air, tous les messages GOOSE veillent d'ores et déjà à l'interverrouillage de tranche à tranche. Aucun changement de configuration ne doit être effectué au niveau du système ou des tranches en service.

Autre possibilité : simuler les IED au lieu de leur faire transmettre des messages GOOSE sur le bus.

Durant cette transition (qui peut durer des mois), les équipements de poste à remplacer doivent cohabiter avec les équipements déjà permutés. En planifiant cette phase, il faut être particulièrement attentif aux fonctions transversales

## Ce projet a démontré l'aptitude de la CEI 61850 à répondre aux besoins de la remise à neuf de poste.

comme la protection des jeux de barres. Pour Sils, le passage à la nouvelle protection s'est fait en fin de mise en service, l'ancien système continuant de fonctionner tout au long de la transition.

### Intégration du poste 220 kV au contrôle-commande

La modernisation du poste 380 kV s'étant parfaitement déroulée, il restait à intégrer la partie 220 kV au contrôle-commande du tout nouveau poste. Côté 220 kV, le niveau tranche restait d'actualité et n'avait pas besoin d'être remplacé. Les IED existants ont été dotés de nouvelles interfaces de transmission CEI 61850 qui permettent la communication avec le système MicroSCADA Pro et garantissent l'exploitation et la surveillance des appareillages 380 kV et 220 kV à partir du centre de conduite. La plate-forme MicroSCADA Pro s'est en outre enrichie d'un système de secours automatique : la totalité des fonctions de commande et de surveillance tourne

sur un premier ordinateur tandis qu'un second, exécutant la même application en parallèle, est prêt à prendre immédiatement le relais si son alter ego défaille.

### Franc succès

La modernisation de Sils fut un succès sans faute et le poste rénové est aujourd'hui opérationnel. La coopération étroite, constructive et experte des deux partenaires ABB et KHR a permis de mener à bien ce projet complexe en minimisant les dérangements.

Ce fut l'occasion de démontrer l'adéquation de la norme CEI 61850 à la rénovation de poste, permettant la coexistence sans heurt des IED de protection ABB et tiers, et la satisfaction des exigences client. Le recours à la messagerie GOOSE pour l'interverrouillage des tranches a grandement réduit la connectique cuivrée. L'intégralité du poste est à présent documentée dans un fichier normalisé SCD, au profit des futurs projets de maintenance et d'extension. La partie 220 kV du projet a été intégrée à l'aide de la passerelle SPA/CEI 61850 d'ABB afin de garantir la surveillance et l'exploitation du poste 380/220 kV complet à partir du nouveau système de conduite centralisé MicroSCADA Pro.

Grâce à ce partenariat exemplaire entre ABB et KHR et à l'exécution sans faille du projet, le secondaire du poste 380 kV de Sils est aujourd'hui reparti pour 10 à 15 ans de bons et loyaux services, à la pointe de la technologie.

### Marcel Lenzin

ABB Power Systems

Baden (Suisse)

marcel.lenzin@ch.abb.com



# Protection à grande vitesse

Les parafoudres ABB,  
en tête de train

STEPHAN HOFFARTH – Le marché mondial du rail à grande vitesse est en rapide expansion. Selon l'Union Internationale des Chemins de fer, le réseau devrait passer de 13 000 km aujourd'hui à bien plus de 30 000 km d'ici à 10 ans<sup>1</sup>, occasionnant une croissance similaire de la demande en trains et en composants ferroviaires. Or, qui dit grande vitesse implique que les dispositifs montés à l'extérieur du matériel roulant soient conçus pour résister à des écoulements d'air plus rapides. C'est notamment le cas des parafoudres, généralement montés en toiture, juste à côté du pantographe, qui protègent des surtensions tous les composants électriques à l'aval. Si le parafoudre fonctionne parfaitement dans la grande vitesse ferroviaire, il doit néanmoins satisfaire à des exigences toujours plus grandes, qui lui valent une attention particulière.

monté en toiture, près du pantographe ;

- 2) Un parafoudre standard affichant une tension de service continue légèrement supérieure, logé dans la locomotive, devant le disjoncteur principal.

Afin de satisfaire aux exigences de sûreté de fonctionnement (fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité), ces parafoudres doivent être conformes à la norme internationale CEI 60099-4 « Parafoudres à oxyde métallique sans éclateurs pour réseaux à courant alternatif ».

De plus, les deux types de parafoudres doivent résister aux sollicitations mécaniques du train en marche, comme l'exige la CEI 61373 « Applications ferroviaires – Matériel roulant – Essais de chocs et vibrations ».

Le parafoudre monté sur toit doit par ailleurs résister aux conditions d'exploitation ambiantes, tant météorologiques que mécaniques (écoulement de l'air).

La CEI 60099-4 précise les exigences pour les applications traditionnelles (protection des transformateurs de distribution, par exemple) mais ne traite pas des conditions anormales de service, comme des vitesses de vent supérieures à 34 m/s (122 km/h).

Malgré ces lacunes de la normalisation et l'absence de procédure de qualification adéquate, les parafoudres qui équipent les trains à grande vitesse donnent satisfaction depuis des années. Pour autant, les exploitants ferroviaires et les clients potentiels s'inquiètent de plus en plus de l'impact que peut avoir le vent de face sur le matériel roulant. ABB a donc décidé de tester les caractéristiques aérodynamiques de ses parafoudres montés en toiture.

### Résistance à l'écoulement de l'air

Réalisés en soufflerie, au Centre allemand pour l'aérodynamique et l'aérospatiale (DLR)<sup>3</sup>, les essais ont exposé des

parafoudres à courant alternatif de types POLIM-H..N et POLIM-S..N ainsi qu'un parafoudre à courant continu de type POLIM-H..ND à des vents atteignant 100 m/s (360 km/h) → 1.

Une séquence d'essai se déroule en cinq étapes. Elle commence par une faible vitesse de vent de 20 m/s pour augmenter ensuite, par échelons de 20 m/s, jusqu'à 100 m/s, ce qui correspond à une large plage de fonctionnement du matériel roulant, des trains de fret aux trains à grande vitesse. Pour garantir le réalisme des conditions d'essai, tous les parafoudres sont équipés d'accessoires typiquement utilisés dans le ferroviaire et montés sur une cellule de mesure dotée

---

Le choc de foudre étant le premier danger auquel sont exposés les parafoudres, une protection adéquate permet de ramener la surtension qui en résulte à un niveau acceptable.

Les surtensions qui surviennent sur les réseaux ferroviaires, suite à un choc de foudre ou de manœuvre, sont inévitables. Certes, ces phénomènes présentent un réel danger pour le matériel électrique mais il est impossible, pour des raisons d'économie, de concevoir un isolant capable de résister à tous les cas de figure. Assurer un service fiable et peu coûteux passe donc par une protection globale du matériel électrique contre les surtensions inacceptables.

Les chocs de foudre constituent la plus grande menace. Une protection efficace, à l'aide d'un parafoudre à oxyde métallique sans éclateur, par exemple, permet de ramener la surtension résultante à un niveau acceptable.

En général, les parafoudres pour applications ferroviaires sont choisis en fonction des conditions d'exploitation et du type de matériel électrique à protéger. Sur les trains modernes, c'est une traversée ou un câble qui achemine à l'intérieur de la locomotive la haute tension fournie par le pantographe. Pour obtenir une protection maximale contre les surtensions, ABB conseille de jumeler deux types de parafoudres<sup>2</sup> :

- 1) Un parafoudre haut de gamme, de classe de décharge de ligne 3 ou 4,

d'un extensomètre pour calculer les efforts de flexion, à différentes vitesses de vent. Une caméra à grande vitesse enregistre le comportement des parafoudres pendant l'essai.

### Résultats

Aucun des dispositifs soumis aux essais n'a été endommagé ni déformé par l'exposition au vent. Les forces mesurées sont restées bien inférieures aux

---

### Notes

- 1 UIC, *High speed rail: Fast track to sustainable mobility*, novembre 2010, ISBN 978-2-7461-1887-4
- 2 ABB Switzerland Ltd, High Voltage Products, *Application guidelines for overvoltage protection: Dimensioning, testing and application of metal-oxide surge arresters in railway facilities*, PTHA/SA3020EN\_01.09.07
- 3 *Deutsches Zentrum fuer Luft- und Raumfahrt*, [www.dlr.de](http://www.dlr.de)

---

### Photo p. 71

Le matériel monté sur toit est exposé à des forces aérodynamiques considérables, comme ici sur les trains AVE de la RENFE espagnole, qui peuvent rouler à 350 km/h.

1 Montage d'essai en soufflerie d'un parafoudre POLIM-H33N, au Centre allemand pour l'aérodynamique et l'aérospatiale (DLR)



2 Enveloppe en silicone d'un parafoudre POLIM-H33 soumis à des vitesses de vent de 100 m/s (360 km/h).



moments de flexion maximum spécifiés en continu des parafoudres correspondants. Les ailettes des enveloppes en caoutchouc de silicone n'ont pas oscillé à la vitesse maximale de 100 m/s, écartant tout risque de réduction importante des lignes de fuite, consécutive à la déformation de l'enveloppe du parafoudre → 2.

#### Parés pour la grande vitesse

Ces essais démontrent sans ambiguïté que les parafoudres ABB de type POLIM-H..N, POLIM-H..ND et POLIM-S..N conviennent parfaitement à la grande

constructeurs de trains ont exposé des produits dont ils avaient amélioré l'aérodynamisme, par exemple en masquant les équipements montés sur le toit. Si ces modifications ont pour objectif premier de diminuer la consommation énergétique du véhicule, elles réduisent également la charge du vent sur les parafoudres, qui offrent ainsi moins de résistance à l'écoulement de l'air.

ABB réévalue en permanence sa gamme de parafoudres ferroviaires à l'aune de ces critères afin de coller aux besoins de la filière.

Les parafoudres ferroviaires d'ABB sont conformes aux spécifications de la norme IRIS<sup>5</sup>, révision 02.

Pour en savoir plus sur ABB et le transport ferroviaire, lire « Les voies de l'écomobilité », *Revue ABB*, 2/2010 ou consulter le site [www.abb.com/railway](http://www.abb.com/railway).

## Les parafoudres doivent résister aux sollicitations mécaniques du train en marche et à des vents de face très violents.

vitesse ferroviaire, non seulement pour protéger les installations fixes des surtensions, mais aussi pour équiper tous les types de matériel roulant à une vitesse maxi de 360 km/h.

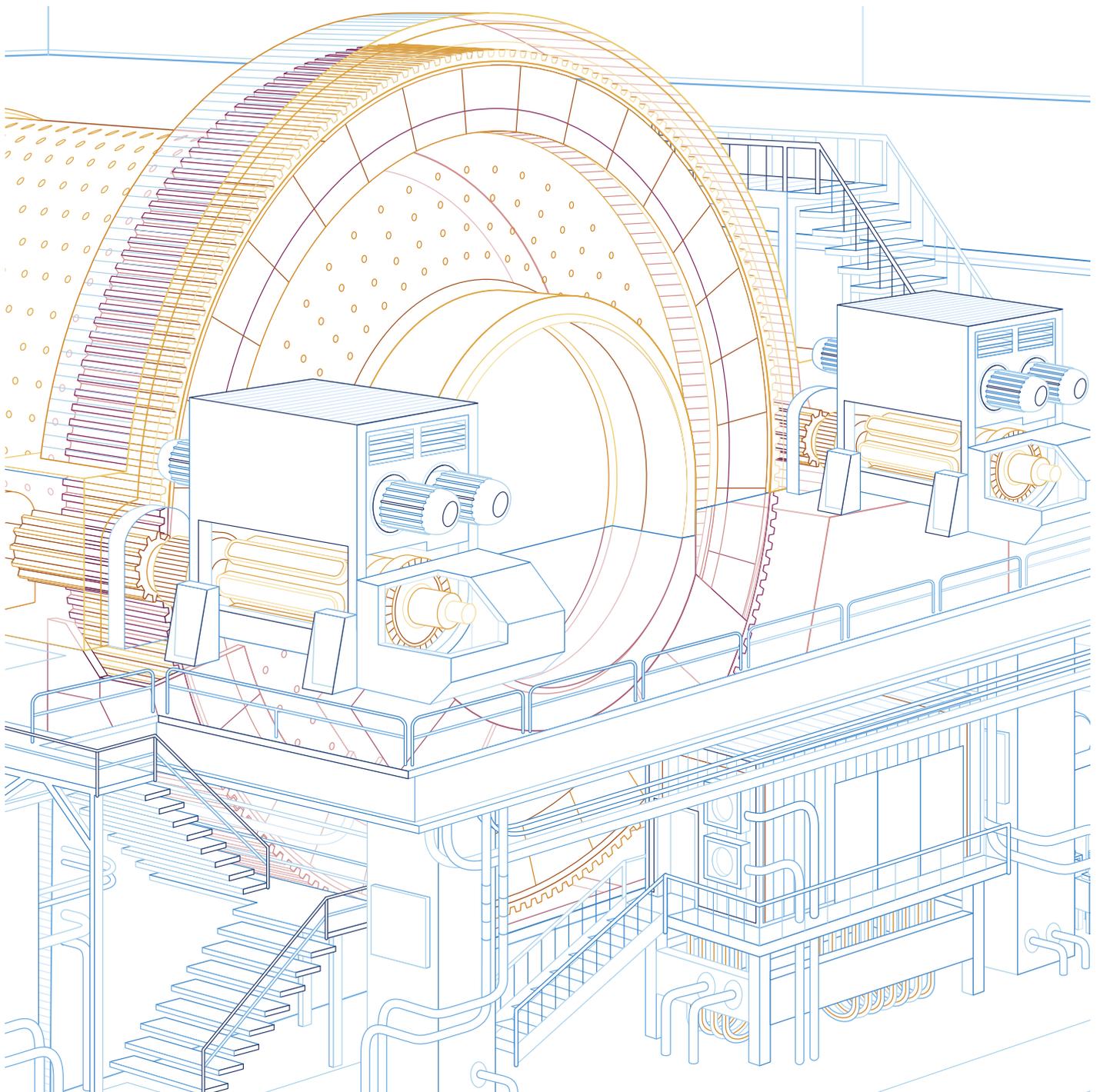
L'efficacité énergétique est également appelée à jouer un rôle de premier plan dans le domaine du rail à haute vitesse. Lors du salon InnoTrans 2010<sup>4</sup>, plusieurs

#### Stephan Hoffarth

ABB Switzerland Ltd, High Voltage Products  
Wettingen (Suisse)  
[stephan.hoffarth@ch.abb.com](mailto:stephan.hoffarth@ch.abb.com)

#### Notes

- 4 Salon international du transport ferroviaire, [www.innotrans.com](http://www.innotrans.com)
- 5 *International Railway Industry Standard*, [www.iris-rail.org](http://www.iris-rail.org)



# Stabilité opérationnelle

Les variateurs ABB dopent les performances des broyeurs (2<sup>e</sup> partie)

MARCO RUFLI, MAARTEN VAN DE VIJFEIJKEN – La nouvelle génération de variateurs de fréquence moyenne tension (MT) d'ABB intègre des fonctions avancées de commande et de maintenance développées spécifiquement pour stabiliser, fiabiliser et sécuriser le fonctionnement des broyeurs à couronne dentée utilisés dans l'industrie des minerais. La première partie de cet article, publiée dans le précédent numéro de la *Revue ABB*, décrivait en détail ces fonctions et leurs avantages. Dans cette deuxième partie, nous démontrons la précision exceptionnelle de l'entraînement d'un broyeur à 2 pignons de 5 MW d'une exploitation minière.



**D**ans les broyeurs à couronne, surtout ceux à 2 pignons, les moteurs peuvent considérablement amplifier les efforts mécaniques. Par conséquent, la commande des deux moteurs doit être rapide et précise afin d'éviter tout effort supplémentaire sur le système couronne/pignons.

Grâce à un contrôleur supplémentaire, la nouvelle génération de variateurs de fréquence MT d'ABB propose plusieurs nouvelles fonctions applicatives qui, en plus de sécuriser et stabiliser l'exploitation des broyeurs, simplifient l'interface entre le système d'entraînement et le système de contrôle-commande distribué du client. En exploitation, ces fonctions contribuent à améliorer tous les régimes de marche : démarrage, fonctionnement normal et arrêt. Parallèlement, des fonctions dédiées de maintenance et de protection (avance lente, positionnement automatique, protection contre la déformation et élimination des charges solidifiées) accélèrent, facilitent et sécurisent les interventions sur le broyeur.

Dans la première partie de cet article [1], nous avons étudié les performances pendant les séquences de démarrage, d'exploitation et d'arrêt d'un système d'entraînement se composant d'un

transformateur, d'un variateur de fréquence MT ACS 6000 en configuration multimoteurs et d'un moteur asynchrone à cage tétrapolaire AMI630 d'ABB. Cette deuxième partie présente les mesures réalisées sur un broyeur à 2 pignons de 5 MW → 1 en exploitation dans une mine suédoise (cf. p. 56).

Les moteurs sont ici accouplés mécaniquement par l'intermédiaire de la couronne et assurent ensemble la rotation du broyeur. Cette configuration exige une répartition très précise de la charge entre les moteurs à tous les régimes de marche.

#### Moteurs en mode maître/esclave

Dans un broyeur à 2 pignons, les moteurs se répartissent la charge afin de minimiser les contraintes et d'éviter les jeux mécaniques. Sur les gros broyeurs où la longueur des dents augmente graduellement, les pignons et la couronne (et l'éventuel réducteur) doivent être parfaitement alignés. Or on sait d'expérience qu'un tel alignement est difficile à obtenir et à plus forte raison à conserver. S'il faut impérativement éviter les démarrages brusques, les à-coups de couple et les oscillations de charge entre les deux moteurs, les organes mécaniques doivent être protégés à tous les régimes de marche par une répartition de charge stable, rapide et précise. La

technologie de commande exclusive DTC (*Direct Torque Control*) des variateurs ABB autorise une répartition de charge haute performance qui peut être mise en œuvre de différentes manières. Pour l'application en question, l'algorithme le mieux adapté a été sélectionné

**Dans un broyeur à 2 pignons, les moteurs accouplés mécaniquement se répartissent la charge.**

et les cartes de commande des deux variateurs communiquent sur une liaison optique rapide.

Dans notre exemple de broyeur à galets à couronne dentée, un des onduleurs du variateur ACS 6000, configuré en « maître », reçoit la consigne de vitesse du système de contrôle-commande distribué par l'intermédiaire du contrôleur du broyeur. L'autre onduleur, qualifié « d'esclave », suit les consignes de vitesse et de couple du maître. La précision de commande de cette configuration maître/

#### Photo

La mine de cuivre d'Aitik à Gällivare (Suède) a investi 790 millions de dollars pour prolonger son exploitation jusqu'en 2030. ABB a pris part au projet de modernisation en fournissant de nombreux produits et systèmes pour l'alimentation en énergie et l'exploitation du site.

esclave pendant le démarrage, le fonctionnement normal et l'arrêt du broyeur est décrite dans la suite de cet article.

### Séquence de démarrage/arrêt

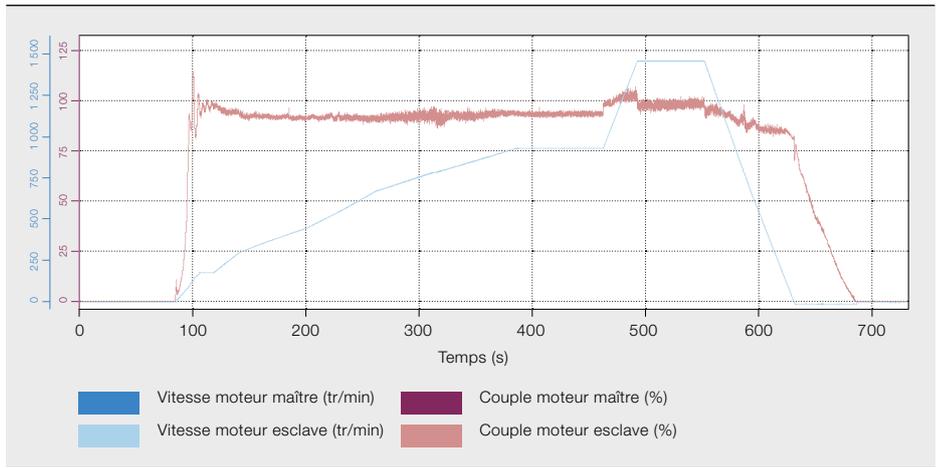
Une séquence de démarrage et d'arrêt complète d'un système d'entraînement maître/esclave est illustrée en → 2. Les mesures montrent les différents signaux de vitesse et de couple des deux moteurs asynchrones. Les courbes sont quasiment identiques à celles de la figure → 3 pour un seul moteur [1]. Les figures → 3 et → 4 montrent respectivement une vue détaillée des séquences de démarrage et d'arrêt (avec oscillation contrôlée). À nouveau, les courbes des signaux de vitesse et de couple des deux moteurs sont pratiquement identiques à celles des figures → 4 à → 6 de l'article précédent, prouvant que le couple du moteur esclave suit avec précision et régularité celui du moteur maître. En fait, l'écart de couple entre les deux moteurs est nettement inférieur à 1 % du couple nominal

La technologie DTC d'ABB permet une répartition de charge rapide et précise qui minimise les contraintes et évite les jeux mécaniques.

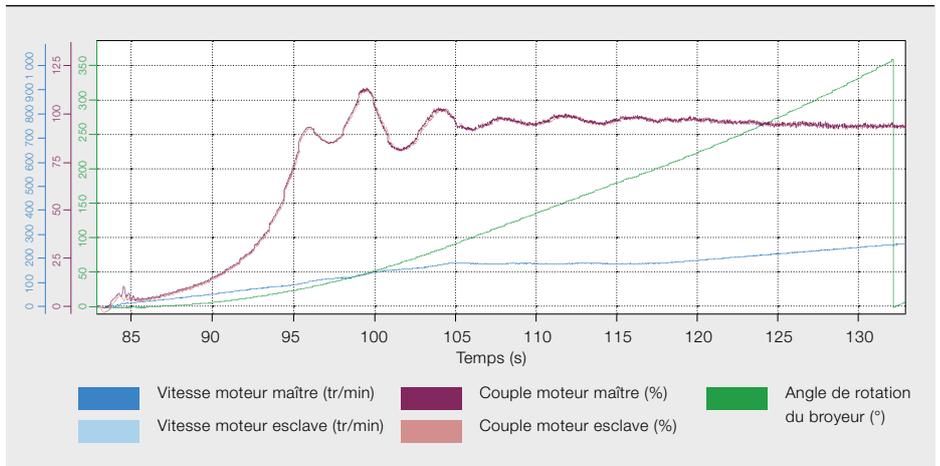
nal → 5 ! Les plus gros écarts, indiqués par les pics et qui restent très en deçà de 3 % du couple nominal, surviennent au début d'une séquence et au moment où la fonction d'oscillation contrôlée démarre (à 630 secondes environ) ; ils durent en réalité bien moins qu'une seconde.

Pendant l'arrêt avec oscillation contrôlée, le broyeur décélère sur la rampe jusqu'à son immobilisation. Les deux moteurs produisent alors un couple positif suffisant pour immobiliser le broyeur avec la charge déséquilibrée. En réduisant légèrement le couple, le broyeur revient doucement en arrière jusqu'à équilibrer la charge. Le couple étant tou-

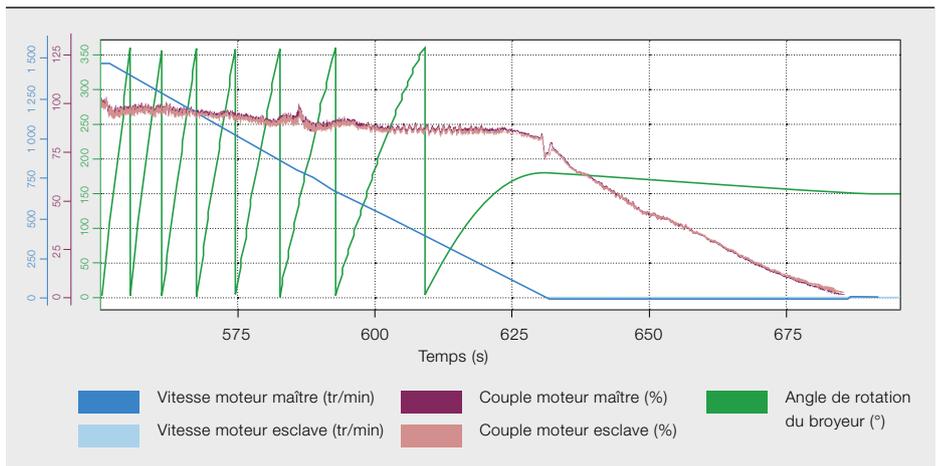
## 2 Séquence de démarrage et d'arrêt du système d'entraînement maître/esclave



## 3 Vue détaillée de la séquence de démarrage



## 4 Séquence d'arrêt complète du système d'entraînement maître/esclave



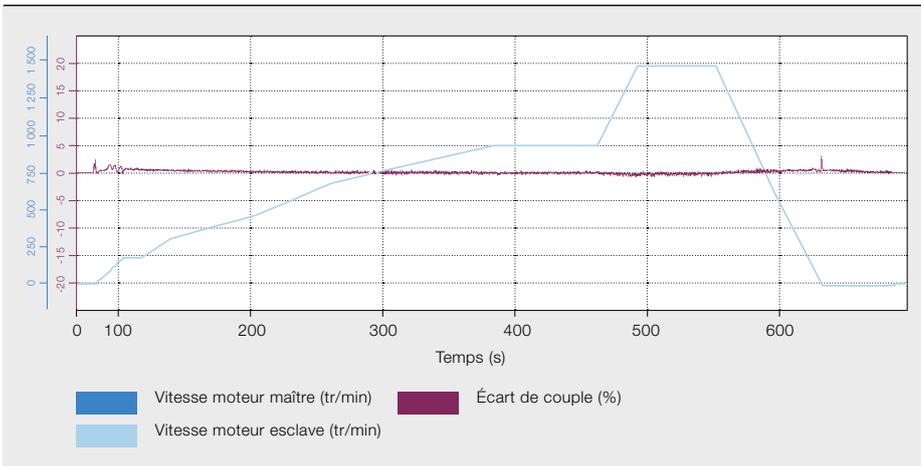
jours positif, même lors de l'inversion du sens de rotation du broyeur et pendant l'oscillation contrôlée, le contact entre les dents des deux pignons et de la couronne est toujours maintenu, garantissant l'absence de jeu.

Même pendant l'exécution de la fonction d'élimination des charges solidifiées, où des échelons de couple sont appliqués

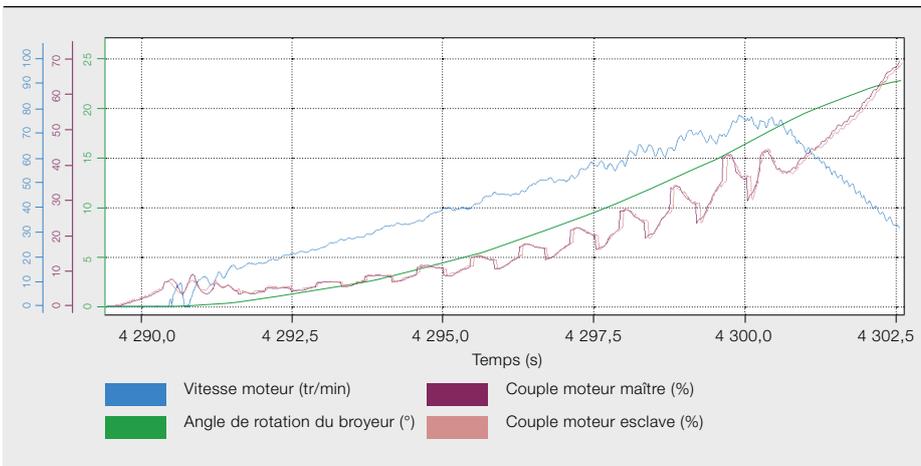
### Note

- 1 Fonction développée par ABB qui amène rapidement le broyeur dans une position à couple nul pour éviter l'oscillation avant-arrière inutile et prolongée du broyeur en cas d'arrêt en roue libre (la charge déséquilibrée entraînant la rotation du cylindre).

## 5 Écart de couple négligeable entre les moteurs maître et esclave



## 6 Élimination des charges solidifiées avec le système d'entraînement maître/esclave



pour détacher la charge des parois du broyeur, le couple de l'esclave suit parfaitement celui du maître, sans aucun signe apparent d'oscillation ou de jeu → 6. La présence d'un jeu serait révélée par une chute de couple à une valeur nulle, voire négative ; or le couple et la vitesse étant toujours positifs, aucun jeu ne survient.

Ce type de système d'entraînement avec un pont redresseur à diodes ne peut renvoyer l'énergie de freinage sur le réseau. Par conséquent, l'énergie régénérative est limitée par les pertes dans le système d'entraînement et la vitesse négative disponible pour la rotation en sens inverse du broyeur est relativement faible. Pour pouvoir renvoyer l'énergie de freinage sur le réseau et donc réduire de manière significative le temps nécessaire pour contrôler l'oscillation d'un broyeur, ABB propose un variateur quatre quadrants (4Q) ACS 6000 avec redresseur actif. Le système d'entraînement constituant alors le plus gros consommateur du site, il pourrait également servir à la correction du facteur de puissance.

### Qualités intrinsèques

Les mesures des deux articles démontrent clairement toute la souplesse de la technologie DTC d'ABB pour l'entraînement d'un broyeur. Celle-ci permet non seulement une répartition de charge rapide et précise qui minimise les contraintes et évite les jeux, mais protège également mieux les organes mécaniques et l'installation électrique. De plus, la vitesse de rotation du broyeur peut être régulée sans à-coups. Si les avantages de la commande en vitesse variable des broyeurs semi-autogènes<sup>2</sup> sont pleinement reconnus, ce n'est pas nécessairement le cas des broyeurs à boulets et à galets. Un grand nombre de gros broyeurs semi-autogènes et à boulets équipés d'entraînements sans réducteur sont installés et utilisés en Amérique du Sud. La souplesse que confère la variation de vitesse a un impact significatif sur le rendement global des ateliers de broyage et sur la disponibilité des broyeurs en permettant de minimiser à la fois les charges à recycler et le surbroyage.

### De la théorie à la pratique

Nul doute que les nouvelles fonctions développées spécifiquement par ABB pour les broyeurs contribuent énormément à l'efficacité de l'exploitation et de la maintenance des ateliers de broyage.

Les nouvelles fonctions développées spécifiquement par ABB pour les broyeurs contribuent grandement à l'efficacité de l'exploitation et de la maintenance des ateliers de broyage.

Les mesures présentées dans cet article prouvent que ces fonctions, partie intégrante du concept de système d'entraînement maître/esclave, ne sont pas seulement séduisantes en théorie [1] mais offrent également un niveau exceptionnel de précision sur un broyeur à 2 pignons existant. Le client bénéficie d'un outil de production beaucoup plus souple qui nécessite moins de maintenance, coûte moins cher à exploiter et dont la durée de vie est prolongée.

Marco Ruffli

Maarten van de Vijfeijken

ABB Switzerland Ltd

Baden-Dättwil (Suisse)

marco.ruffli@ch.abb.com

maarten.vijfeijken@ch.abb.com

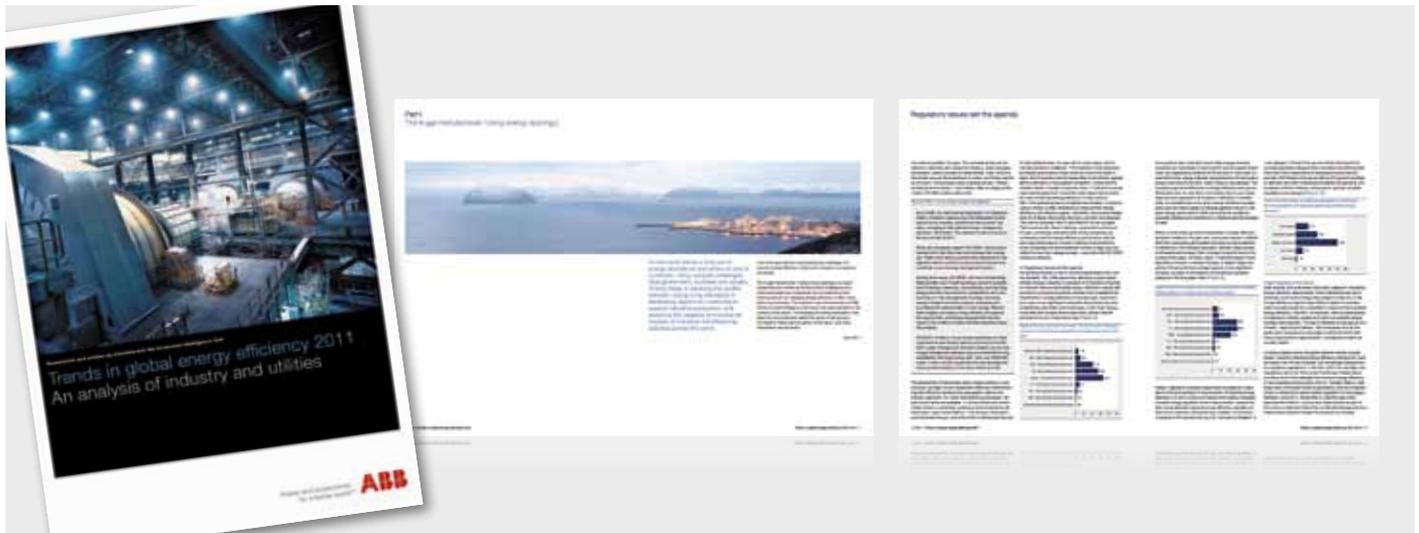
### Note

<sup>2</sup> Comparé à un broyeur à boulets, un broyeur semi-autogène contient moins de corps broyants. Il assure généralement le concassage du minerai avant son passage en broyeur à boulets.

### Bibliographie

[1] Ruffli, M., van de Vijfeijken, M., « Force rotatrice : Les variateurs ABB dopent les performances des broyeurs (1<sup>re</sup> partie) », *Revue ABB*, 1/2011, p. 29-35.

# Panorama ABB mondial de l'efficacité énergétique



Pour le commander, installez le lecteur de QR Code sur votre mobile et flashez ce code avec l'appareil photo.



Mieux connaître les solutions en lice est le premier pas vers un usage efficace de l'énergie. Cette étude ABB, corédigée par l'institut de recherche et de conseil *Economist Intelligence Unit* et *Enerdata* (en anglais), met en lumière les démarches et actions d'amélioration entreprises par les énergéticiens et industriels du monde entier.

Pour en obtenir une version papier, complétez le formulaire disponible à l'adresse [www.abb.com/energyefficiency](http://www.abb.com/energyefficiency) (rubrique *Trends in global energy efficiency 2011*) ou flashez le QR code ci-dessus. Vous pouvez aussi télécharger ou consulter le document en ligne, ainsi qu'une série de cartes interactives illustrant les chiffres mondiaux de l'efficacité énergétique.



## Rédaction

### Peter Terwiesch

Chief Technology Officer  
Group R&D and Technology

### Clarissa Haller

Head of Corporate Communications

### Ron Popper

Head of Corporate Responsibility

### Eero Jaaskela

Head of Group Account Management

### Friedrich Pinnekamp

Vice President, Corporate Strategy

### Andreas Moglestue

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

## Édition

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

ABB Technology Ltd.

ABB Review/REV

Affolternstrasse 44

CH-8050 Zürich

Suisse

La Revue ABB paraît quatre fois par an en anglais, français, allemand, espagnol, chinois et russe. Elle 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 de la revue.

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 ©2011

ABB Asea Brown Boveri 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 à titre d'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](http://www.abb.com/abbreview)



Dans le numéro 3|11

# Questions de technologie

Nous vivons dans une société où la technologie est omniprésente au quotidien. Il n'est donc pas surprenant que la *Revue ABB* consacre son 3<sup>e</sup> numéro de l'année aux nombreux volets du portefeuille technologique du Groupe : parmi les sujets abordés, citons un système d'automatisation avancé, à l'échelle de toute l'entreprise, qui fournit au personnel d'exploitation et de maintenance des données à jour et facilement manipulables pour piloter l'usine avec des moyens inédits, privilégiant efficacité et parcimonie ; un petit convertisseur fixé à un panneau solaire en toiture pour réduire le bilan carbone de l'habitat et, pourquoi pas, revendre son électricité au fournisseur, inversant la traditionnelle relation producteur-consommateur . . .

Tant et plus : la *Revue ABB* sera intarissable sur la technologie !



Mener des projets dans le monde entier ?

Infailiblement.

Ne serait-ce pas formidable d'avoir la certitude que tous vos projets réussissent, en toutes circonstances, sous toutes les latitudes ?

ABB a les moyens, la technologie, le savoir-faire et l'expertise pour mener de bout en bout des projets pétrogaziers complexes, partout dans le monde.

Zéro souci, succès garanti : [www.abb.com/oilandgas](http://www.abb.com/oilandgas)