

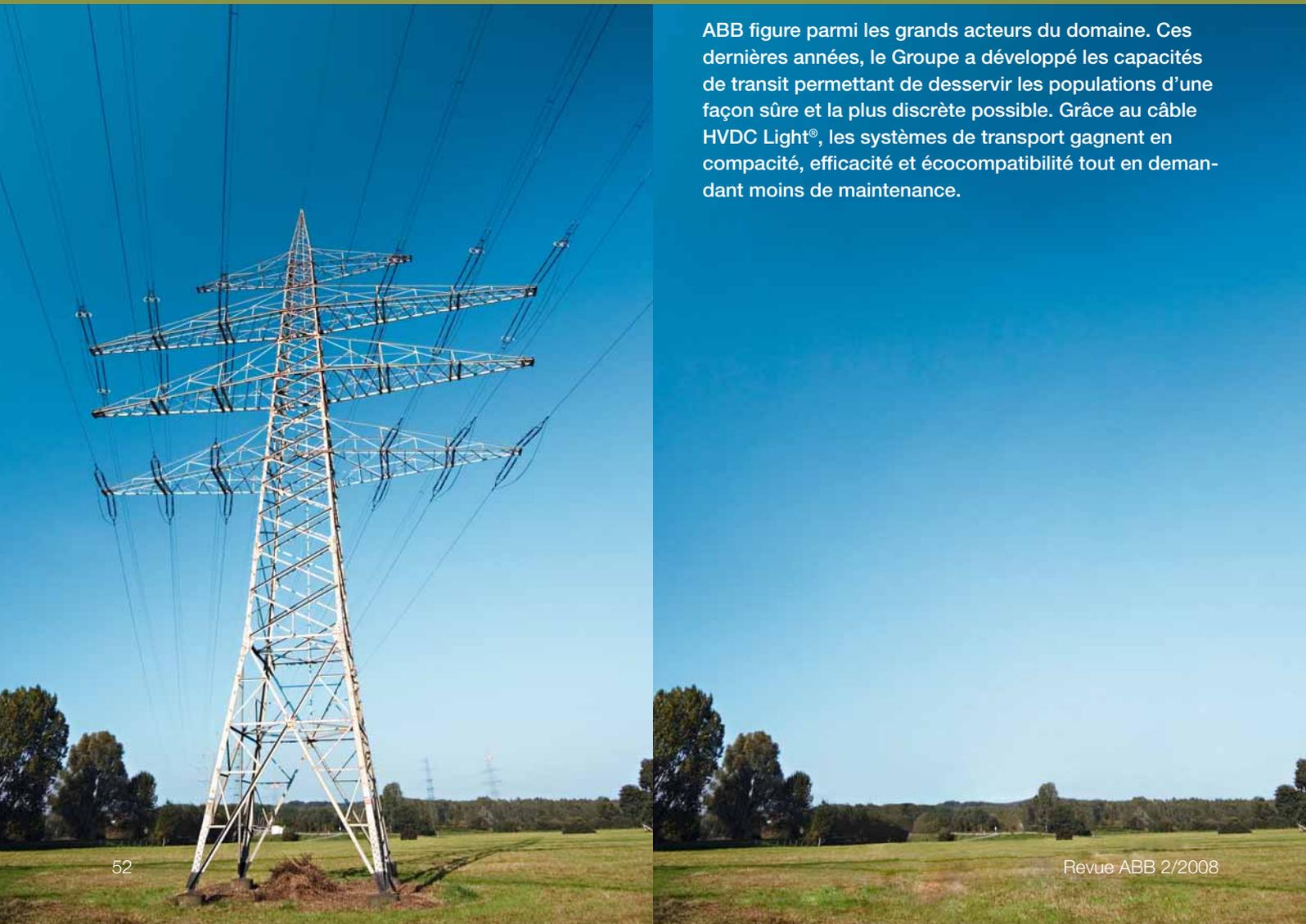
Des lignes légères, sûres et efficaces

Le futur du transport électrique passe par HVDC Light®

Anders Gustafsson, Marc Jeroense, Johan Karlstrand

La croissance démographique mondiale s'accompagne inévitablement d'une raréfaction des ressources planétaires et d'une expansion urbaine. Pour couvrir les besoins fondamentaux des populations, il faut développer les services de base (eau, électricité) et les outils de communication, dans le respect des nouvelles règles et normes environnementales. C'est pourquoi la filière énergétique s'efforce de sécuriser et de moderniser le transport électrique sur les couloirs de ligne existants, tout en minimisant l'impact sur le milieu naturel et sociétal.

ABB figure parmi les grands acteurs du domaine. Ces dernières années, le Groupe a développé les capacités de transit permettant de desservir les populations d'une façon sûre et la plus discrète possible. Grâce au câble HVDC Light®, les systèmes de transport gagnent en compacité, efficacité et écompatibilité tout en demandant moins de maintenance.



Nul n'ignore que les ressources de la planète s'amenuisent. Bâtir l'infrastructure propre à satisfaire aux besoins d'une démographie galopante devient un enjeu crucial. De gré ou de force, les énergéticiens, distributeurs d'eau et opérateurs télécoms doivent plus que jamais trouver les moyens de fournir des services accrus en tirant profit, dans bien des cas, de l'existant tout en jouant la carte de la compacité, de la performance et de l'écologie. Le secteur de l'énergie, par exemple, travaille depuis longtemps sur les moyens de renforcer le transit électrique sur les axes de transfert existants. Autre piste de progrès : l'accroissement des échanges transfrontaliers d'électricité entre pays membres de l'Union européenne, dans le cadre des conditions d'accès au réseau [1]. Cette activité étant à l'heure actuelle sous-développée par rapport à d'autres secteurs économiques, il convient de multiplier le nombre d'interconnexions, qu'elles soient terrestres ou sous-marines.

Le transport en continu présente une meilleure capacité de transfert, des pertes réduites et des longueurs pratiquement illimitées grâce à la suppression des courants capacitifs ; il est aussi plus écologique.

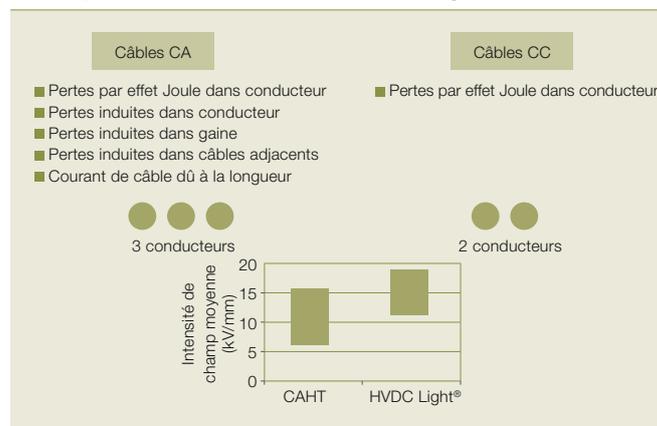
Quoiqu'il en soit, de nombreux prestataires de services confrontés aux exigences d'une population croissante et de la pression réglementaire se heurtent à trois inconnues :

- Comment augmenter l'énergie véhiculée par m² occupé ?
- Comment réduire l'impact environnemental en conservant ou en améliorant les technologies et/ou niveaux de fiabilité actuels ?
- Comment maîtriser les risques encourus ?

Transport électrique traditionnel

De nos jours, l'énergie électrique est

1 Comparaison des solutions CAHT et HVDC Light®



pour l'essentiel acheminée en courant alternatif (CA) qui permet facilement de passer d'un niveau de tension à l'autre. Dans les campagnes, les lignes aériennes assurent normalement le transport longue distance tandis que les agglomérations leur préfèrent les câbles enterrés. Les liaisons CA sous-marines franchissant mers et lacs sont réservées à des distances limitées.

Le transport en alternatif a pourtant ses contraintes techniques, comme l'impossibilité de réguler les flux de puissance et la production/consommation de réactif, ce dernier phénomène étant atténué par des dispositifs de compensation, dont les FACTS (*Flexible AC Transmission Systems*). Comparés aux lignes aériennes, les câbles CA enterrés présentent des courants capacitifs plus élevés, qui limitent leur puissance de transit sur de longues distances. A cet effet s'ajoute la problématique environnementale des champs électromagnétiques au voisinage des lignes et câbles CA.

2 Câbles terrestres HVDC Light® extrudés



Ces obstacles peuvent être levés avec le transport en courant continu (CC). Le continu l'emporte sur l'alternatif par une capacité de transfert accrue, des pertes réduites et des longueurs de transport pratiquement illimitées grâce à la suppression des courants capacitifs. Sans oublier ses vertus écologiques ! Seul ombre au tableau : le courant produit par la centrale puis distribué aux consommateurs restant alternatif, le courant continu haute tension (CCHT) doit

obligatoirement subir une double conversion (CA/CC et CC/CA) en bout de ligne. C'est là qu'interviennent les convertisseurs à source de courant et les convertisseurs à source de tension.

Le principal avantage des câbles HVDC Light® sur leurs homologues alternatifs tient à leur légèreté et leur faible encombrement qui se traduisent par une plus forte puissance volumique.

CCHT et HVDC Light®

Si le CCHT classique fut inauguré en Suède par ASEA, en 1954, la technique HVDC Light® d'ABB est relativement récente puisqu'elle date des années 1990. Basée sur des câbles enfouis, elle se distingue par sa « discrétion absolue ». Le principal avantage des câbles HVDC Light® sur leurs homologues alternatifs tient à leur légèreté et leur faible encombrement qui se traduisent par une plus forte puissance volumique 1 : autrement dit, l'énergie transportable par kg de câble HVDC Light® est supérieure à celle d'un câble en alternatif. Plusieurs raisons à cela :

- Les câbles HVDC Light® fonctionnent à un plus fort gradient de potentiel électrique : leur isolant est donc plus fin que celui des câbles CA.
- Les conducteurs des câbles CA se heurtent à plusieurs contraintes de dimensionnement : pertes par effet

Simplifier

de peau, pertes par effet de proximité, pertes induites dans les écrans et gaines, pertes induites dans le blindage pour les câbles sous-marins. A l'inverse, le dimensionnement des câbles HVDC Light® ne doit tenir compte que des pertes ohmiques des conducteurs.

- Un système de transport CA nécessite trois conducteurs quand le CCHT s'en contente de deux!

Des câbles HVDC Light® polymères ² sont aujourd'hui opérationnels pour des niveaux de tension compris entre 80 kV et 150 kV. Ces installations couvrent des puissances de 50 MW [2] à 350 MW [3].

Une hausse de la demande en transport et câbles CCHT est prévisible. L'«enterrabilité» du transport longue distance joue nettement en faveur du système HVDC Light® d'ABB. Dans ce contexte, les liaisons sous-marines, notamment indispensables à l'interconnexion des réseaux asynchrones¹⁾, servent de tremplin technico-économique à l'essor du CCHT. Toutefois, l'avènement des câbles CCHT en polymère extrudé et des convertisseurs à source de tension ouvre de nouveaux débouchés à la solution HVDC Light®. Exemples: les sites reculés, alimentés par un réseau fragile tout comme les parcs éoliens en mer [4] et les plates-formes pétro-gazières [5], peuvent désormais être facilement raccordés. La mise en souterrain des câbles est un autre puissant moteur économique du CCHT, que renforcent les exigences des nouvelles normes européennes sur l'exposition des riverains aux champs électromagnétiques: pour preuve, les autorisations de pose de lignes aériennes sont plus difficiles

et longues à obtenir (surtout en Europe) et le public fait de plus en plus valoir son opinion en matière d'insertion paysagère, écologique ou sanitaire.

Par dessus tout, HVDC Light® est un système robuste, moins lourd à entretenir et moins cher.

Augmenter l'énergie par unité de surface occupée

L'**encadré** met en regard les trois solutions en lice: câbles CAHT isolés au polyéthylène réticulé (PR), câbles HVDC Light® et lignes aériennes. Sont ainsi comparées les puissances délivrées en fonction des tensions assignées (220 kV à 400 kV) et de la largeur du couloir de passage ou de la bande de terrain occupée.

On constate que HVDC Light® est 25 à 30 fois moins encombrant que la liaison aérienne. Si l'on compare également la puissance par kg des deux solutions, le câble CCHT l'emporte en étant près de 15 à 25 fois plus performant.

HVDC Light® est environ 25 à 30 fois moins encombrant que la liaison aérienne.

Fiabilité

Le HVDC Light® commercial a vu le jour en Suède, en 1999, avec le raccordement d'un parc éolien (à l'extrémité sud de l'île de Gotland) à la ville de Visby (également sur Gotland) par une liaison de 50 MW sous 80 kV. Cette première a été suivie de nombreuses autres réalisations, dont la liaison Estlink de 350 MW/150 kV [3].

En moins de dix ans, près de 1500 km de câbles HVDC Light® ont été installés; 400 km supplémentaires sont en construction, confirmant la maturité et la fiabilité de cette technologie. Qui plus est, environ 500 jonctions sont à présent en exploitation. Ce palmarès est comparable aux quelque 1700 km et plus de câbles isolés au papier imprégné qu'a installés ABB depuis 1953.

Installation

La relative légèreté du HVDC Light®, ses dimensions réduites (diminuant d'autant le nombre de jonctions) et sa robustesse ont une incidence positive sur les coûts d'installation qui plombent l'investissement total. Si l'on tient compte, en outre, des nouvelles techniques de terrassement et d'aménagement du terrain, les écarts de coût entre aérien et CCHT au polymère, selon la longueur et les conditions du circuit, sont comparativement faibles.

Les travaux de génie civil sont aujourd'hui facilités par des engins de pose mécanisée, équipés de charrues spéciales, et des remblayeuses automatisées. Les infrastructures existantes ont souvent permis de définir la nature des sols favorable à l'enfouissement et d'éviter ainsi blocs rocheux et éboulis. Sur un chantier australien, les câbles HVDC Light® ³ ont été posés au rythme de 1 à 3 km/jour [6, 7]: une vitesse que la technologie HVDC Light® et des câbles CA «allégés» au polyéthylène réticulé sont les seuls à autoriser.

Précisons que les liaisons HVDC Light® peuvent être aussi bien terrestres que sous-marines. Leur légèreté et leur faible encombrement jouent sur le kilométrage de câble pouvant être bobiné sur un seul touret ou transportable sur un navire câblier.

Encadré Comparaison des performances des trois solutions de transport

| | Câble CAHT PR | Câble HVDC Light™ | Ligne aérienne |
|--------------------------|---------------|--------------------------|----------------|
| 220 kV | 200–500 MVA | 100–300 MVA (150 kV) | 300–800 MVA |
| 400 kV | 400–1000 MVA | 300–1000 MVA (320 kV) | 500–2000 MVA |
| Emprise au sol | 1–2 m | 0,5–1 m | 40–60 m |
| MVA/m sous 220–420 kV | 200–500 MVA/m | 200–1000 MVA/m | 7,5–33 MVA/m |

Notes

¹⁾ Ces types de liaison ont traditionnellement utilisé des câbles huile-papier.

²⁾ La solution HVDC Light® se singularise par une grande capacité à stabiliser la tension alternative dans les stations de conversion. Cette caractéristique vaut surtout pour les parcs éoliens où la vitesse variable du vent occasionne de fortes fluctuations de tension.

Environnement et santé

Outre l'intérêt économique d'un tracé de moindre impact empruntant les ouvrages de transport existants, les effets sur l'environnement sont également minimisés avec HVDC Light®. Une ligne aérienne traversant une forêt, par exemple, érode l'absorption de CO₂ par les arbres qui transforment ce gaz atmosphérique en carbone fixé dans la biomasse. Concrètement, une zone boisée parcourue par une ligne de 400 kV est amputée d'environ 42 t de CO₂ annuelles par km [7].

Le champ magnétique terrestre est dû aux forts courants continus de convection des couches profondes de la Terre. Ce phénomène naturel varie de 30 à 60 µT, selon la latitude. C'est un champ magnétique de même type qui est produit par le câble HVDC Light® : il est donc jugé inoffensif pour l'homme. Un câble CC engendre une densité de flux magnétique comprise entre 5 et 10 µT, à 1 m du sol. Ajouté au champ magnétique terrestre, l'ensemble crée un effet magnétique équivalent à l'exposition d'une personne parcourant le globe du sud au nord : une valeur insignifiante d'un point de vue magnétique. Par contre, les champs électromagnétiques (EM) d'un câble CA et leurs effets sur la santé publique font encore débat : selon le principe de précaution, des valeurs limites d'exposition ont été fixées par certains pays, sans que les expertises menées à ce jour soient concluantes.

En moins de dix ans, près de 1500 km de câbles HVDC Light® ont été installés et 400 km supplémentaires sont en construction.

Sécurité

La pose et l'enfouissement de câbles en bordure de routes ou autres axes de circulation urbaine sont en général plus faciles qu'en milieu rural. L'implantation du câble peut être définie en s'appuyant sur le tracé des routes ou des voies ferrées. Les organismes d'aménagement routier et ferroviaire de chaque pays disposent pour cela de très bons systèmes. En Suède, tou-

- 3 Pose d'un câble HVDC Light® en Australie : a Transport des gros tourets
b Préparation de la pose par pelleteuse sur chenilles (gauche) et remblayeuse (droite)
c Exemple type de tranchée étroite limitant l'emprise au sol.



tes les routes ont des coordonnées fixes, relevées par GPS : d'autres services (pose de câbles électriques, de fibres optiques...) peuvent être positionnés et enregistrés dans le même système. Cette initiative limite les risques d'endommagement des ouvrages tiers. De plus, un système HVDC Light® ramène à 0 le courant de court-circuit 15 à 20 fois plus vite qu'une ligne alternative classique, atténuant ainsi les risques d'accidents électriques.

Bénéfices tangibles

Il va de soi que les caractéristiques des câbles extrudés HVDC Light® bénéficient au transport électrique. Les câbles enterrables font de l'électricité une énergie *invisible*. Cet argument, relayé par les autres avantages

environnementaux et sécuritaires du transport en courant continu, sans oublier sa capacité à couvrir de longues distances, ouvre de nouvelles voies de progrès pour acheminer l'électricité dans des conditions optimales.

Anders Gustafsson

Marc Jeroense

Johan Karlstrand

ABB Power Systems

Karlskrona (Suède)

anders.h.gustafsson@se.abb.com

marc.jeroense@se.abb.com

johan.p.karlstrand@se.abb.com

Bibliographie

- [1] Règlement CE n° 1228/2003 sur les conditions d'accès au réseau pour les échanges d'électricité transfrontaliers, 26 juin 2003
- [2] Green, S., *HVDC Systems Gotland: the HVDC pioneer*, Power Engineering International, July, 2004
- [3] Pajo, R., Aarna, I., Lahtinen, M., *Estlink Tie Improves Baltic States System*, Transmission & Distribution World, April, 2007
- [4] *E.ON lässt Offshore-Windpark für 300 Millionen Euro ans Netz anschließen*, Energie-Chronik, September, 2007, <http://www.udo-leuschner.de/energie-chronik/070910.htm>
- [5] Jones, P., Stenius, L., *The Challenges of Offshore Power System Construction – Troll A, Electrical Power Delivered Successfully to an Oil and Gas Platform in the North Sea*, EWEC, Athens, 2006
- [6] Mattsson, I., et al, *Murray Link – The longest underground HVDC cable in the world*, CIGRE, Paper B4-103, 2004
- [7] Ravemark, D., Normark, B., *L'insoupçonnable légèreté du CCHT*, Revue ABB 4/2005, p. 25–29

Lecture complémentaire

Flisberg, G., Englund, L., Kumar, A., *HVDC transmits green energy in China*, ABB Review Special Report ABB in China, 2005, p. 15–18