



Sur les voies de la performance

L'équipement électrique ABB
agrément les voyages en train
Harald Hepp, Fabiana Cavalcante, Peter Biller

La circulation des biens et des personnes est aujourd'hui indissociable d'une économie moderne. Or sans réseaux de transport fiables et compétitifs, point de société de consommation, ni de liberté dans le choix de son lieu de vie ou de travail. Qui plus est, ces réseaux doivent avoir un impact minimal sur l'environnement. Les systèmes ferroviaires à traction électrique sont les mieux à même de satisfaire à ces exigences : grande capacité, faible consommation énergétique, emprise au sol limitée et pollution quasi nulle, autant d'atouts qui expliquent la construction de nouvelles lignes ferroviaires un peu partout dans le monde. D'une part, elles répondent aux besoins de liaisons à grande vitesse entre des métropoles distantes de plusieurs centaines de kilomètres et offrent une alternative au transport aérien ; d'autre part, elles contribuent à décongestionner les centres urbains asphyxiés par un trafic automobile en hausse.

Pour gagner encore des parts de marché sur la voiture et l'avion, le train doit non seulement être fiable et sûr, mais également rapide et confortable. Cet article expose comment la technologie ABB répond aux attentes de notre société.

Dans le train, le métro ou le tramway, rares sont les voyageurs qui imaginent la contribution des équipements électriques à leur confort. D'emblée, on pense bien évidemment au génie climatique (chauffage, ventilation, climatisation), à l'éclairage et aux prises électriques pour brancher ordinateurs portables, lecteurs de DVD, etc.

Les complices discrets du confort à bord

Au fil des ans, la demande de puissance électrique à bord des trains et des transports urbains n'a cessé de croître et tout nouveau véhicule doit être doté de systèmes de génie climatique, de fermeture automatique des portes, d'information aux voyageurs, de vidéo-surveillance ou de toilettes chimiques en circuit fermé. L'ensemble de ces auxiliaires nécessite une puissance électrique de 400 à 800 W par siège.

Des matériels particuliers comme les voitures-restaurants ou les voitures-lits équipées de douches sont encore plus exigeants.

Convertisseurs auxiliaires BORDLINE® M d'ABB

ABB participe au bien-être des voyageurs, notamment grâce à ses convertisseurs auxiliaires qui adaptent le niveau de tension et de courant aux différents équipements embarqués. Mais si le confort procuré par ces équipements est très apprécié, pas

Déplacer

question d'en subir les inconvénients. Ainsi, ils ne doivent pas être bruyants, ni empiéter sur l'espace réservé aux passagers. Des progrès considérables ont été réalisés pour augmenter leur densité de puissance, réduire leur taille et le niveau sonore de leurs systèmes de refroidissement et composants de puissance. Ainsi, les convertisseurs auxiliaires ABB BORDLINE® M 1 peuvent facilement être installés sous le châssis, sur la toiture, voire dans l'armoire électrique d'autres systèmes embarqués.

Pour maintenir l'alimentation auxiliaire des véhicules ferroviaires, même en cas de perturbations sur la ligne élec-

trique, ABB a conçu des systèmes redondants de gestion du réseau de bord et des batteries. Ainsi, des convertisseurs polyvalents (multi-tension) s'adaptent automatiquement aux différentes tensions pour les trains effectuant des liaisons transfrontalières. Ces convertisseurs sont décrits en détail dans la suite de cet article.

D'autres convertisseurs auxiliaires ABB ajoutent également au confort des voyageurs: ils équipent les trains pendulaires, leur permettant de circuler sur des lignes sinueuses à plus grande vitesse qu'un matériel roulant traditionnel.

Toujours plus vite

Ces convertisseurs contribuent au plaisir du voyage en train en nous laissant utiliser un ordinateur portable, prendre une douche ou un repas chaud, ou encore nous étendre sur une couchette, ce qui est impossible au volant. Pour autant, l'un des atouts maîtres du train reste sa vitesse: si le voyageur grandes lignes veut arriver le plus vite possible à destination, le passager d'un train de banlieue apprécie des accélérations et des freinages rapides mais sans à-coups. Le système de traction joue un rôle clé dans la ré-

duction des temps de parcours et ABB fournit les principaux équipements de puissance des trains électriques ou bi-modes (diesel et électrique): moteurs, électronique de puissance, coupe-circuits haute tension **Encadré 1**, transformateurs et générateurs. Les transformateurs et convertisseurs compacts non seulement permettent aux trains d'aller toujours plus vite, mais renforcent également l'attrait du chemin de fer: plus d'espace et moins de bruit, ponctualité, liaisons directes et sécurité.

Transformateurs de traction ABB

Le transformateur, point de passage obligé de l'énergie électrique entre la caténaire et les moteurs, doit être d'une fiabilité à toute épreuve. Sa défaillance entraîne l'arrêt immédiat du train ou, pour le moins, un ralentissement si la rame est équipée d'un second transformateur indépendant. Il s'agit donc d'un maillon essentiel de la fiabilité et des performances du système de traction.

Accessibilité et espace

Dans un train, l'espace est précieux et les transformateurs de traction doivent se faire «tout petit». C'est notamment le cas pour les rames automotrices électriques à traction distribuée qui

1 Convertisseur auxiliaire compact BORDLINE® M30 à monter sur la toiture d'un véhicule ferroviaire léger. Il permet d'alimenter de nombreux équipements auxiliaires.



2 Panorama des trains équipés de transformateurs de traction ABB



dominant aujourd'hui le marché. ABB a mis au point deux solutions pour gagner de la place : l'une consiste à loger le transformateur sous le châssis (comme sur les trains à grande vitesse tels que l'AGV, dernière génération des TGV français, ou l'ETR 500 italien et le TALGO 350 espagnol) ; l'autre à le monter sur la toiture à l'image des véhicules NINA de Bombardier, des rames X60 d'Alstom ou du FLIRT¹⁾ de Stadler [2]. Dans les deux cas, le transformateur doit être extraplat et permettre de concevoir des véhicules à plancher bas continu, un progrès important pour l'accès des personnes à mobilité réduite mais aussi des voyageurs chargés (bagages volumineux, poussette ou vélo). Ce plancher bas permet ainsi de réduire le temps d'arrêt en gare et donc d'optimiser l'exploitation de la capacité des lignes.

Il faut aussi que le transformateur soit le plus léger possible, la masse par essieu ne devant généralement pas dépasser 22,5 t. Cette contrainte est encore plus forte (17 t) pour certains trains à grande vitesse ou circulant sur voie étroite. Corollaire d'un transformateur allégé : la moindre consommation d'énergie à l'accélération et au freinage. Le montage sous châssis des

transformateurs permet d'abaisser le centre de gravité du véhicule et d'améliorer le confort des passagers, particulièrement dans les trains à grande vitesse.

Partenaire invisible de la sécurité

Comme d'autres équipements embarqués, les transformateurs de traction et les convertisseurs sont soumis à des exigences de sécurité très strictes

Encadré 2, notamment en matière de protection incendie et de dégagement de fumées. Lors de la conception des transformateurs ABB immergés dans l'huile (utilisée comme diélectrique et pour le refroidissement), toutes les situations possibles sont prises en compte afin de minimiser les risques d'incendie. Si un tel incident devait malgré tout se produire, le choix des matériaux minimise les risques pour les voyageurs.

Les passagers peuvent être assis très près des transformateurs montés sous le châssis ou sur la toiture. Outre les aspects sécuritaires évoqués plus haut, la compatibilité électromagnétique (CEM) doit également être prise en compte. Les perturbations émises sont minimisées lors de la conception de la partie active, des connexions et de la cuve des transformateurs de traction.

En matière de protection contre le champ magnétique des transformateurs, ABB a acquis un réel savoir-faire également appliqué aux convertisseurs de traction.

Réduction du bruit

Minimiser les nuisances sonores contribue également au confort. Le ronflement des transformateurs est principalement dû à la déformation mécanique récurrente des tôles du noyau et des enroulements sous l'effet du champ magnétique fluctuant. Les vibrations induites par ces éléments lors du fonctionnement du transformateur sont transmises à la cuve et à sa surface, générant un bruit audible à l'extérieur.

ABB a mis au point plusieurs méthodes pour réduire le bruit de ses transformateurs de traction : insertion d'amortisseurs entre le transformateur et le véhicule, utilisation de tôles magnétiques en acier à grains orientés affichant une faible magnétostriction, différents modes d'empilement des tôles (couches multiples). De même, le système de refroidissement externe des transformateurs peut être source de bruit et doit également faire l'objet d'une attention particulière lors de sa conception.

Encadré 1 Disjoncteur à vide moyenne tension AC Trac

Le disjoncteur à vide moyenne tension (MT) AC Trac est un autre maillon de la chaîne de traction, essentiel pour la sécurité à bord. Ce nouveau disjoncteur MT est installé sur la toiture du véhicule et peut être utilisé à la fois en 25 kV/50 Hz et 15 kV/16,7 Hz. Sa fonction principale est de protéger le transformateur, les convertisseurs et tous les autres composants électriques des surintensités dangereuses, comme les courts-circuits fréquents sur les lignes ferroviaires.



Encadré 2 Convertisseur pour le freinage d'urgence des trains de la Zugspitze

Les chemins de fer de montagne doivent satisfaire à des exigences de sécurité strictes, notamment au freinage. En cas de coupure électrique, les systèmes de freinage mécanique doivent immobiliser le train. Or les freins mécaniques ne sont pas conçus pour fonctionner pendant toute la durée de la descente.

Les convertisseurs compacts ABB qui équipent les trains à crémaillère de la *Bayerische Zugspitzbahn* gèrent ce cas d'urgence avec une fonction spéciale de commande de freinage. En cas de coupure d'alimentation, le



bus continu est d'abord chargé par la batterie du véhicule. Les freins mécaniques sont ensuite desserrés et le convertisseur mis en marche, les moteurs passant en mode générateur pour freiner le véhicule. Une vitesse minimale est indispensable pour ce mode de fonctionnement et pour maintenir la tension du bus continu des convertisseurs. Ainsi, les freins mécaniques doivent à nouveau être serrés pour arrêter le train en gare d'arrivée. Les voyageurs ne sont pas conscients du freinage d'urgence car le train poursuit sa route de façon tout à fait normale.



Déplacer

Outre son leadership technologique, ABB est également un acteur de premier plan du marché des transformateurs de traction. Le Groupe est un fournisseur privilégié de la quasi-totalité des constructeurs de matériels ferroviaires à travers le monde, équipant différents types de matériel roulant, des locomotives classiques aux trains à grande vitesse et rames automotrices électriques. C'est ainsi qu'un transformateur ABB était installé sur la rame du tout nouvel AGV Alstom/SNCF qui a établi le record du monde de vitesse sur rail à 574 km/h en avril 2007 ³.

Convertisseurs compacts BORDLINE®-CC

Sur les réseaux ferroviaires alimentés en courant alternatif, les convertisseurs de traction sont un maillon essentiel entre le transformateur et les moteurs. En plus de leur fournir au moment opportun le niveau de tension requis pour accélérer, rouler à vitesse constante ou freiner, ils permettent au véhicule de réinjecter l'énergie de freinage sur le réseau. Pour les réseaux en courant continu (CC), les métros ou les tramways, d'autres types de convertisseur prélèvent du courant sur la caténaire ou récupèrent celui d'un générateur (propulsion diesel-électrique) pour alimenter et commander les moteurs.

ABB a développé une large gamme de convertisseurs compacts BORDLINE®-CC ⁴ qui intègrent un convertisseur de puissance et un convertisseur auxiliaire dans un même équipement²⁾. Dans un train régional, une armoire de la taille d'un placard contient ainsi le convertisseur de traction, le convertisseur auxiliaire, le chargeur de batterie, le filtre réseau et l'interrupteur général de la motrice. Cette conception très compacte et modulaire libère de l'espace pour les voyageurs et facilite la maintenance.

Pour les automotrices légères, ABB a conçu un convertisseur compact pouvant être monté sur la toiture comme sous le châssis ^{4b}. Polyvalent et parfaitement adapté à différents types de véhicules, il intègre deux onduleurs moteurs indépendants ainsi que tous les autres éléments d'un convertisseur BORDLINE®-CC ^{Encadré 3}.

Un voyage en douceur

Tous les convertisseurs compacts BORDLINE® intègrent la plate-forme de commande AC800PEC³⁾ développée par ABB pour réduire les coûts et pérenniser la technologie. Les simulations en MATLAB/Simulink sont directement converties en programmes de commande. Tout voyageur est à même de juger des qualités du convertis-

seur : accélérations brusques et freinage par à-coups sont les signes évidents d'une commande inefficace des moteurs par le convertisseur.

Des parcours transfrontaliers sans interruption

En Europe, la tension réseau change presque à chaque frontière, voire au sein même d'un pays. Ainsi, les réseaux finlandais, hongrois, grec, portugais et une partie des réseaux

⁴ Exemples de convertisseur compact BORDLINE®-CC pour trains régionaux ^a et automotrices légères ^b



^{Encadré 3} Caractéristiques techniques du convertisseur compact d'ABB pour automotrices légères ^{4a}

Tension d'entrée:	420 – 900 V CC
2 onduleurs moteurs indépendants de puissance utile unitaire suivante :	
traction :	166 kW
freinage :	345 kW
freinage d'urgence :	535 kW
Puissances auxiliaires	
avec isolation galvanique :	3x 230/400 V 50 Hz, 35 kVA
	3x 0 à 230/400 V, 0 à 50 Hz, 5 kVA
	24/36/72/110 V CC, 8 kW
Encombrement, masse	1600 x 1800 x 430 mm, 550 kg

³ Rame Alstom/SNCF avec transformateur ABB ayant établi le record mondial de vitesse sur rail à 574 km/h le 3 avril 2007.



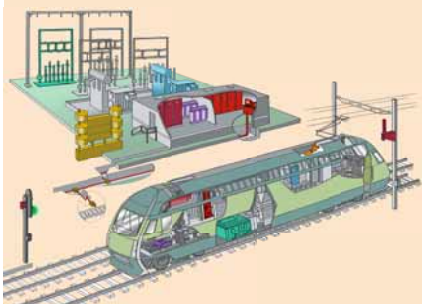
français et britannique sont électrifiés en 25 kV/50 Hz. Si c'est également le cas de nombreux autres pays comme la Chine et l'Inde⁴⁾, il n'en va pas de même en Allemagne, Suisse, Autriche, Suède et Norvège où les grands axes ferroviaires sont alimentés en 15 kV/16,7 Hz. Par ailleurs, le 3 kV

Encadré 4 ABB et la traction électrique ferroviaire

La renommée d'ABB dans le monde ferroviaire ne date pas d'hier. Même si, en 1996, ABB Transportation Systems était intégré à AdTranz (coentreprise créée avec Daimler-Benz puis cédée à Bombardier), la production d'équipements électriques (transformateurs de traction, convertisseurs et moteurs) a été conservée par ABB. Précurseur de l'actuel pôle d'activité Industrie, la branche Clients ferroviaires a été créée en 2005. La mise en œuvre d'une démarche spécifique et coordonnée avec le secteur ferroviaire, ainsi qu'une collaboration étroite entre les différentes branches d'activité d'ABB donnent des résultats éloquentes : en 2007, le carnet de commandes ABB sur ce marché était supérieur à 700 millions de dollars, soit plus du double de celui à la création de la branche d'activité. Fournisseur indépendant d'équipements pour la plupart des exploitants et constructeurs de matériel roulant du monde, ABB bénéficie aujourd'hui d'une position de premier plan sur le marché ferroviaire. Pour le matériel roulant, l'offre ABB inclut des transformateurs de traction, des convertisseurs, des moteurs, des disjoncteurs MT, des semi-conducteurs de puissance, des parafoudres et des composants BT.

Pour les installations fixes, l'offre englobe des sous-stations complètes, des produits HT et MT, des transformateurs, des solutions pour la qualité du courant électrique, des convertisseurs de fréquence et des systèmes de communication pour la signalisation.

Pour en savoir plus, connectez-vous sur www.abb.com/railway.



continu prédomine sur les réseaux polonais, belge, italien et espagnol, de même qu'en Amérique du Sud et en Afrique du Sud. Enfin, les lignes néerlandaises et du sud de la France sont alimentées en 1,5 kV CC.

Par conséquent, sur les grandes lignes européennes et les trajets régionaux transfrontaliers, les transformateurs et convertisseurs doivent être techniquement capables de gérer cette multiplicité des niveaux de tension. En effet, n'est-il pas agréable de rester tranquillement assis (ou couché dans un train de nuit) lorsque le train passe d'un réseau électrique à l'autre ? Qui plus est, le train multicourant fait fondre les temps de parcours.

ABB a développé des solutions polyvalentes et innovantes à la fois pour ses convertisseurs de traction et ses transformateurs⁵⁾, ces derniers étant aptes à gérer différentes tensions et fréquences. Ainsi, le convertisseur polyvalent ABB à redresseur actif convertit la tension continue en tension alternative pour l'enroulement primaire du transformateur polyvalent, ce qui permet d'utiliser un convertisseur compact CA BORDLINE®-CC indifféremment sur les réseaux alternatifs et continus.

Ce convertisseur équipe aujourd'hui les trains régionaux FLIRT de l'opérateur ferroviaire TILO⁶⁾ qui desservent le canton suisse du Tessin (15 kV alternatif) et la région italienne de Lombardie (3 kV continu) ⁵. Auparavant, TILO exploitait deux types de motrice, un pour chaque pays. Les trains devaient obligatoirement s'arrêter à la frontière italo-suisse pour changer de locomotive, une procédu-

⁵ Le train transfrontalier FLIRT du constructeur Stadler exploité par TILO embarque la technologie de traction ABB.



re assez fastidieuse. Désormais, grâce aux nouveaux trains FLIRT équipés des convertisseurs polyvalents BORDLINE® d'ABB, le passage de la frontière se fait naturellement. Un équipement identique a récemment été commandé par l'opérateur *Südtiroler Transportstrukturen* pour des liaisons entre l'Italie et l'Autriche.

Fiabilité, ponctualité et disponibilité

Pour conclure, soulignons que la fiabilité et la disponibilité des équipements électriques à bord des trains est un facteur primordial de confort. ABB jouit d'une longue expérience du transport ferroviaire ^{Encadré 4}. Le Groupe désire non seulement conforter son leadership technologique, mais également concevoir des équipements fiables et robustes, à la maintenance simplifiée et, enfin, accompagner sur la durée ses clients constructeurs et opérateurs ferroviaires.

Harald Hepp

Fabiana Cavalcante

ABB Automation Products
Turgi (Suisse)
harald.hepp@ch.abb.com
fabiana.cavalcante@ch.abb.com

Peter Biller

ABB Sécheron SA
Genève (Suisse)
peter.biller@ch.abb.com

Notes

¹⁾ *Flinker Leichter Innovativer Regionaler Triebzug* : train régional rapide et léger

²⁾ Cf. *Les convertisseurs sur les rails*, Revue ABB 3/2006, p. 52-55

³⁾ Cf. *Flots de conception*, Revue ABB 2/2006, p. 62-65

⁴⁾ La plupart des lignes à grande vitesse du monde utilise le 25 kV CA. Dans de nombreux pays, les trains doivent également pouvoir être alimentés en 1500 ou 3000 V CC.

⁵⁾ Cf. *Une plate-forme peut en cacher une autre*, Revue ABB 3/2006, p. 49-51

⁶⁾ *Treni Regionali Ticino Lombardia* : opérateur de trains régionaux entre l'Italie et la Suisse