

Poste de garde

Un appareillage d'interruption à très haute tension protège la Chine

Walter Holaus, Fredi Stucki

La Chine a un fort appétit d'énergie électrique. Des centrales géantes surgissent dans tout le pays à proximité des sources d'énergie, parfois à des milliers de kilomètres des grands centres de consommation, vers lesquels il faut acheminer cette électricité.

A cette échelle, les pertes en ligne ne sont pas négligeables. L'entreprise d'Etat chargée du réseau a donc décidé de bâtir un réseau électrique d'un nouveau genre avec une tension de 1 100 kV CA pour transporter l'électricité en minimisant les pertes.

ABB, avec ses partenaires et fournisseurs, a développé le point névralgique de ce réseau: un appareillage d'interruption à isolation gazeuse, conçu selon une technologie révolutionnaire pour résister à toutes les contraintes.

1100



La fiabilité et la sécurité de la fourniture énergétique, vitale pour nos économies modernes, dépend en grande partie de l'appareillage d'interruption haute tension (HT) des postes qui sont au cœur du système électrique. Le disjoncteur HT de cet appareillage constitue souvent le dernier rempart face aux courts-circuits.

Les postes HT du réseau électrique étant souvent isolés dans l'air, une distance d'isolation de plusieurs dizaines de mètres doit protéger les hommes et le sol des niveaux de tension très élevés.

Si l'on souhaite un appareillage plus compact, il faut recourir à l'isolation gazeuse **Encadré 1**.

L'introduction de la technologie à isolation gazeuse remonte à 1966 avec la livraison du premier poste enterré de 170 kV installé dans le centre-ville de Zurich.

L'introduction de cette technologie remonte à 1966 avec la livraison du premier poste enterré à isolation gazeuse de 170 kV installé dans le centre-ville de Zurich **1**. En 1976, ABB fournissait le premier poste isolé au gaz de 500 kV, à Claireville (Canada). Dix ans plus tard, le Groupe confirmait son avance technologique, y compris dans le domaine de la très haute tension (THT) **Encadré 2**, en installant le premier poste à isolation gazeuse de 800 kV, à Alpha (Afrique du Sud). Ce poste n'a connu ni défaillance ni arrêt intempestif en plus de 20 ans. Le plus gros appareillage à isolation gazeuse au monde reste celui d'Itaipu, au Brésil (500 kV), qui sera bientôt supplanté par celui du barrage des Trois-Gorges en Chine.

Technologie innovante pour la Chine
La production d'électricité, sur le territoire immense de la Chine, est principalement localisée à l'ouest du pays, tandis que les centres de consommation se concentrent le long de la côte, à des milliers de kilomètres. La croissance de la demande d'électricité et le

renforcement du système de transport existant nécessitent la construction de réseaux THT en courant alternatif (CA) et continu (CC) [1,2].

Il y a quelques années, l'entreprise d'Etat chargée du réseau électrique SGCC (*State Grid Corporation of*

China), un des plus importants clients d'ABB, a lancé un projet de réseau CA d'une tension assignée de 1 100 kV [3], à l'origine d'importants travaux de recherche-développement à la fois dans les laboratoires et chez les fabricants de matériels électriques [4]. Afin d'en évaluer la faisabilité technique,

Encadré 1 Appareillage d'interruption à isolation gazeuse

L'appareillage à isolation gazeuse est très répandu dans les réseaux de transport et de distribution à haute tension (HT). ABB, leader mondial du marché pour les réseaux de transport, fabrique des produits pour des tensions de 72 à 800 kV, des courants jusqu'à 4 000 A et un pouvoir de coupure en court-circuit de 63 000 A maxi. Les postes à isolation gazeuse intérieurs ou extérieurs assurent des fonctions de commutation, coupure, mise à la terre et mesure. Comportant de nombreux éléments, chaque

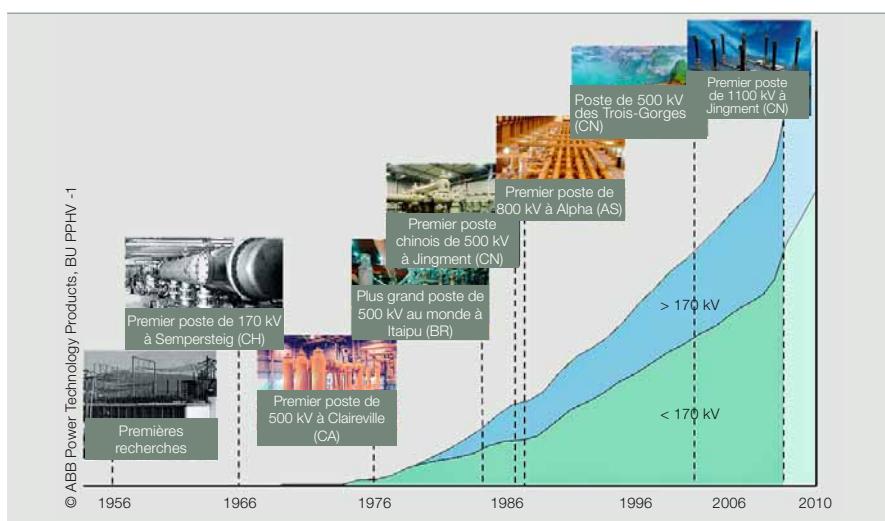
poste est optimisé pour chaque application. De forme coaxiale avec conducteur interne et externe, chaque constituant élémentaire est rempli d'hexafluorure de soufre (SF_6) dont la pression atteint plusieurs centaines de kPa. Les composants sont assemblés par brides boulonnées, ce qui donne au poste un air d'oléoduc. On parle de poste hybride si certains constituants (ex., jeux de barres ou raccordements aux lignes aériennes) sont isolés dans l'air.

Encadré 2 Très haute tension (THT)

Les systèmes électriques fonctionnent à différents niveaux de tension pour optimiser le rendement du transport, minimiser les pertes électriques et l'usure des matériaux, et garantir une sécurité maximale. Les normes CEI spécifient des niveaux de tension jusqu'à 800 kV. Les systèmes fonctionnant à des tensions supérieures à 550 kV sont dits «à très haute tension» et servent à

acheminer des milliers de MW d'électricité sur plusieurs centaines de km. Les pertes en ligne diminuent avec la tension, elles sont 4 fois moins importantes à 1 100 kV qu'à 550 kV. Les systèmes THT conviennent donc particulièrement bien au transport massif d'énergie sur de longues distances.

- 1 ABB et la technologie à isolation gazeuse : des premières recherches à la plus grande installation mondiale en 50 ans**



Produits

SGCC a demandé à un groupe réunissant ABB, trois fabricants chinois et deux fabricants japonais de postes à isolation gazeuse, de prendre part au développement d'un ensemble d'appareillage d'interruption à isolation gazeuse THT pour son projet de démonstration en CA. Implanté en 2008 en Chine centrale, ce projet comprend presque 600 km de lignes HT et 3 postes électriques (Jingmen, Nanjang et Jing Don Nan).

Le projet de démonstration chinois d'un réseau THT CA comprend presque 600 km de lignes HT et 3 postes électriques (Jingmen, Nanjang et Jing Don Nan).

Projet ELK-5

Xian Shiky, premier fournisseur chinois d'appareils à isolation gazeuse, et ABB se sont associés au sein du projet de co-développement «ELK-5» (ELK désignant les systèmes à isolation gazeuse d'ABB et 5 le nouveau niveau de performance) pour concevoir et installer le poste à isolation gazeuse de 1 100 kV. ABB était chargé de la conception globale du matériel hybride à isolation gazeuse ainsi que de la production et de l'acheminement des composants de base. Shiky, pour sa part, assurait la fabrication des autres composants, la réalisation des essais de type (supervisés par des experts de

SGCC et de KEMA), l'assemblage et l'installation de l'appareillage au poste de Jingmen. SGCC fixa un calendrier très serré, car le poste de Jingmen, dont l'installation avait démarré en novembre 2006, devait être mis sous tension fin 2008. Un record mondial puisqu'en à peine 2 ans la tension du poste devait être portée à un niveau très élevé tout en assurant, dans l'intervalle, le développement, les essais de type, la fabrication et l'installation. Pour respecter le délai, ABB réunit une équipe de projet de 20 spécialistes qui disposaient d'un accès prioritaire aux moyens d'essai et à d'autres experts.

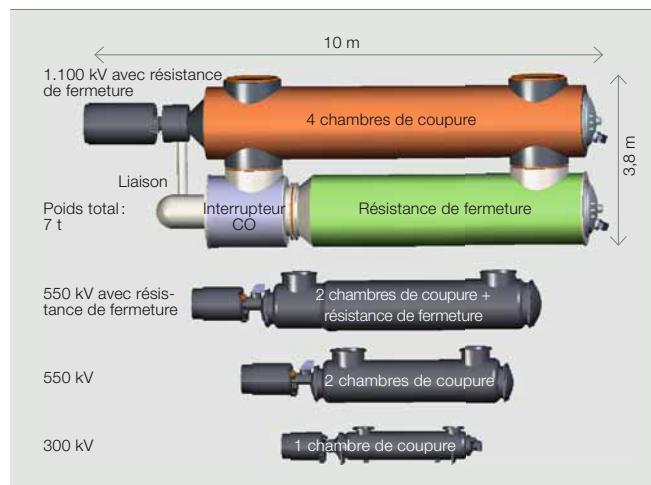
Faites monter la tension!

La tenue diélectrique d'un appareillage à isolation gazeuse dépend de nombreux paramètres : pression du gaz, géométrie des électrodes, forme de l'impulsion de tension appliquée, polarité ou pureté du gaz SF₆, etc. Même si la plupart de ces paramètres a été étudiée en termes de rigidité électrique, des phénomènes très diffé-

3 Disjoncteur à isolation gazeuse ABB avec sa commande en cours d'assemblage en usine



2 Dimensions des disjoncteurs ABB de 300 à 1 100 kV



rents peuvent se produire selon le niveau de tension. En effet, il faut bien comprendre les phénomènes physiques qui varient selon le niveau de tension et qui affectent les propriétés diélectriques de l'isolant. Des règles de mise à l'échelle spécifiques s'appliquent à chaque composant, puis à l'ensemble du système. Certains effets, comme les transitoires très rapides survenant lors de la manœuvre d'un sectionneur, prennent un relief particulier à des tensions très élevées.

Définir la pression idéale du gaz à ce très haut niveau de tension pose une difficulté majeure car il faut trouver un compromis entre les paramètres de pression ayant une influence positive et négative sur l'isolation. Selon les études réalisées par ABB, une pression relativement faible du SF₆ est préférable pour l'appareillage THT à isolation gazeuse.

La robustesse et la disponibilité opérationnelle de l'appareillage sont deux autres éléments clés. Les règles de conception suivantes furent donc appliquées :

- Encapsulation monophasée des chambres de coupure ;
- Compartiment séparé pour les résistances de fermeture ;
- Marges de sécurité pour tous les paramètres électriques.

Le gigantisme de l'appareillage d'interruption de 1 100 kV exigea de très nombreux calculs mécaniques ; en effet, la mise à l'échelle des paramètres mécaniques (énergie de commande, vitesse des contacts, résistance à l'éclatement) est hautement non linéaire. Ce type de projet fait, en réalité, appeler autant à des spécialistes du génie mécanique qu'à ceux du génie électrique.

Les caractéristiques mécaniques et électriques furent calculées avec des outils 3D et la fabrication s'est effectuée, autant que possible, avec des procédés éprouvés.

Disjoncteur

Le disjoncteur est un appareil capable

d'établir et d'interrompre des courants en toute sécurité en moins de 50 ms dans des conditions normales et anormales (défaut) de service.

Le disjoncteur 1 100 kV vient compléter l'offre existante de disjoncteurs ABB. Il se compose de deux cuves, l'une pour les chambres de coupure et l'autre pour la résistance de fermeture. Les chambres de coupure et l'interrupteur fermeture-ouverture (CO) qui insère la résistance de fermeture sont manœuvrés par une seule commande hydraulique à ressort, développée spécialement pour cette application [5, 6, 7]. La figure 2 compare les différents disjoncteurs ABB selon le niveau de tension. Les valeurs assignées de 1 100 kV/4 000 A correspondent à une puissance assignée de 7 600 MW pour les 3 phases, soit plus que la consommation moyenne de courant d'un pays comme la Suisse¹⁾. En d'autres termes, ce disjoncteur pourrait établir et couper l'alimentation électrique de la Suisse entière.

L'optimisation du nombre de chambres de coupure et l'utilisation d'enveloppes en aluminium ont permis d'alléger ce disjoncteur THT moderne à 7,5 t [3].

Note

¹⁾ Cf. 5^{ème} Rapport annuel SuisseEnergie 2005/2006, http://www.bfe.admin.ch/energie/00556/index.html?lang=fr&dossier_id=01060 (consulté en octobre 2008)

4 L'équipe de développement et de test à Baden Power Lab (Suisse) après le 100^{ème} essai



S'agissant d'une première mondiale pour un disjoncteur 1 100 kV, les essais ont dû vérifier la conformité aux normes chinoises et internationales, un défi de taille pour les fournisseurs et les laboratoires de test. Les essais de type se déroulèrent aux laboratoires Xihari à Xian et chez ABB en Suisse [4].

ABB était chargé de la conception globale du matériel hybride à isolation gazeuse ainsi que de la production et de l'acheminement des composants de base.

Les essais de puissance à 1 100 kV ont été particulièrement contraignants chez Xihari pour les raisons suivantes :

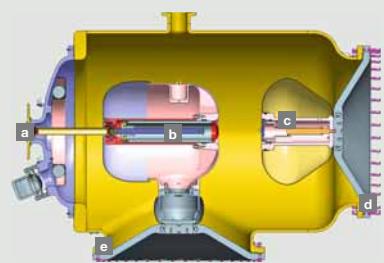
- La fabrication et les essais ont nécessité le transport intercontinental du matériel THT. Les disjoncteurs complets et d'autres équipements ont dû être expédiés par avion pour ne pas retarder le projet.
- Les essais combinés de tension nécessitaient deux traversées distantes de plus de 13 m, elles-mêmes placées à plus de 10 m des murs du laboratoire.
- Seule la moitié du disjoncteur fut testée lors des essais de commutation car aucun niveau de tension

suffisamment élevé n'était disponible pour mettre sous contrainte le disjoncteur complet. Ce type d'essai

Encadré Caractéristiques assignées du projet de démonstration de poste à isolation gazeuse à 1 100 kV

■ Tension :	1 100 kV
■ Tension de tenue aux chocs de foudre :	2 400 kV
■ Courant du matériel :	4 000 A
■ Courant des jeux de barres :	8 000 A
■ Courant de court-circuit :	50 kA

5 Coupe transversale du sectionneur THT



- a Commande
- b Contact mobile
- c Contact fixe
- d Isolateur
- e Isolateur

6 Installation d'essais de commutation du sectionneur au laboratoire STRI



- a Traversée
- b Traversée
- c Transformateur d'essai haute tension CA
- d Transformateur d'essai haute tension CC
- e Disjoncteur
- f Jeu de barres à isolation gazeuse THT
- g Sectionneur testé

Produits

sur la moitié des pôles nécessite une enceinte spécifique et des calculs de répartition des potentiels.

Un grand soin ayant été apporté à la conception et à la fabrication, le disjoncteur fut validé dès la première série d'essais.

Sectionneur

La fonction du sectionneur est d'isoler des parties du poste à isolation gazeuse afin d'intervenir en toute sécurité sur les éléments sectionnés et mis à la terre.

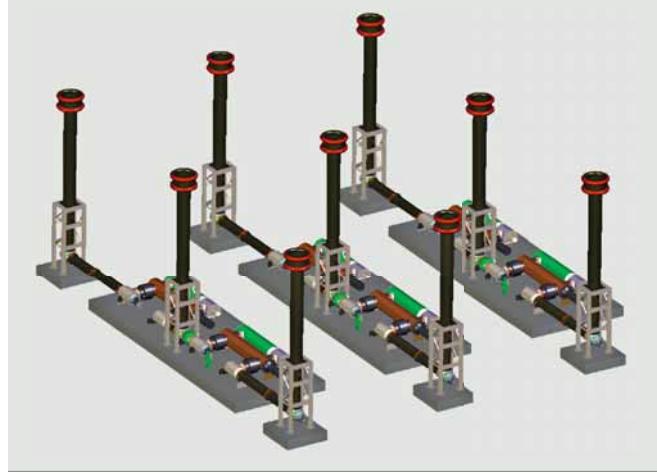
A la différence d'un disjoncteur, son temps de manœuvre peut être plus lent, de l'ordre de quelques secondes. Le sectionneur 1 100 kV d'ABB est à commande rotative (90°) avec un écartement visible du conducteur interne inférieur à 300 mm, capable de supporter plus de 3 400 kV au cours des essais diélectriques. Il s'agit d'un des points forts de l'appareillage isolé au SF₆. En effet, si l'on veut soumettre à 3 400 kV des conducteurs à l'air libre, ils doivent être éloignés au minimum de 13 m pour éviter les contournements.

Les essais de type de commutation des sectionneurs furent réalisés au *Swedish Transmission Research Institute* (STRI) de Ludvika (Suède), seul laboratoire disposant des équipements *ad hoc* [5] [6]. La «relative» lenteur du sectionneur provoque des étincelles à la fermeture et à l'ouverture des contacts, qui générèrent, à leur tour, les transitoires très rapides qui se propagent dans le poste à isolation gazeuse et imposent de très fortes exigences de compatibilité électromagnétique (CEM) aux équipements testés.

Premier poste THT de Jingmen

Une fois les essais de type réussis en 2008, ABB et Shiky entamèrent l'assemblage et l'expédition des premiers matériels du poste de Jingmen (Chine centrale) qui comprend un ensemble quasi complet d'appareils isolés dans le gaz (disjoncteurs avec résistances de fermeture, sectionneurs, sectionneurs de mise à la terre, transformateurs de courant, jeux de barres, traversées et isolateurs) [7].

7 Disposition du poste hybride à isolation gazeuse de 1 100 kV de Jingmen



Ce poste, installé en 2008 à proximité de la ville de Jingmen, acheminera une partie de l'électricité produite par la centrale des Trois-Gorges vers le nord du pays.

ABB à la hauteur

Le projet ELK-5 fut un défi majeur à de nombreux égards : conception inédite, délais record, coopération transcontinentale entre fournisseurs et partenaires en Europe comme en Chine, et collaboration étroite d'équipes d'environnements culturels très différents.

Les études approfondies d'agencement ont conclu qu'un montage «à l'horizontale» de l'appareillage à isolation gazeuse, facilement accessible, était la solution idéale pour le poste hybride de Jingmen, dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Tout l'appareillage à isolation gazeuse se trouve à proximité du sol ;
- Le montage à faible hauteur améliore la tenue sismique ;
- Toutes les commandes sont placées à moins de 1,5 m du sol, garantissant un accès aisé et sûr au personnel d'installation et de maintenance ;
- Aucune plate-forme ni échelle ne sont requises ;
- Le montage peut facilement s'étendre dans le prolongement des jeux de barres ;
- La structure de la cellule nécessite un minimum d'éléments en acier ;
- L'installation sur site est rapide et simple.

Les essais de type furent réalisés simultanément en Chine, en Suède et en Suisse. Cette réalisation marque le début d'une nouvelle ère dans le transport THT et démontre avec force le génie créatif de l'union des leaders mondiaux de l'électrotechnique.

Walter Holaus

Fredi Stucki

ABB Switzerland Ltd.

Zurich (Suisse)

walter.holaus@ch.abb.com

fredi.stucki@ch.abb.com

Bibliographie

- [1] International Conference of UHV Power Transmission Technology, 2006, Beijing
- [2] Symposium CEI/CIGRE sur la très haute tension, 2007, Beijing
- [3] 1,100 UHV AC demonstration project, <http://www.sgcc.com.cn/ztzl/zgtgy/tgyzs/41249.shtml> (consulté en octobre 2008)
- [4] Sun, Y., Zhang, D., Meng, W., *The Research and Development of 1,100 kV GIS*, International Conference of UHV Power Transmission Technology, 2006, Beijing
- [5] Holaus, W., Sologuren, D., Keller, M., Kruesi, U., Riechert, U., *Entwicklung einer gasisolierten Schaltanlage für 1,100 kV*, ETG Kongress, 2007, Karlsruhe
- [6] Holaus, W., Kruesi, U., Sologuren, D., Riechert, U., Keller, M., *Testing of GIS components at 1000 kV rated voltage*, Session CIGRE 2008, SG A3-202, Paris
- [7] Riechert, U., Kruesi, U., Holaus, W., Sologuren, D., *Gasisolierte Schaltanlagen für 1,100 kV – Herausforderungen an Entwicklung und Prüfung*, Stuttgart Hochspannungssymposium, 2008, Stuttgart
- [8] Holaus, W., Xia, W., Sologuren, D., Keller, M., Kruesi, U., Riechert, U., Xu, S., Wang, C., *Development of 1,100 kV GIS equipment: Up-rating of existing design vs. specific UHV design*, Symposium CEI/CIGRE sur la très haute tension, 2007, Beijing