



Le disjoncteur devient sectionneur

Les disjoncteurs-sectionneurs maximisent la disponibilité des postes à coupure dans l'air pour une moindre emprise au sol

HANS-ERIK OLOVSSON, CARL EJNAR SÖLVER, RICHARD THOMAS – Les progrès des disjoncteurs ont fait évoluer l'architecture des postes électriques. Auparavant, les disjoncteurs exigeant beaucoup de maintenance, on les entourait de sectionneurs pour pouvoir intervenir sans perturber les circuits voisins. Aujourd'hui, l'intervalle de maintenance de ces appareils dépasse 15 ans et la priorité est davantage donnée à la maintenance des lignes aériennes, transformateurs, induc-

tances, etc. Cette évolution a permis d'intégrer la fonction de sectionnement au disjoncteur, créant ainsi le « disjoncteur-sectionneur » (DS). Avec leurs contacts principaux dans le SF₆, milieu protégé et non pollué, la fonction de sectionnement est extrêmement fiable, d'où une augmentation de l'intervalle de maintenance, une meilleure disponibilité du poste et une réduction de son emprise au sol d'environ 50 %.



Les progrès des disjoncteurs ont fait évoluer l'architecture des postes électriques.

Les progrès des disjoncteurs ont beaucoup simplifié leur maintenance tout en augmentant leur fiabilité. Pour des disjoncteurs modernes au SF₆, l'intervalle entre deux opérations de maintenance nécessitant la mise hors tension du circuit primaire atteint désormais 15 ans, voire plus. Par contre, les sectionneurs à construction ouverte n'ont connu aucune évolution significative en matière de maintenance et de fiabilité pendant cette même période, l'accent ayant porté sur la réduction des coûts par l'optimisation des matériaux ; l'intervalle de maintenance de leurs contacts principaux est de l'ordre de 2 à 6 ans, selon l'usage et le niveau de pollution industrielle et/ou le milieu environnant (sable, salinité, etc.).

La fiabilité accrue des disjoncteurs découle des progrès de la coupure primaire : le disjoncteur à air comprimé, à petit volume d'huile ou au SF₆ à double pression a laissé place au SF₆ à simple pression. Dans le même temps, le nombre de chambres de coupure en série a dimi-

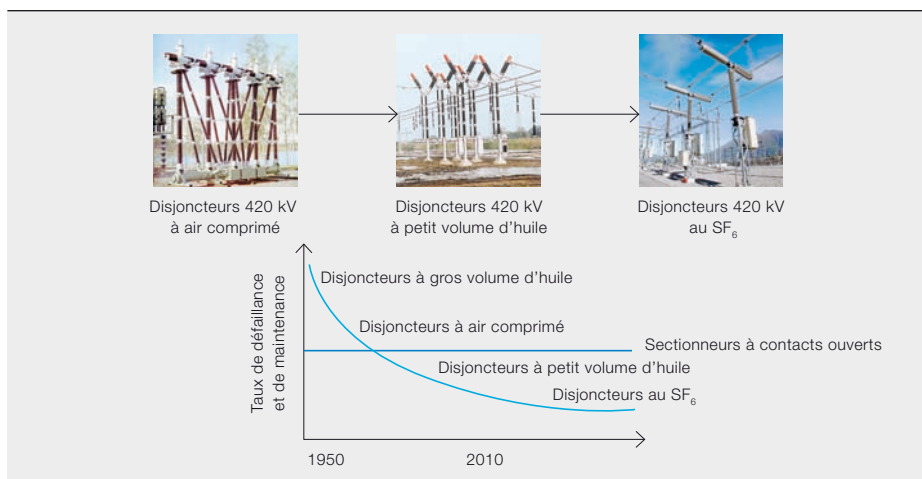
nué, si bien qu'il existe aujourd'hui des disjoncteurs à cuve sous tension de 300 kV à une seule chambre par pôle. La suppression des condensateurs de répartition de tension pour les disjoncteurs à deux chambres a encore simplifié le circuit primaire et donc amélioré la disponibilité. De nos jours, on trouve des disjoncteurs de tension jusqu'à 550 kV, sans condensateurs, ce qui autorise l'utilisation de DS jusqu'à ce niveau de tension. Les organes de manœuvre des disjoncteurs ont également progressé, les commandes à ressort, plus fiables et moins gourmandes en maintenance remplaçant leurs aînées pneumatiques ou hydrauliques → 1.

Traditionnellement, les postes étaient construits en « ceinturant » les disjonc-

teurs de sectionneurs pour permettre leur maintenance fréquente. Avec la forte réduction des taux de défaillance et de

L'évolution de la conception a permis d'intégrer la fonction de sectionnement au disjoncteur pour créer un nouveau dispositif : le disjoncteur-sectionneur.

maintenance des disjoncteurs, la fonction de sectionnement sert davantage aujourd'hui à la maintenance des lignes aériennes, des transformateurs de puissance, etc. Ce progrès, couplé aux problèmes de fiabilité que plusieurs grands comptes d'ABB rencontraient avec les sectionneurs à construction ouverte, a incité au développement conjoint du disjoncteur-sectionneur [1, 2, 3]. Cet appareil, qui combine les fonctions de cou-



Le disjoncteur-sectionneur diminue nettement la maintenance des postes à coupure dans l'air et le risque de défaillance causée par la pollution.

pure et de sectionnement, diminue l'encombrement du poste électrique et renforce sa disponibilité [4]. Le premier DS a été installé en 2000; il existe aujourd'hui pour des niveaux de tension de 72,5 à 550 kV.

Principes de conception

Dans un DS, les contacts de la chambre de coupure remplissent aussi, en position ouverte, la fonction de sectionneur. Le système de contacts s'apparente à celui d'un disjoncteur classique, sans tiges ni contacts supplémentaires → 2. Le DS est équipé d'isolateurs en caoutchouc de silicone et hydrophobes: à leur surface, l'eau condense en gouttelettes. Ils sont donc très performants en environnement pollué et le courant de fuite par les pôles en position ouverte est minime.

Le DS diminue significativement la maintenance des postes à coupure dans l'air et le risque de défaillance causée par la pollution. Le remplacement du tandem disjoncteur/sectionneur à construction ouverte par le DS améliore beaucoup la disponibilité des postes.

Le DS doit satisfaire aux normes en vigueur sur les disjoncteurs et les sectionneurs. En 2005, la CEI a publié une norme spécifique aux disjoncteurs-sectionneurs [5], dont un des chapitres est consacré aux essais des fonctions combinées. Il s'agit de vérifier que le DS conserve ses propriétés de sectionnement pendant toute sa durée de vie, malgré l'usure des contacts et les éventuels sous-produits de la dégradation causée par l'extinction de l'arc. Pour cela, le dispositif est d'abord soumis à



tous les essais mécaniques et de coupure, puis on s'assure qu'il répond aux exigences diélectriques d'un sectionneur.

Le DS existe pour des tensions assignées de 72,5 à 550 kV → 4. Environ 900 DS triphasés ont été commandés ou installés.

Tous à terre!

Avant toute intervention de maintenance ou de réparation sur une partie d'un poste ou d'un réseau, il faut ouvrir un ou plusieurs sectionneurs pour l'isoler du reste du système. Les équipements isolés sont mis à la terre pour assurer la sécurité du personnel, suivant plusieurs méthodes:

- Emploi de sectionneurs traditionnels à coupure dans l'air: l'ouverture visible des contacts garantit la mise hors tension de ce tronçon de réseau isolé, qui est ensuite mis à la terre;
- Double verrouillage des DS en position ouverte avec fonction de sécurité intrinsèque: blocage électrique de la commande et verrouillage mécanique du système de couplage avec les contacts principaux. Le sectionneur de terre adjacent est ensuite fermé. La fermeture visible garantit que cette portion de réseau est hors tension et le personnel, hors de danger → 3.

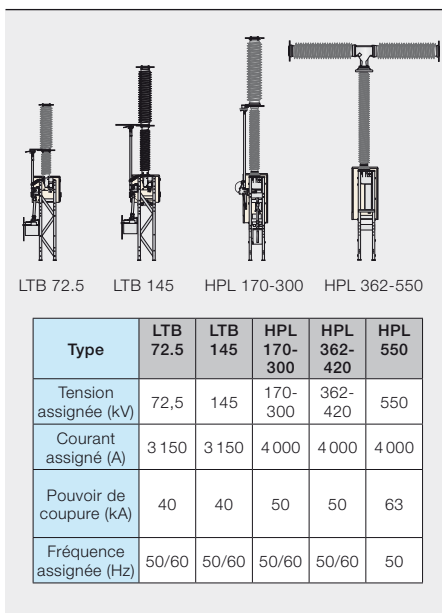
Maintenance

Autrefois, la complexité des disjoncteurs exigeait une maintenance lourde, privilégiant l'isolement de ces appareils et le maintien en service des autres parties du poste. Et c'est précisément pour permettre la maintenance des disjoncteurs que les sectionneurs ont été introduits, il

3 DS de 145 kV avec transformateurs de courant intégrés et sectionneur de terre fermé



4 Gamme de disjoncteurs-sectionneurs

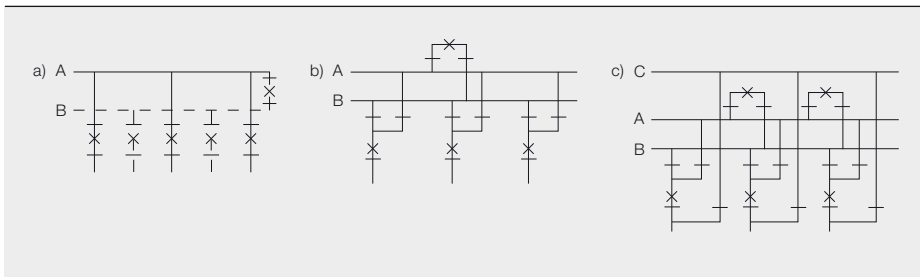


primaire entre le DS et le jeu de barres. Lorsque le DS est ainsi sectionné, il est possible de remettre sous tension les autres parties du poste tout en poursuivant l'intervention.

Défaillances

La fiabilité croissante du matériel électrique n'a pas fait totalement disparaître les défauts, même si la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF) augmente. Les défauts sont un processus stochastique : même avec un MTBF très long, ils peuvent survenir à n'importe quel moment et les clients d'ABB doivent intégrer cette éventualité à la conception du poste. L'élimination d'un défaut s'accompagne aussi d'un risque, certes faible, qu'un disjoncteur ne s'ouvre pas : des disjoncteurs de secours sont donc nécessaires.

5 Différents types de schémas unifilaires reposant sur l'exigence (aujourd'hui obsolète) d'une maintenance fréquente des disjoncteurs.



ya près d'un siècle. D'où le schéma unifilaire → 5 dans lequel les disjoncteurs étaient entourés de sectionneurs.

La figure → 6 présente une solution classique à double jeu de barres avec disjoncteurs et sectionneurs séparés, comparée à une solution à jeu de barres tronçonné avec DS, pour un poste de 132 kV doté de quatre lignes aériennes, deux transformateurs de puissance et un disjoncteur de couplage ou de tronçonnement. La seconde solution diminue de plus de 40 % la surface au sol de l'appareillage. Les durées d'indisponibilité d'une arrivée ou d'un départ pour maintenance de l'appareillage d'interruption sont données en → 7. Les intervalles de maintenance théoriques sont ceux recommandés par le constructeur, à savoir 5 ans pour les sectionneurs à construction ouverte et 15 ans pour les disjoncteurs et DS.

L'introduction du DS réduit ainsi la durée moyenne d'arrêt pour maintenance de 3,1 heures à 1,2 heure par an.

Cette réduction offre de nombreux avantages :

- Plus grande satisfaction des clients (la maintenance risquant d'entraîner chez certains une coupure d'alimentation, selon l'architecture du poste ou la topologie du réseau) ;
- Moindres menaces de perturbations du système électrique (pannes générales), le risque de défauts primaires étant plus important en maintenance (présence de personnel dans le poste) qu'en fonctionnement normal. Le réseau est en outre « fragilisé » puisque certains éléments ne fonctionnent pas ;
- Moindre coût de main d'œuvre de la maintenance sur site ;
- Sécurité renforcée du personnel (toute intervention sur le réseau haute tension du poste entraînant un risque potentiel de choc électrique, chute, etc.).

Le dispositif de sectionnement est un élément de l'appareillage prévu pour assurer l'ouverture rapide du raccordement

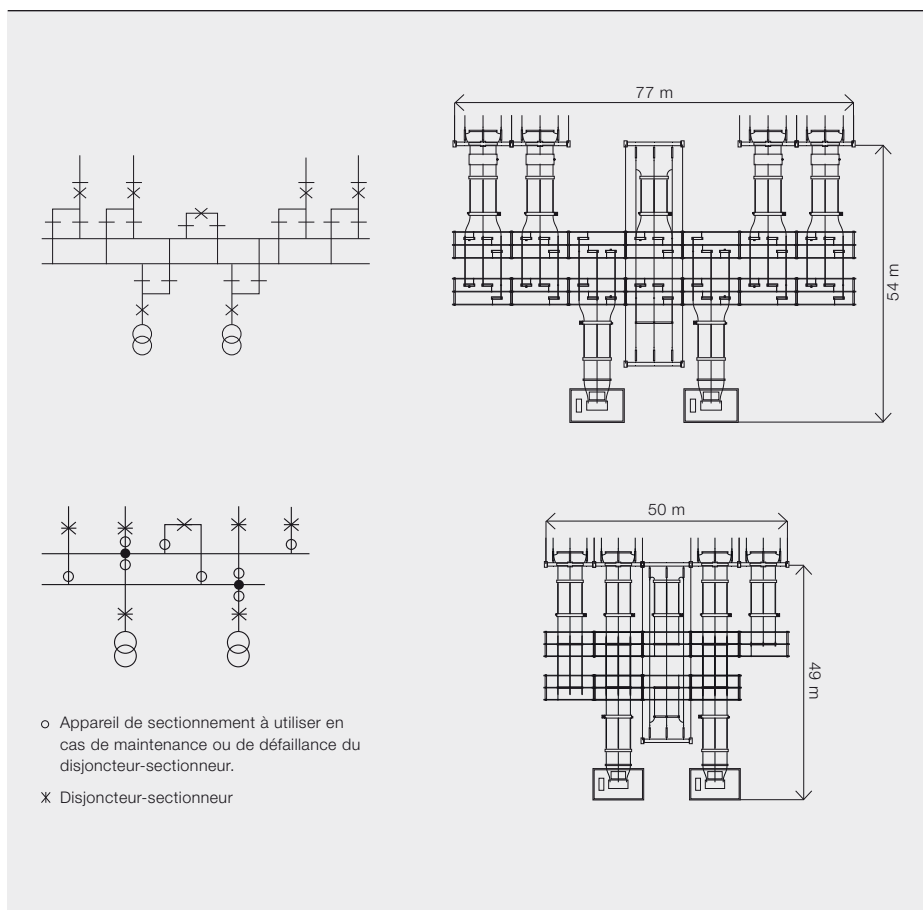
Sur le schéma unifilaire en → 6, un défaut primaire de l'un des éléments du départ, aggravé par la défaillance d'un disjoncteur de cette travée, mettrait hors tension un tronçon de jeu de barres ; une défaillance du disjoncteur de tronçonnement ou de couplage affecterait l'ensemble du poste. Si celui-ci est crucial, le risque de sa perte totale sur défaut primaire pourrait être inacceptable sous l'angle de la sécurité du réseau. Il est possible d'utiliser une configuration à 1½ disjoncteur (→ 8 haut) ou à 2 disjoncteurs

Le disjoncteur-sectionneur réduit la surface au sol de l'appareillage de plus de 40 %.

(→ 8 bas) pour « immuniser » le poste contre les défauts sur le jeu de barres et minimiser les perturbations au cas où un disjoncteur ne s'ouvrirait pas sur un défaut primaire.

La figure → 9 compare le schéma unifilaire et les distances de dégagement d'une solution classique à disjoncteurs et sectionneurs, et d'une solution à DS, pour un poste type de 420 kV à trois lignes aériennes, deux transformateurs de puissance et une inductance shunt. L'utilisation de DS permet de réduire de

6 Schéma unifilaire et agencement des postes classiques 132 kV par rapport à ceux équipés de disjoncteurs-sectionneurs.



près de moitié la surface occupée par l'appareillage extérieur.

La figure → 10 présente les interruptions de service dans une travée d'arrivée ou de départ dues à des défauts de l'appareillage. La fréquence des défaillances est reprise des statistiques d'organismes internationaux comme le CIGRÉ ou le CEA qui collectent les données du maté-

entraîner des coupures d'alimentation que les clients jugent intolérables.

Utilisation des disjoncteurs-sectionneurs

Les DS s'intègrent à la plupart des schémas classiques de poste et remplacent directement l'association disjoncteur/sectionneur. Ils diminuent nettement l'emprise au sol des postes, les besoins

de maintenance et les arrêts pour entretien ou travaux. Bref, ils améliorent la disponibilité, autorisant un schéma unifilaire plus simple avec le même niveau de disponibilité.

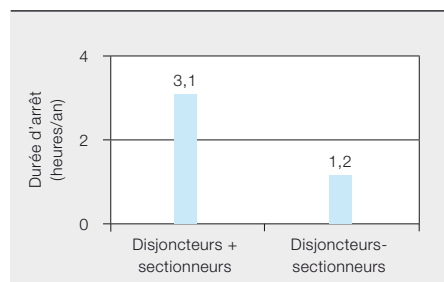
Les DS permettent aussi de réduire le

coût total d'investissement d'un poste (préparation du terrain, fondations, remblayage, etc.), variable d'un cas à l'autre. Les coûts d'exploitation baisseront également, grâce à la réduction des dépenses dues aux arrêts (généralement les plus élevées) et à la maintenance.

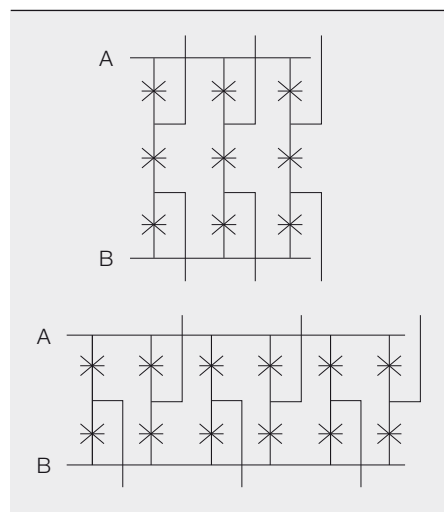
Les disjoncteurs-sectionneurs réduisent la fréquence de maintenance et l'indisponibilité des postes, abaissant significativement leur coût d'investissement.

riel en service. Le DS étant très proche d'un disjoncteur classique, on suppose ces statistiques identiques pour les deux appareils. Il en ressort que l'introduction de DS diminue les temps d'indisponibilité de 50 %. Les défaillances intempestives peuvent être très problématiques et

7 Durée d'arrêt pour maintenance de l'appareillage 132 kV



8 Configurations unifilaires « immunisées » contre les défauts de jeu de barres.



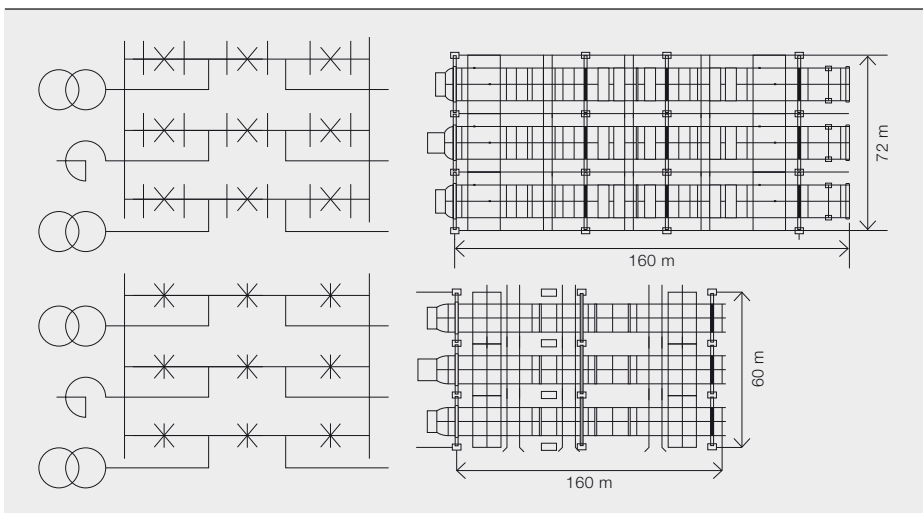
Exemple 1 – Postes de 420 kV en Suède

Svenska Kraftnät (SvK) est le gestionnaire des réseaux de transport suédois 420 kV et 245 kV. Dans les années 1950, le réseau de 420 kV fut le premier au monde à atteindre ce niveau de tension. Aujourd'hui, il compte environ 70 postes électriques, la plupart en bout de course; SvK rénove donc complètement quelque 3 postes par an.

Cette modernisation implique le remplacement de la totalité du matériel primaire et secondaire, avec les avantages technico-économiques suivants :

- Tout l'équipement est du même « millésime », ce qui simplifie les interventions futures ;
- La configuration unifilaire peut s'adapter à l'évolution du matériel haute tension ainsi qu'à celle de l'importance du poste dans le réseau depuis sa construction ;
- Le temps d'arrêt peut être minimisé en utilisant le matériel existant pour assurer le fonctionnement du poste pendant la rénovation ;
- Le personnel de SvK peut se concentrer sur un petit nombre de projets de plus grande ampleur puisqu'il n'aura

9 Schéma unifilaire et agencement des postes classiques 420 kV par rapport aux postes à disjoncteurs-sectionneurs



pas à intervenir sur les postes modernisés pendant de nombreuses années.

Dès la fin des années 1970, il était clair que les sectionneurs à construction ouverte exigeaient beaucoup de maintenance par rapport aux disjoncteurs ; SvK avait d'ailleurs commencé à réduire leur nombre → 11b. Avec l'introduction des DS en 2000, SvK réalisa la première installation dans un poste de 245 kV pour tester le concept. Les premières modernisations de postes 420 kV avec DS ont

Le disjoncteur-sectionneur est équipé d'isolateurs en caoutchouc de silicone.

débuté en 2001 ; depuis, les grands postes vitaux du réseau, en configuration à deux disjoncteurs, sont exclusivement équipés de DS → 11c. La configuration à un jeu de barres est aussi utilisée pour les plus petits postes de 245 kV. SvK enregistre de bons retours d'expérience avec les DS. Le passage d'une solution classique disjoncteur/sectionneur à celle avec DS diminue de près de moitié l'emprise au sol du poste, ce qui est un avantage aussi bien pour les postes neufs que rénovés → 12. Pendant les travaux, l'ancien matériel (rose) et l'ancien jeu de barres (rouge) continuent de fonctionner pendant que le nouveau matériel (vert) – notamment un second jeu de barres –,

est juxtaposé à l'ancien jeu de barres. Le faible encombrement des nouveaux éléments primaires permet de maintenir les trois pylônes existants (bleu) en place, d'où une réduction des coûts, des arrêts et des risques.

Après installation et essais, le nouveau matériel est mis en service. La modernisation du poste aura demandé moins d'une semaine !

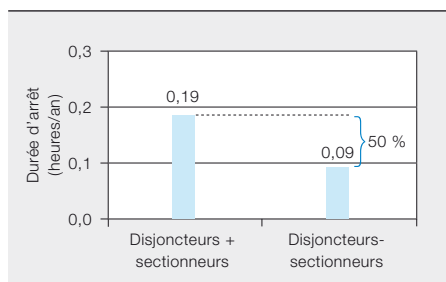
Exemple 2 – Poste de 132 kV à Grytten

Le poste de Grytten, construit vers 1970, appartient au réseau régional du gestionnaire norvégien Statnett. Il présente une architecture classique à double jeu de barres → 5a et → 5b et jeu de barres de transfert → 5c.

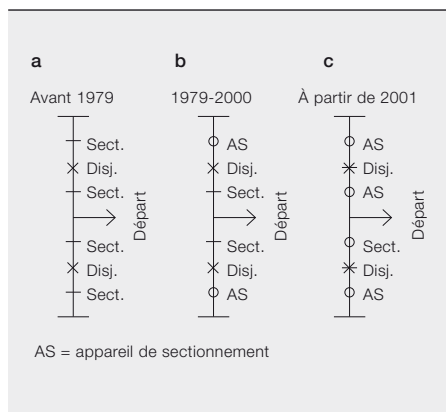
Le grand nombre de sectionneurs du poste compliquait les permutations. De plus, la maintenance des sectionneurs exigeant l'arrêt de portions entières du poste, la capacité de service était périodiquement réduite. Sur le calendrier de maintenance de Statnett, les sectionneurs avaient une durée de vie de 35 ans ; ceux de Grytten devaient donc être remplacés. Statnett en profita pour changer également l'équipement de contrôle-commande du poste.

Pour en simplifier l'agencement, Statnett introduisit des DS à un seul jeu de barres tronçonné. Il s'avéra que le jeu de barres de transfert existant pouvait servir de jeu de barres au nouveau poste : de bonne longueur, il occupait le meilleur emplacement qui soit ; il restait même assez de place pour le disjoncteur de tronçonnement. Le jeu de barres de transfert

10 Durée d'arrêt pour défauts primaires dans l'appareillage 400 kV



11 Évolution de la configuration à 2 disjoncteurs du réseau de transport suédois

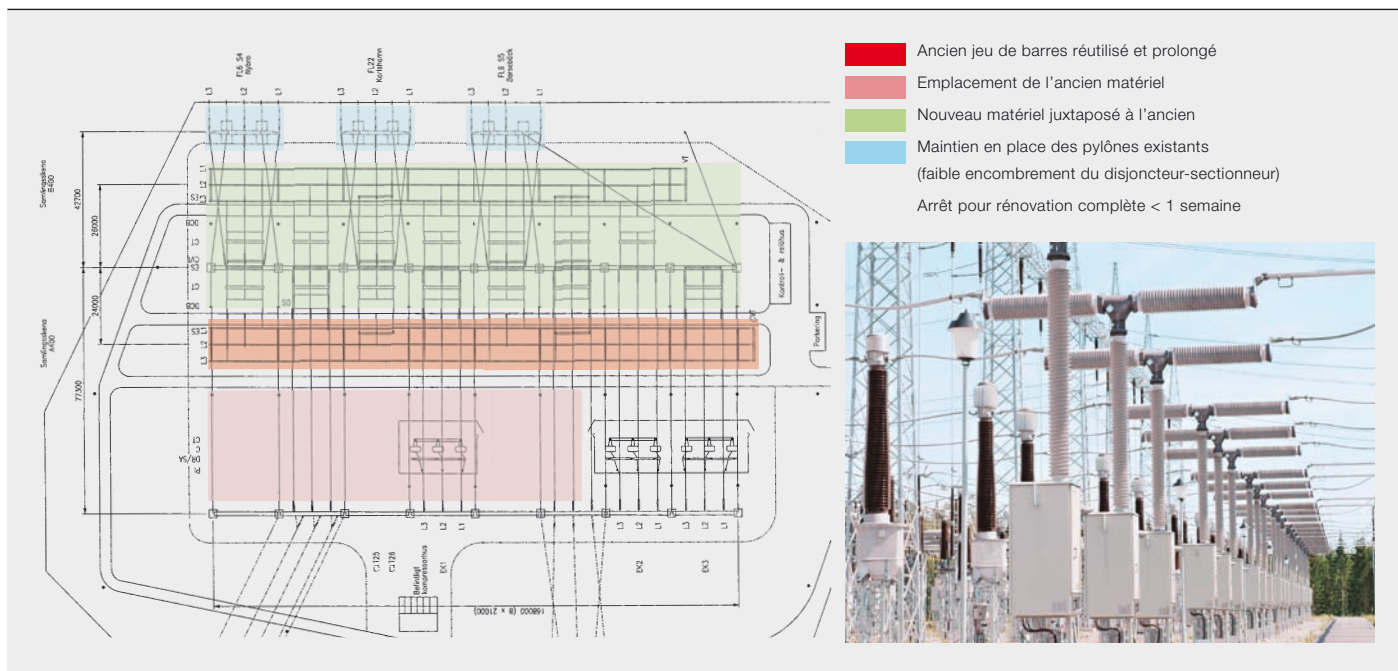


11a Solution avec appareillage traditionnel

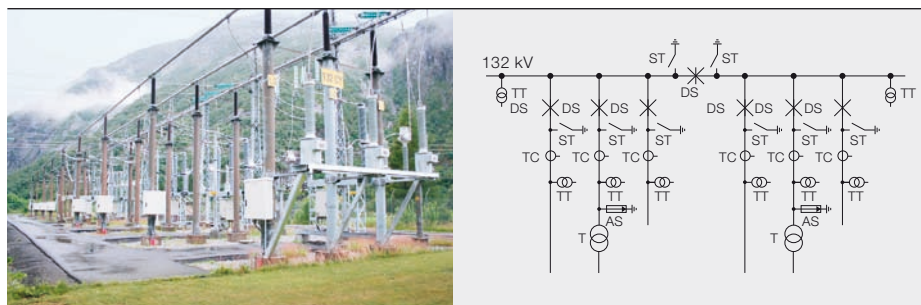
11b Version modifiée : sectionneur de jeu de barres retiré

11c Solution avec disjoncteur-sectionneur

Les contacts principaux des DS étant dans le SF₆ (environnement protégé et non pollué), le sectionnement est extrêmement fiable, d'où une augmentation de l'intervalle de maintenance et une plus grande disponibilité du poste.



13 Le poste de Grytten après rénovation



n'étant utilisé que pendant la maintenance du disjoncteur, son sectionnement du reste du poste n'affectait pas le fonctionnement. Les nouveaux dispositifs furent alors totalement assemblés, le raccordement des lignes et des transformateurs pouvant être planifié de manière à éviter toute interruption de service. La modernisation du poste s'est achevée en 2007.

Hans-Erik Olovsson
 ABB Substations
 Västerås (Suède)
 hans-erik.olvsson@se.abb.com

Carl Ejnar Sölver
Richard Thomas
 ABB Power Products
 Ludvika (Suède)
 carl-ejnar.solver@se.abb.com
 richard.thomas@se.abb.com

Bibliographie

- [1] Wahlström, B., Aoshima, Y., Mino, Y., Lajoie-Mazenc, C., Torgerson, D. R., Zomers, A. N., « The Future Substation: a reflective approach », *Rapport 23-207*, Session CIGRÉ, Paris, 1996.
- [2] Norberg, P., Tapper, M., Lord, W., Engqvist, A., « The Future Substation – Reflection About Design », *Rapport 23-105*, Session CIGRÉ, Paris, 1998.
- [3] Sölver, C.-E., Olovsson, H.-E., Lord, W., Norberg, P., Lundquist, J., « Innovative Substations with High Availability using Switching Modules and Disconnecting Circuit-breakers », *Rapport 23-102*, Session CIGRÉ, Paris, 2000.
- [4] Jing, L., Olovsson, H.-E., Fan, J., Thomas, R., « Small footprint, high performance », *ABB Review Special Report Dancing with the Dragon*, 2008.
- [5] CEI 62271-108, *Disjoncteurs-sectionneurs à courant alternatif à haute tension, de tensions assignées supérieures ou égales à 72,5 kV*, 2005.
- [6] Andersson, P.-O., Olovsson, H.-E., Franzén, B., Lager, U., Lundquist, J., « Applications of disconnecting circuit-breakers », *Rapport A3-201*, Session CIGRÉ, Paris, 2004.

La fiabilité accrue des disjoncteurs est due aux progrès de la coupure primaire : le disjoncteur à air comprimé, à petit volume d'huile ou au SF₆ à double pression a laissé place au SF₆ à simple pression.