

Toute la lumière sur *HVDC Light*[®]

1 100 MW au compteur!

Björn Jacobson, Marc Jeroense

Notre soif d'électricité, loin de s'éteindre, devrait doubler au cours des 40 prochaines années. Or elle fait payer un lourd tribut à l'environnement, au niveau de la production comme du transport de l'énergie dont une part croissante provient de sources renouvelables, souvent éloignées des lieux de consommation. C'est pourquoi ABB a développé, depuis le milieu des années 1990, un système innovant de transit (CCHT) baptisé *HVDC Light*[®], qui se substitue et lève ainsi certains de ses inconvénients. Il est désormais possible de bâtir des liaisons longue distance, tant sous-marines que terrestres, ces derrières bénéficiant de câbles en polymère aussi robustes que faciles à poser. Les convertisseurs HVDC de transport électrique de fond de service après une panne

de l'électricité en courant continu à haute tension se substitue au transport en courant alternatif classiques. Il est désormais possible de bâtir sous-marines que terrestres, ces derrières bénéficiant de câbles en polymère aussi robustes que faciles à poser. Les convertisseurs HVDC de transport électrique de fond de service après une panne



Transport et distribution électriques

Dans notre monde urbanisé, les lieux d'implantation de nouvelles lignes électriques se font rares. En outre, l'essor des énergies renouvelables (EnR), telles que le solaire, l'éolien et l'hydroélectricité, ajoute son lot de contraintes au réseau électrique. Or c'est souvent loin des zones de consommation, où l'énergie est en général produite, que ce réseau montre des signes de faiblesse. Face au problème croissant de la pollution par le CO₂, les EnR ont la cote. De même, les nouvelles initiatives de lutte contre le réchauffement climatique et d'encadrement du négoce d'énergie ont immanquablement accentué les contraintes sur les systèmes de transport électrique. La technologie HVDC Light® vient à point nommé renforcer le réseau existant et en rehausser les performances.

Transport massif

Le transport CCHT véhicule l'électricité sur de longues distances, avec de faibles pertes en ligne. Ce fut de tout temps la technique privilégiée des traversées sous-marines et du grand transport à très haute tension. Depuis les années 1930, ABB est à l'avant-garde de la filière avec un long palmarès de réalisations CCHT, des premiers convertisseurs en montage dodécaphasé (12 pulses) mis en service en 1954, sur l'île suédoise de Gotland, aux vastes chantiers chinois capables de transporter 6 400 MW sur 2 000 km pour relier les imposantes centrales hydroélectriques, à l'ouest,

aux régions de consommation du sud et de l'est du pays 1.

Conversion de puissance

L'électricité étant produite et fournie au consommateur en alternatif, le transport CCHT doit passer à chaque extrémité par des équipements de conversion de l'alternatif au continu (redresseurs) et inversement (onduleurs). Ces « stations de conversion » font usage de thyristors (CCHT classique) ou de transistors (HVDC Light).

HVDC Light

ABB est le seul industriel affichant une expérience opérationnelle de plus de dix ans dans le domaine du transport électrique à base de convertisseurs à source de tension. La première installation HVDC Light fut la liaison Hällsjön-Grängesberg de 10 kV, achevée en 1997. De nombreuses stations de conversion lui ont succédé en donnant toujours satisfaction aux clients d'ABB.

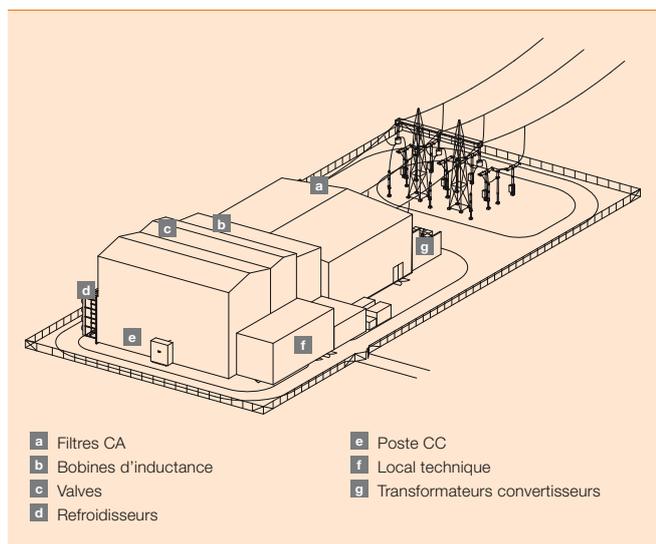
Le convertisseur à source de tension est intéressant à plus d'un titre : couplé à des réseaux très faibles, voire dépourvus de sources d'énergie complémentaires, il stabilise la tension en injectant ou en absorbant de la puissance réactive au gré des besoins, autorisant ainsi un réglage simultané et indépendant de l'écoulement de puissance et de la tension, au point de raccordement. En CCHT classique (utilisant des convertisseurs à thyristors, et non à transistors), ce contrôle indépendant

de la puissance active et de la tension réseau ne va pas de soi et impose des équipements supplémentaires. Mieux encore, le convertisseur à source de tension permet d'inverser l'écoulement de puissance sans changer la polarité de la tension mais le sens du courant, ce qui est impossible avec le CCHT classique. Cette propriété est très avantageuse quand on sait l'ampleur des contraintes de champ électrique dues aux inversions de polarité.

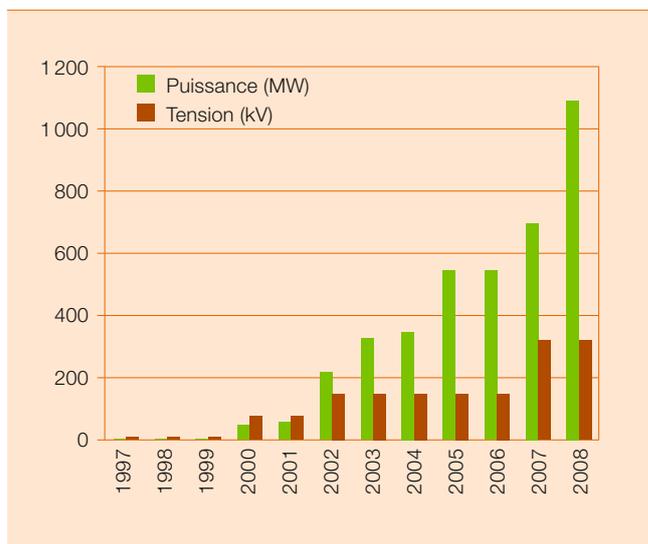
Avec HVDC Light, ABB est à ce jour le seul fournisseur d'une liaison commerciale CCHT équipée de convertisseurs à source de tension.

Un câble HVDC Light est une simple paire bipolaire à deux conducteurs de polarité opposée ; en l'exploitant avec des courants en anti-parallèle, on élimine pratiquement le champ magnétique de l'ensemble : l'absence de rayonnement est donc un autre atout de la technologie HVDC Light. Grâce au développement coordonné de convertisseurs à source de tension, de transistors bipolaires à grille isolée « IGBT » et de câbles HVDC Light, cette solution peut produire une tension synchronisée pour tout un parc éolien et prendre ainsi le relais du transport alternatif à très haute tension (400 kV et 500 kV). Pour accroître les niveaux

1 Station de conversion de 1 100 MW occupant 160 m x 70 m



2 Historique de la montée en puissance/tension du CCHT



de tension de la technologie HVDC Light, ses concepteurs ont décidé d'être prudents 2: des essais rigoureux sur des prototypes, sur l'isolation haute tension et sur les composants ont ainsi été menés selon les recommandations du Conseil International des Grands Réseaux Électriques¹⁾ (CIGRÉ) dans les laboratoires d'ABB et tiers. Les composants sensibles ont été testés dans un circuit de commutation haute tension, spécialement aménagé. Calculs, simulations et essais de fonctionnement à pleine capacité, pour chaque composant, ont ensuite été validés par des mesures *in situ*. En cumulant plus de 1 500 km de câbles HVDC Light et plus de 28 000 IGBT dans 29 convertisseurs (ou 22 stations de conversion), ABB a acquis une solide réputation de performance et de fiabilité dans le transport d'énergie HVDC Light Encadré.

Transistors spécialisés

ABB produit tous les transistors IGBT de ses réalisations HVDC Light: le plus gros affiche un courant de blocage maxi de 4 000 A en régime normal et peut supporter près de 18 kA en court-circuit 3. Ces valeurs aboutissent à un courant continu admissible d'environ 1 800 A, après ajout des marges de sécurité.

Contrôle-commande

Le système de contrôle-commande informatisé MACH2™ se caractérise par sa rapidité: le temps de cycle des boucles de régulation internes est de 100 µs. Il garde trace de l'état des convertisseurs et des auxiliaires, qu'il protège des surcharges de courant et de tension. Ce contrôle-commande inclut le réglage rapide de la tension continue et du courant des valves internes. Les protections de valves les plus rapides entrent en action dans les 10 µs.

Note

¹⁾ Organisation non gouvernementale, fondée en France en 1921, pour fixer les grands principes de la production et du transport de l'électricité à haute tension.

MACH2 a pour principales fonctions la régulation de la tension et de la puissance. Le réglage de la fréquence et de la puissance réactive peut aussi servir à contrôler le système. La puissance active peut être réglée en la fixant à un certain niveau ou en laissant la fréquence réseau déterminer le besoin de puissance («mode automatique»). Il en va de même de la puissance réactive que l'on peut régler ou faire varier en fonction de la tension réseau («mode régulation de tension»).

Différents types de fonctions d'amortissement sont disponibles selon les besoins: c'est le cas de l'interaction torsionnelle hyposynchrone entre le réseau et les groupes turbo-alternateurs. HVDC Light contribue à amortir ces oscillations d'énergie, protégeant ainsi les alternateurs des vibrations potentiellement néfastes.

Nouveaux horizons

L'avènement des stations de conversion HVDC Light et des câbles extrudés à isolation polymère élargit les perspectives du secteur traditionnel des interconnexions CCHT, notamment les longues liaisons sous-marines, et ouvre de nouveaux débouchés dictés par le marché. Il en va ainsi des applications *offshore*, comme l'alimentation électrique des plates-formes pétrolières et le transport de l'énergie produite par les parcs éoliens en mer. L'absence de champs électromagnétiques alternatifs dans les câbles HVDC et leur possibilité d'enfouissement militent en faveur des nouveaux systèmes de transport électrique HVDC Light. L'atténuation du préjudice visuel pour les populations et une installation rapide, relativement respectueuse du milieu naturel, accélèrent les procédures d'autorisation et écourtent les délais de réalisation d'un projet. La faible dimension des câbles, leur installation simplifiée (nombre

réduit de jonctions au km), ainsi que la durabilité de la pose souterraine renforcent considérablement l'attrait économique de l'installation et de la maintenance HVDC Light par rapport au câblage en alternatif. Certes, les installations de conversion grignotent une partie non négligeable des coûts d'une liaison HVDC Light mais sa capacité de transit, contrairement à une ligne CA, ne diminue pas avec la longueur de l'ouvrage, ce qui rentabilise d'autant le système au fil des kilomètres! Compte tenu des conditions locales, très variables d'un cas à l'autre, les études réalisées à ce jour montrent qu'au-delà de 200 km, HVDC Light se révèle une solution attrayante par rapport aux lignes aériennes de puissance comparable, même sous l'angle économique.

Extrudés ou isolés au papier imprégné?

Les câbles au papier imprégné d'huile en masse conviennent aussi au transport HVDC Light, comme l'atteste le pro-

Encadré Une longue expérience des liaisons HVDC Light et de la compensation statique de puissance réactive (SVC)

Liaison	Nombre de convertisseurs	Mise en service
1 Hällsjön-Grängesberg	2	1997
2 Hagfors (SVC)	1	1999
3 Gotland	2	1999
4 Directlink	6	2000
5 Tjæreborg	2	2002
6 Eagle Pass	2	2000
7 Moselstahlwerke (SVC)	1	2000
8 Cross Sound Cable	2	2002
9 Murraylink	2	2002
10 Polarit (SVC)	1	2002
11 Evron (SVC)	1	2003
12 Troll A	4	2005
13 Holly (SVC)	1	2004
14 Estlink	2	2006
15 Ameristeel (SVC)	1	2006
16 ZPSS (SVC)	1	2006
17 Mesnay (SVC)	1	2008
18 BorWin 1 (Nord E.ON 1)	2	2009
19 Martham (SVC)	1	2009
20 Liepajas (SVC)	1	2009
21 Siam Yamato (SVC)	1	2009
22 Caprivi Link	2	2010
23 Valhall	2	2010
24 Liepajas Metalurgs (SVC)	1	2010
25 Danieli - GHC2 (SVC)	1	2011
26 Danieli - UNI Steel (SVC)	1	2011
27 EWIP	2	2012

N° 1 à 18: chantiers opérationnels; n° 19 à 27: projets en cours d'achèvement ou en construction

Transport et distribution électriques

3 Les valves IGBT, au cœur du convertisseur



jet Valhall. Si les deux conceptions de câble – polymère et papier imprégné – sont exploitables en mer et ont été effectivement utilisées, la seconde est pour l'heure la solution privilégiée dans le domaine de la très haute tension (400 à 500 kV CC). Les câbles à isolation polymère sont préférés à terre pour leur facilité et leur rapidité de raccordement et d'installation 4.

Souterrains ou aériens ?

L'enfouissement des câbles n'est pas toujours la panacée, notamment en montagne où l'accès des engins de génie civil est difficile. Dans certains cas, les lignes aériennes sont beaucoup moins coûteuses et bien adaptées à HVDC Light. Citons, par exemple, la liaison Caprivi (Namibie) et ses 970 km

de lignes aériennes en terrain difficile, dont la mise en service est prévue pour fin 2009. Le CCHT autorise une puissance transitée unitaire supérieure à celle de l'équivalent CAHT, surtout pour les longues distances ; il en résulte moins de lignes pour acheminer la puissance requise et, ce faisant, moins de problèmes d'emprise au sol. On peut même coupler le souterrain à l'aérien, sous réserve d'équiper la ligne aérienne de parafoudres et de protections électroniques.

Interdit de séjour

Le courant alternatif oscille 50 ou 60 fois par seconde (d'où une fréquence réseau de 50 ou 60 Hz), quel que soit le niveau de tension (basse, moyenne, haute ou très haute). A chaque cycle, le câble CA se charge et se décharge à la tension réseau, le courant de charge étant proportionnel à la longueur du câble. A une certaine longueur, il augmente démesurément, ne laissant plus rien à la puissance utile. A l'évidence, bien avant que ce phénomène survienne, le câble CA a perdu son intérêt économique. Le problème se corse à mesure qu'augmente la tension appliquée, limitant la longueur et la puissance des câbles CA. S'ils sont très utiles aux courtes liaisons électriques, ils sont impropres au grand transport. A l'inverse, le câble CC n'a pas de courant de charge : la totalité du courant est donc exploitable.

L'âge d'or

Armée des puissants IGBT d'ABB et des nouveaux câbles ultraminces de haute technologie, la solution HVDC Light conforte sa place au sein des

systèmes de transport électrique du monde entier. Contrairement à ce que sa dénomination anglo-saxonne laisse entendre, elle n'a de léger (*Light*) que sa mise en œuvre, pas sa puissance ! Grâce à la somme d'expériences acquises dans nombre d'installations réussies, sa fiabilité est éprouvée et garantie.

Les ingénieurs d'ABB continuent d'étendre son champ d'action : tension, courant, puissance, encombrement, efficacité sont quelques-uns des paramètres clés qui ne cessent de progresser. A long terme, on peut aussi envisager un réseau CC superposé au réseau CA pour accroître la capacité de transit sans perdre de stabilité ni avoir à doubler les lignes aériennes. Reste à régler un certain nombre de problèmes, en particulier les courants de coupure CC. Ce réseau pourrait toutefois être la meilleure solution pour rapatrier et distribuer l'énergie durable du soleil, du vent et des ressources hydrauliques, réduisant ainsi les émissions de CO₂. C'est dans cette optique que se poursuit le développement des IGBT, câbles, et matériels et logiciels de contrôle-commande.

Montée en puissance

HVDC Light franchit aujourd'hui une étape majeure en atteignant 1 100 MW transités sur de longues distances, à l'aide de câbles CC enfouis. La solution ouvre ainsi de nouvelles perspectives, comme le renforcement des réseaux existants, l'alimentation en énergie d'installations isolées (ouvrages en mer) et le transport de l'électricité produite par des EnR éloignées des centres de consommation.

Björn Jacobson

ABB Power Systems
Ludvika (Suède)
bjorn.jacobson@se.abb.com

Marc Jeroense

ABB Power Systems
Karlskrona (Suède)
marc.jeroense@se.abb.com

4 Constitution d'un câble HVDC Light extrudé en polymère



- a Ame conductrice en aluminium
- b Ecran polymère sur âme
- c Isolant polymère
- d Ecran polymère sur isolant
- e Tresse
- f Gaine anti-corrosion
- g Protection mécanique