Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 79 (1988)

Heft: 19

Artikel: L'appareillage de coupure moyenne tension pour les chemins de fer

Autor: Mancini, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904086

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

L'appareillage de coupure moyenne tension pour les chemins de fer

E. Mancini

L'alimentation en énergie électrique de la ligne de contact des chemins de fer électrifiés s'effectue par l'intermédiaire d'appareils de commutation et de coupure particulièrement performants. L'exposé qui va suivre a pour but de faire connaître ces appareils dont la mission est primordiale.

Für die Stromversorgung der Fahrleitungen von elektrischen Bahnen werden besonders leistungsfähige Schalter benötigt. Im folgenden Aufsatz werden die Anforderungen und Eigenschaften dieser sehr wichtigen Apparate beschrieben.

Adresse de l'auteur:
E. Mancini, Responsable du service des études et développement, Gardy S.A.,
13, rue Marziano-Acacias, 1211 Genève 24.

Introduction

Quelle que soit l'époque et la nature du réseau, pour avoir à la ligne de contact l'énergie électrique nécessaire

- au bon endroit
- au bon moment
- et en quantité suffisante,

il faut mettre en œuvre de l'appareillage électrique moyenne tension étudié et construit pour cet usage.

1. La nécessité d'étudier de l'appareillage électrique moyenne tension «haut de gamme» et à haute fiabilité constitue-t-elle un facteur de progrès pour l'ensemble de l'appareillage électrique?
2. «La qualité», c'est-à-dire l'aptitude à l'emploi de l'appareillage peut-elle être définie à la mise en service?
3. Ne faut-il pas introduire le facteur temps dans la formule qui servira à attribuer un facteur qualitatif à chaque catégorie d'appareil?

Pour répondre à ces trois questions le présent article, en commençant par un bref rappel historique, suivra l'évolution de l'appareillage de commutation et de protection par lequel passe obligatoirement l'énergie nécessaire à la bonne marche des convois.

Rappel historique, généralités

C'est dans les années 20 de ce siècle que la traction électrique à courant monophasé à fait son apparition en Suisse dans la forme que nous lui connaissons aujourd'hui; dans les grandes lignes, une tension contre terre de 15 kV à la ligne de contact et une fréquence égale au tiers de celle des réseaux de distribution c'est-à-dire 16,66 Hz.

Il y a donc plus de 60 ans que c'est sous 15 kV et 16⅔ Hz que les convois ferroviaires circulent en Suisse tant aux Chemins de Fer Fédéraux que dans les entreprises de transport privées, l'énergie transitant par les nombreux appareils de commutation et de protection qui constituent les sous-stations et les postes de sectionnement.

Après la Suisse d'autres pays adoptèrent la même tension et la même fréquence, citons les principaux: l'Allemagne, l'Autriche, la Suède, la Norvège, l'Allemagne de l'Est...

Plus près de nous, après la seconde guerre mondiale, la Société Nationale des Chemins de Fer Français introduisit en Haute-Savoie, la traction électrique à 20 kV et à la fréquence de 50 Hz, par la suite normalisée à 25 kV, 50 Hz.

Le procédé a essaimé dans le monde entier et de tels réseaux se rencontrent en Angleterre, en Corée, à Taiwan, en Turquie, en Yougoslavie, au Zaïre, en Afrique du Sud, au Japon et en France où la dernière réalisation du genre est la ligne du TGV.

Deux types de réseau demandent-ils deux types d'appareillages différents? La réponse à la question apparaîtra à la fin de l'exposé.

Quel que soit le type de réseau, la constante prioritaire est la continuité de l'exploitation dans n'importe quelle situation, aussi imprévisible soit-elle. Pour cela l'exploitant doit disposer de moyens sûrs et rapides d'intervention. Il les trouve dans l'appareillage de commutation et de protection des installations: ce sont les connecteurs et déconnecteurs de courant.

L'usage ou le vocabulaire spécialisé caractérise ceux-ci par une sorte de qualification à racine négative telle que *interrupteur, disjoncteur, sectionneur;* alors que, par définition ces appareils ont pour mission prioritaire de transporter de l'énergie électrique et non de l'interrompre.

L'interruption volontaire pour décharger ou éliminer un défaut sur une ligne est un cas particulier surtout pour les disjoncteurs qui sont des appareils dont personne ne veut mais dont tout le monde a besoin.

Description de l'appareillage

L'appareillage de coupure se répartit en trois catégories principales:

- Les *sectionneurs* et *interrupteurs à cornes* équipés ou non de transformateurs d'intensité. Leur fonction est de transporter les charges et de résister aux sollicitations dues aux court-circuit. Toutefois, ce sont leurs caractéristiques d'isolement qui représentent le facteur primordial de sécurité (fig. 1).
- Les *interrupteurs* qui, comme les sectionneurs et les interrupteurs à cornes, transportent les charges et résistent aux sollicitations thermiques, avec en plus la faculté d'interrompre les charges de tous niveaux d'intensité qui peuvent se présenter à la ligne de contact (fig. 2).
- Les *disjoncteurs* dont la mission englobe toutes les situations énergétiques, normales ou anormales, que ce soit au niveau des charges, des court-circuit, du transport des charges ou de l'isolement (fig. 3).

Pour réaliser toutes ces fonctions, les trois catégories d'appareils doivent avoir

- une capacité thermique importante,
- une fiabilité mécanique et électrique à toute épreuve,
- une isolation variant peu dans le temps,
- une grande facilité d'installation,
- un besoin d'entretien très limité,
- une conception avec une très grande marge de sécurité.

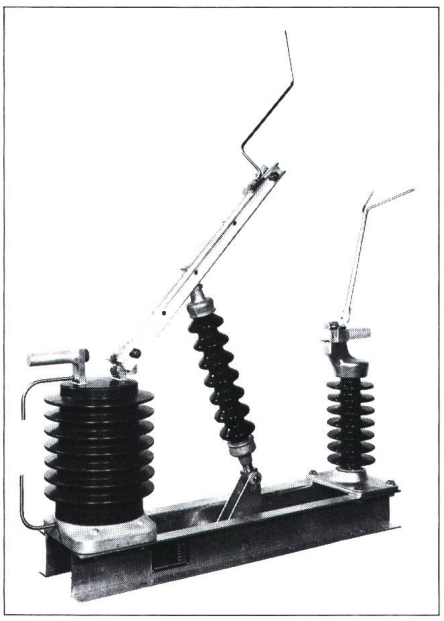

Figure 1 Interrupteur à cornes unipolaire 36 kV, 1600 A avec transformateur d'intensité

Citons un exemple: En 1930, la consommation aux CFF était de 500 Mio kWh, en 1950 de 1000 Mio kWh et en 1970 de 1900 Mio kWh. L'énergie transportée par l'appareillage a donc doublé à peu près tous les 20 ans. Si l'on songe que la durée de vie d'un disjoncteur ou d'un interrupteur est prévue pour 40 ans, c'était le même appareil qui assurait le service en 1930 et en 1970 [1].

A première vue il semble donc que la capacité thermique des appareils soit la caractéristique prioritaire à considérer lors de leur conception et des essais. Pourtant l'expérience montre que la priorité est ailleurs: plus particulièrement du côté de l'isolement contre terre. Les facteurs qui affectent la qualité de la résistivité superficielle des isolants utilisés dans l'appareillage pour les chemins de fer sont les suivants:

- en priorité la poussière métallique venant des sabots de frein et soulevée lors du passage à grande vitesse des convois.
- les dépôts de sel en bordure de mer ou le ciment présent au voisinage des cimenteries.
- les dépôts de résidus d'hydrocarbures dans les cas ou les engins de traction sont en partie «vapeur» ou «diesel».
- les importantes variations de la pollution atmosphérique dans les régions fortement industrialisées.

C'est peut-être dans ce dernier point que se trouvent réunis les éléments qui affectent le plus les qualités isolantes des appareils installés.

60 ans d'expérience avec la porcelaine vitrifiée permettent de conclure que celle-ci est un matériau isolant capable de résister à très long terme à de pareilles sollicitations dans la grande majorité des cas. Les matériaux autres que la porcelaine ont subi juste assez d'années d'expérimentation pour que l'on puisse tirer des conclusions sur leur comportement. Les résultats semblent devoir être traités sur des bases différentes compte tenu de la nature même des matériaux utilisés.

En fait, les capacités thermiques et isolantes sont indissociables. Il faut y ajouter la capacité d'interruption de l'appareil considéré selon sa fonction dans le réseau. Pour qualifier la capacité d'interruption il faut, là aussi, associer trois éléments importants:

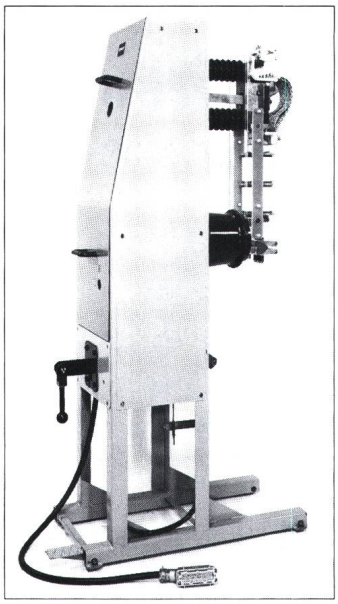

Figure 2 Interrupteur unipolaire débrochable à coupure sous vide 24 kV, 1600 A avec transformateur d'intensité

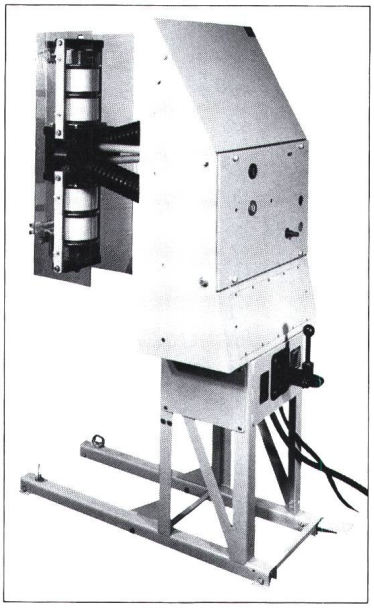

Figure 3 Disjoncteur unipolaire débrochable à coupure sous vide, 36 kV, 1600 A, 500 MVA

- le pouvoir de coupure nominal,
- le nombre de fois que ce pouvoir de coupure peut être mis en œuvre,
- le nombre de coupures à intensité de court-circuit, réduit par exemple à 50% du pouvoir de coupure nominal.

Pour les interrupteurs à cornes, il ne s'agit que de quelques ampères et l'usure des cornes est facile à repérer. Pour les interrupteurs, l'interruption des charges voire des surcharges peut

être évaluée sur la base d'essais en comparaison avec des valeurs statistiques relevées dans le réseau. Pour les disjoncteurs, la sollicitation en capacité d'interruption est basée sur la fréquence des défauts survenant pendant une période donnée, par exemple une année, dans un réseau aérien rigidement mis à la terre.

Prenons, par exemple, le cas des trois arrondissements des CFF pendant l'année 1987. L'ensemble des dérangements, c'est-à-dire des événements ayant entraîné le fonctionnement d'un disjoncteur, représente 1170 cas, dont 353 en juin, juillet et août (fig. 4). Par comparaison, la même statistique relevée sur une période allant de 1976 à 1987 représente 11 925 dérangements [2] dûs principalement aux éléments naturels, aux défauts dans les installations, aux défauts sur véhicules et aux causes inconnues, celles-ci représentant la majorité des dérangements (fig. 5).

Il est donc raisonnable de considérer le chiffre de 1200 interventions annuelles pour l'ensemble des disjoncteurs protégeant la ligne de contact des CFF comme une valeur de base pouvant servir lors de la conception des disjoncteurs, tant pour le choix de l'endurance mécanique que pour celui de la technologie de coupure et son endurance.

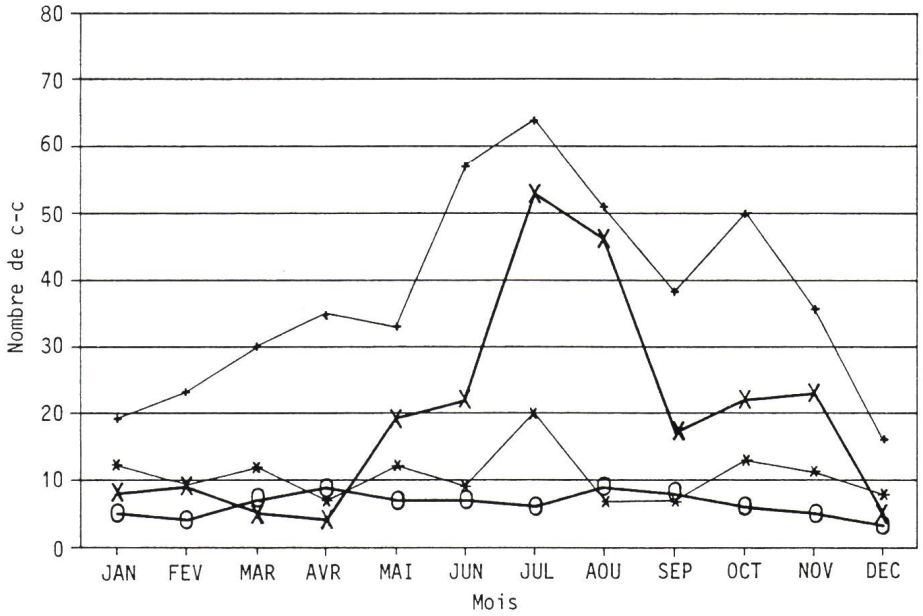

Figure 4 Nombre de dérangements aux lignes caténaires des CFF en 1987

+ Causes inconnues
X Eléments naturels
* Défauts sur véhicules
O Défauts dans les installations caténaires

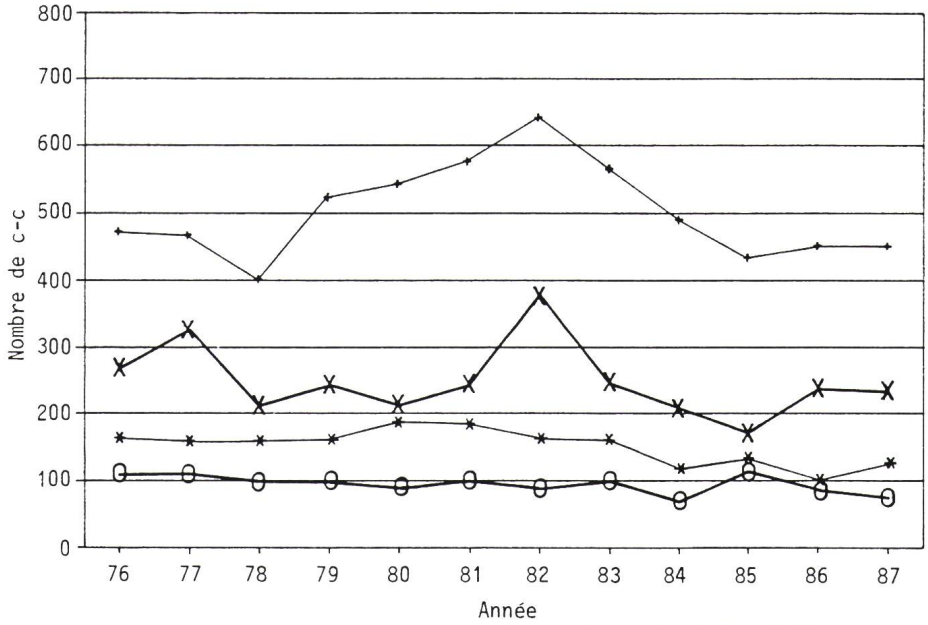

Figure 5 Nombre de dérangements aux lignes caténaires des CFF de 1976 à 1987

+ Causes inconnues
X Eléments naturels
* Défauts sur véhicules
O Défauts dans les installations caténaires

Moyens d'interruption

Pour la plupart des réseaux de 16⅔ ou 50 Hz les interrupteurs et les disjoncteurs moyenne tension sont de l'une des quatre techniques suivantes:

à faible volume d'huile, à air comprimé, à hexafluorure de soufre (SF_6) ou à vide.

Le faible volume d'huile et l'air comprimé sont en activité depuis plus de 30 ans; l'hexafluorure de soufre est apparu vers 1960; la technologie du vide est entrée dans les réseaux des chemins de fer dès 1972.

Dans l'ensemble chacun des principes de coupure est à même de maîtriser les courants de court-circuit les plus élevés pouvant apparaître dans les réseaux 16⅔ ou 50 Hz. Ce qui les distingue principalement, c'est l'endurance à la coupure.

Indéniablement, c'est la coupure sous vide qui, aujourd'hui, permet le plus grand nombre de coupures sans intervention parce que c'est le procédé de coupure qui a la plus faible tension d'arc. Il en résulte une réduction importante des travaux de révision et d'entretien d'où une gestion plus facile et une rentabilité meilleure du matériel installé.

Type de postes ou installations

Dans les réseaux 25 kV, 50 Hz, le schéma type de la distribution peut être de deux modèles:

1. Des disjoncteurs dans les sous-stations et des sectionneurs pour l'isolement des tronçons en cas de besoin. C'est le schéma anglais des British Railways (BR) avec du matériel du type «disjoncteur à coupure sous vide» [3].

2. Des disjoncteurs, des interrupteurs et des sectionneurs dans les sous-stations; des interrupteurs et des sec-

tionneurs dans les postes de sectionnement. C'est le schéma français de la Société nationale des chemins de fer (SNCF), avec du matériel de type extérieur à coupure dans le SF_6.

L'appareillage est généralement prévu pour un courant nominal de 1200 A, un pouvoir de coupure de 13 000 A et un isolement de 190 kV onde de foudre. Les installations comportent, selon les pays, des interrupteurs et des disjoncteurs à coupure sous vide ou de disjoncteurs à coupure dans le SF_6 encadrés par des interrupteurs à vide (fig. 6).

Dans les réseaux 15 kV, 16⅔ Hz, il existe également deux types d'installations: intérieur et extérieur. Sur le réseau des CFF, on les trouve les deux: d'une part les installations du type «intérieur» 24 kV, équipées d'interrupteurs et de disjoncteurs de couplage débrochables, à coupure sous vide principalement dans les postes de sectionnement, ceci ayant pour but de mettre l'ensemble de l'appareillage, moyenne et basse tension à l'abri des intempéries et de réduire au maximum les éléments en série par lesquels passe l'énergie électrique; d'autre part les installations du type «extérieur» dans lesquelles l'appareillage doit être conçu pour supporter les variations climatiques qui peuvent, dans certains cas, être très contraignantes. On y trouve des disjoncteurs, des interrupteurs et des sectionneurs 36 kV répartis dans les sous-stations et les postes de sectionnement.

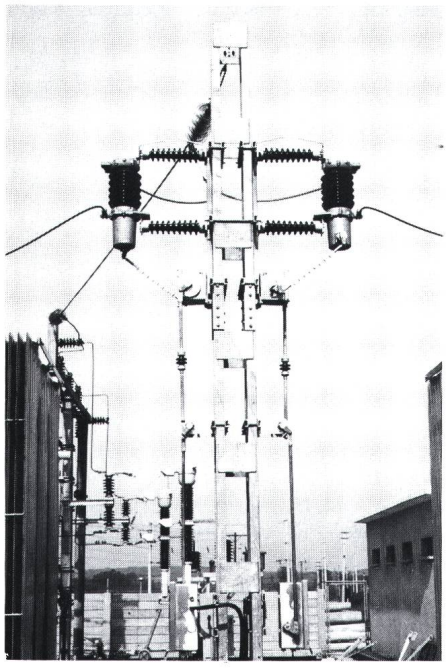

Figure 6 Interrupteur à coupure sous vide 25 kV, 800 A, pour l'extérieur

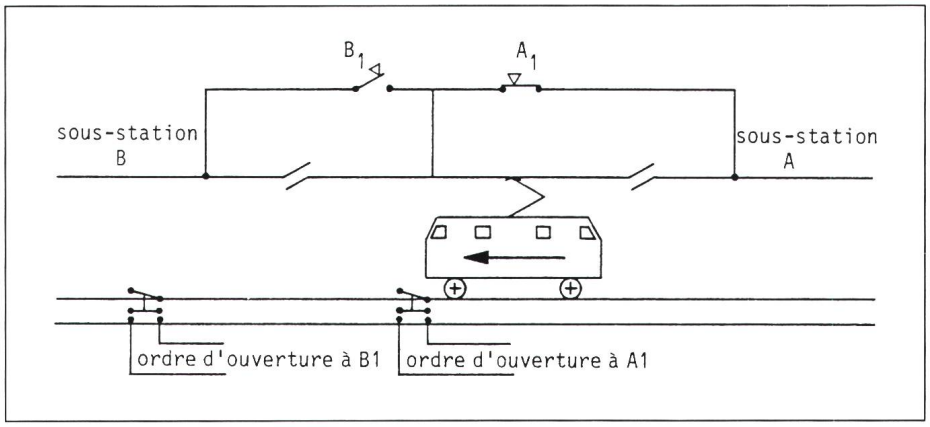

Figure 7 Commutation rapide des tronçons neutres en discordance de phases

A 1 donne ordre de fermeture à B 1
B 1 donne ordre de fermeture à A 1

Réalisé en 1968 par interrupteurs à coupure sous vide.
Endurance mécanique et électrique 500 000 cycles.

Fiabilité de l'appareillage

Par définition les prescriptions sont sévères parce que les conditions d'exploitation sont soumises à celles imposées par les exigences rigoureuses d'horaires cadencés, de relations internationales ferroviaires ou aériennes.

Un convoi immobilisé sur une voie par défaut d'énergie à la ligne de contact est rapidement source de perturbations généralisées dans l'ensemble du réseau. Pourtant la panne peut être le résultat d'une simple impossibilité d'enclenchement d'un disjoncteur, maillon d'une chaîne d'éléments en série à fiabilités évaluée lors d'essais. Faudrait-il dans un tel contexte avoir recours à la redondance de réserve au lieu de la redondance active? Les schémas des installations sont déjà en grandes parties conçus pour agir de façon redondante, mais il n'en demeure pas moins vrai que le coût d'un système redondant est parfois inacceptable et n'élimine pas tous les défauts. Il n'est pas non plus concevable d'installer des appareils sans en connaître les limites définies dans un contexte d'essais à caractéristiques connues et sur un nombre d'appareils d'échantillons prototypes ou de présérie.

A titre d'exemple, voyons ce que donne le calcul si l'on considère une centaine d'éléments statistiquement connus par des essais de type et qui auraient les caractéristiques suivantes: Si 99 des éléments ont une fiabilité de 0,995 et le dernier n'a qu'une fiabilité de 0,90, la fiabilité de la chaîne d'éléments sera de 0,55.

En gros on a donc une chance sur deux de défaillir. Si tous les éléments avaient une fiabilité de 0,995, la fiabilité d'ensemble ne serait que de 0,605. En mettant en parallèle ces deux mauvaises chaînes, on arriverait à une fiabilité de 0,823, ce qui est encore loin du compte.

Dans un calcul élémentaire de ce type n'interviennent pas les fluctuations ou variations de fiabilité dues aux éléments extérieurs non contrôlables [5].

Coupure sous vide

Née aux U.S.A. vers 1961, la technique de la coupure sous vide fut rapidement adoptée par les Japonnais qui l'utilisèrent pour la toute nouvelle ligne du Tokaïdo dans le franchissement des zones neutres. L'expérience fut, semble-t-il, concluante puisque, en 1966, la SNCF confia à Gardy S.A. à Genève, l'étude d'un interrupteur à vide à haute endurance mécanique et électrique destiné à améliorer le franchissement des tronçons neutres du réseau SNCF sans intervention du conducteur de la locomotive (fig. 7).

En 1968 furent installés les premiers prototypes d'un interrupteur 25 kV, 400 A à coupure sous vide dont la caractéristique principale était de faire plus de 500 000 coupures de 400 A et dont l'endurance mécanique dépassait

de loin le million de cycles. C'était une première en matière d'appareillage 25 kV pour les chemins de fer européens.

C'est sur la base de cette récente expérience qu'en 1971 les spécialistes de Gardy en parlèrent aux ingénieurs responsables des sous-stations et des postes de sectionnement des CFF; l'intérêt manifesté pour la nouveauté les incita à entreprendre l'étude d'un interrupteur de section 24 kV, 1600 A pour les postes de sectionnement du type «intérieur» et les sous-stations mobiles (fig. 2).

Des essais à la PEHLA[1] et aux CFF en collaboration avec l'ASE, permirent de mettre en service, en septembre 1974, les premiers interrupteurs à coupure sous vide dans les installations des CFF. Aujourd'hui, ils sont environ 800 à participer à l'alimentation de la ligne de contact.

Les nombreux essais effectués entretemps avec les chambres de coupure sous vide eurent pour résultat l'étude d'un disjoncteur à coupure sous vide d'une puissance de 500 MVA à 15 kV, 16⅔ Hz, le premier exemplaire fut installé en 1982 dans la gare de Thörishaus.

Entre-temps d'autres réseaux se sont équipés de disjoncteurs à coupure sous vide en 15 et 25 kV. La notion d'économie en matière de maintenance faisait son chemin dans les esprits des responsables des réseaux de chemins de fer à courants monophasés [6].

Perspectives d'avenir

Les exigences en matière de transport par voies ferroviaires deviendront de plus en plus sévères au fur et à mesure de l'évolution des besoins; ceci impliquera un acroissement des performances et la nécessité d'augmenter encore le niveau de fiabilité du matériel. S'il est impératif de bien connaître le matériel, il est tout aussi important de connaître son interaction avec le réseau dans lequel il est installé.

Dans le cadre de la collaboration Industries - Hautes Ecoles, un programme de recherche est en cours à l'EPFL pour permettre une meilleure connaissance des phénomènes se présentant lors de la commutation de l'énergie électrique à grande puissance à l'aide de disjoncteurs à coupure sous vide. On peut penser que cette technologie de coupure qui a un peu plus de 20 ans permettra d'accroître encore les performances et la fiabilité des appareils de coupure nécessaires pour la commutation de l'énergie et la protection des installations.

Conclusions

L'appareillage électrique pour les chemins de fer à courant monophasé peut être considéré comme devant être particulièrement performant et fiable dans le temps pour remplir sa mission en toute sécurité. Autrement dit, toute nouvelle installation ou nouvelle technologie mise en service doit être aussi sûre que les installations ou technologie actuellement en service [4].

La fonction de l'appareillage, en matière de sécurité et de fiabilité n'est pas moindre que celle attribuée aux aiguillages, à la signalisation ou aux installations de sécurité; elle est différente dans les moyens mis en œuvre, elle est identique prise dans l'ensemble du contexte ferroviaire. Il n'en reste pas moins vrai que dans le compromis qualité-coût il existe la nécessité de cerner le problème par un certain nombre de jalons qui sont:

- la conformité au cahier des charges,
- une fiabilité basée sur les éléments connus dans les limites définies,
- une longévité à performances constantes,
- une remise en état et un remplacement aisé.

Aux trois questions posées en début d'exposé, on répondra oui à la première, non à la seconde et oui à la troisième. On aura ainsi contribué à l'amélioration de la Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement (MTBF) de l'appareillage électrique en général et de celui des chemins de fer en particulier.

La qualité d'un produit ne se *contrôle* pas, elle se *conçoit*. Elle dépend et dépendra encore dans l'avenir des facultés créatrices des concepteurs dont l'intuition sera soumise à rude épreuve compte tenu de l'évolution rapide des techniques et les fluctuations des marchés. Normes, ordonnances et prescriptions n'auront de valeurs que s'il existe une étroite collaboration entre le fournisseur et l'utilisateur. C'est là surtout que le courant doit passer.

[1] Prüffeld Elektrischer Hochleistungs-Anlagen, Kassel (BRD)

Bibliographie

[1] *H. Ryhen:* L'évolution de l'appareillage de distribution du courant électrique sur le réseau ferroviaire du 1er arrondissement des CFF. Bull. Techn. Suisse Rom. 99(1973)4, p. 49...55.

[2] *H. Ryhen, B. Furrer* et *E. Wagner:* La maintenance des lignes de contact aux CFF. Bull. ASE/UCS 78(1987)5, p. 245...250.

[3] Vacuum circuit-breaker for 25 kV trackside supply. GEC Switchgear Limited Electrical Review, 13 april 1973.

[4] *O. Weber:* Philosophie et pratique des installations de sécurité ferroviaires. Rev. Gén. Electr. 90(1981)4, p. 273...288.

[5] *P. Ailleret:* Les aspects économiques de la qualité des produits, de son contrôle et de sa certification. Rev. Gén. Electr. 84(1975)12, p. 897...905.

[6] *J. N. Laurenceau:* Evolution des sous-stations et postes de voie monophasés. Rev. Gén. Chemins de Fer. 95(1976)3, p. 177...185.