Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 95 (2004)
Heft: 15

Artikel: Gestion d'un parc de transformateurs vieillissant
Autor: Boss, Pierre / Peter, Christian / Tetu, Stéphane
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857959

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: 12.07.2025

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

Gestion d'un parc de transformateurs vieillissant

Un processus pour augmenter la rentabilité des réseaux électriques

Le processus TRES (Transformer Retrofit and Engineering Support) vise à prolonger la durée de vie des transformateurs et à optimiser leurs performances par une disponibilité accrue. S'appuyant sur une évaluation fiable de la durée de vie restante, les utilisateurs peuvent planifier au mieux les interventions de maintenance sur ces appareils et ainsi maximiser leur rentabilité.[1)]

Rentabiliser au maximum les matériels installés fait partie du quotidien des exploitants de réseaux électriques et des industriels. La dérégulation des marchés de l'électricité et le besoin croissant d'abaisser les coûts obligent les entreprises à une quête permanente de réduction du coût global de leurs parcs installés et d'amélioration de leur retour sur investissement. Ce constat est particulièrement vrai dans le cas des transformateurs de puissance. En effet, une grande partie du parc mondial installé approche de la fin de sa durée de vie théorique et il est urgent de maintenir ses performances en améliorant sa disponibilité. Cette optimisation doit se faire au coût le plus faible possible et avec un impact minimal sur l'environnement. C'est dans cette optique qu'ABB a développé son offre de services TRES (Transformer Retrofit and Engineering Support), proposant des solutions dédiées à l'optimisation opérationnelle des transformateurs de puissance tout au long de leur durée de vie.

Pierre Boss, Christian Peter, Stéphane Tetu, Christian Ebert

Défaillances coûteuses

Les transformateurs de puissance sont souvent installés en des points stratégiques des réseaux électriques: l'incidence financière d'une défaillance peut aisément être très supérieure à leur propre valeur.

La plupart des pays ont une législation très stricte en matière de distribution et de régulation de l'énergie électrique, avec des pénalités en cas de non fourniture d'énergie qui peuvent atteindre jusqu'à cent fois le coût de l'électricité elle-même. Pour un industriel, les coupures de courant liées à la défaillance d'un transformateur lui coûtent très cher; les arrêts intempestifs des lignes de production peuvent lui être fatales. Il a, par conséquent, tout intérêt à maintenir un haut niveau de fiabilité et de disponibilité de ces équipements essentiels.

Pour prendre en compte tous ces aspects, qui couvrent l'exploitation, la maintenance et les investissements, il est clair que les gestionnaires de matériels ont besoin d'outils spécifiques d'aide à la décision, tant pour leurs choix stratégiques que pour leur travail au quotidien.

Le vrai défi consiste à agir efficacement au moment opportun. Dans ce contexte, une tendance se dégage nettement: l'évolution d'une politique de maintenance à échéance fixe vers une maintenance conditionnelle, voire une maintenance prenant en compte des critères de fiabilité, où les décisions ne sont plus basées sur un calendrier établi à partir d'observations et du retour d'expérience, mais plutôt sur l'état de santé réel de l'équipement et le niveau de fiabilité requis pour remplir sa mission.

Cette démarche se justifie d'autant plus que les utilisateurs de transformateurs sollicitent plus que jamais leur parc vieillissant. Sachant que, dans la plupart des pays, l'âge moyen des transformateurs de puissance et des transformateurs industriels se situe, respectivement, autour de 25 à 30 et 15 à 20 ans, des mesures doivent de toute évidence être prises pour garantir leur fiabilité et leur fonctionnalité. Ce constat est étayé par les projections d'une société d'assurance américaine selon lesquelles le taux moyen de défaillance et de remplacement des transformateurs de réseaux, actuellement de l'ordre de 1% par an, sera multiplié par cinq au cours des 15 prochaines années [1]. Les chiffres pour les transformateurs industriels ont tendance à être encore plus élevés du fait des applications spécifiques et des cycles de charge particuliers.

ABB a développé son offre de services TRES pour aider les exploitants de transformateurs à améliorer leurs stratégies de gestion des matériels installés en s'appuyant sur un bilan précis de l'état des équipements et des analyses prédictives, ainsi que sur des concepts avancés de maintenance et de mise à niveau technique. Outre le fait de rallonger la durée de vie des transformateurs, les solutions incluent le déplacement vers un autre site ou la dépose d'appareils avant leurs défaillances, afin d'éviter les coupures de courant et les arrêts de production impromptus qu'ils provoquent.

Prises de décision claires

ABB suit de très près l'évolution du marché et a entrepris il y a cinq ans de développer une méthodologie d'évaluation, sur site, de l'état des transformateurs, appareils individuels ou parcs complets, si possible sans avoir à les décuver [2]. Cette méthodologie exploite les connaissances acquises par ABB au cours des cinquante dernières années en intégrant le retour expérience sur plus de dix marques différentes.

La modularité des solutions TRES permet d'adapter le niveau de diagnostic aux besoins spécifiques du client et à son budget. Les diagnostics peuvent être réalisés progressivement, commençant par le classement d'une population donnée (niveau 1), pour passer ensuite à un bilan standard (niveau 2) et, pour finir, à un bilan poussé et hautement sélectif (niveau 3) [3].

Niveau 1: classement d'une population

L'état de santé des parcs de taille importante (100 appareils ou plus) est évalué à partir de données aisément dispo-

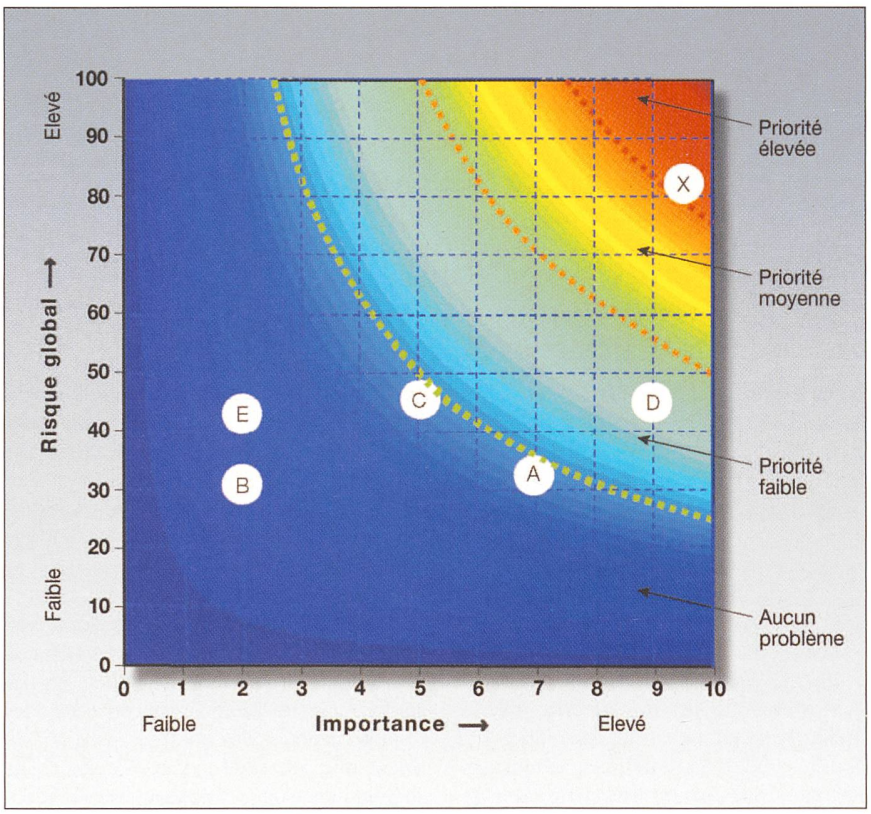

Figure 1 Répartition de la population de transformateurs

Pour les transformateurs A, B, C et E, il n'y a pas de mesures à prendre. Pour les transformateurs D et X, on prendra en priorité des mesures sur le transformateur X.

nibles telles que type d'application, durée de fonctionnement, analyse de gaz dissous dans l'huile, facteur de puissance, historique de maintenance et événements majeurs ou expérience avec des appareils similaires.

L'objectif est ici d'établir un classement général de la population sur la base de critères techniques et économiques, d'identifier les groupes d'appareils nécessitant un bilan approfondi (niveau 2) ou des interventions de maintenance de base. Les résultats sont schématisés sur la figure 1.

Ce classement fournit également des informations essentielles pour établir un budget estimatif des futures interventions de maintenance ou le remplacement d'entités et identifier les appareils prioritaires.

Les dépenses budgetées de maintenance peuvent alors être mieux réparties et optimisées.

Niveau 2: bilan standard

Pour ce bilan de niveau 2, seule une partie des appareils du bilan de niveau 1 est retenue. Il réutilise les informations de base collectées précédemment et en recueille d'autres (p. ex., revues de conception, rapports de visite sur site, données de diagnostic, données de surveillance provenant de systèmes de monitoring), lorsqu'elles sont disponibles. Le niveau 2 est beaucoup plus structuré, permettant d'évaluer séparément les propriétés essentielles que sont: les caractéristiques générales, mécaniques, thermiques, électriques du transformateur ainsi que l'état des accessoires (figure 2).

Le niveau 2 fournit des informations importantes sur l'état et l'adéquation des appareils du point de vue de chacune de ces propriétés. Les interventions de maintenance, les réparations ou les remises à niveau indispensables pour garantir la fiabilité maximale des appareils en fonction de leurs régimes de fonctionnement respectifs peuvent alors être définies.

La méthode permet ainsi de réduire les coûts de maintenance car les interventions sont limitées à certains composants et réalisées uniquement lorsqu'elles s'imposent. Si, par exemple, l'état effectif d'un transformateur âgé lui permet de supporter les surcharges mais pas les courts-circuits, les interventions s'attacheront à améliorer la rigidité et le serrage des enroulements.

Niveau 3: bilan avancé

Le nombre d'appareils est encore réduit pour le bilan de niveau 3. Sur la base cette fois-ci des informations collectées aux niveaux 1 et 2, ce bilan comporte des calculs avancés et des simulations ou une analyse des causes de défaillance. Des spécialistes interviennent sur site pour analyser dans le détail les conditions d'exploitation et l'historique des équipements, et étudier la conception d'origine en utilisant les outils logiciels les plus modernes. Des essais avancés sont également effectués pour déterminer un éventail complet de caractéristiques, notamment:

- analyse de l'huile, des gaz dissous, et des composés furaniques
- analyse de la réponse en fréquence
- mesures diélectriques
- décharges partielles.

Le niveau 3 donne un bilan de santé précis de chaque appareil et fournit des informations objectives pour des décisions justifiées (p. ex., faut-il mettre à niveau un appareil ou l'utiliser pour une autre application?). Il est également utile à des fins de spécifications techniques (capacité de surcharge, etc.) ou d'expertise après défaillance d'un appareil.

Un bilan avancé de ce type fournit des informations précises et fiables, même dans les cas complexes, permettant une décision rapide et efficace. Ainsi, par exemple, il permet aux exploitants de décider, sans déplacer l'appareil, s'il doit ou non être mis à niveau, réparé ou mis au rebut, avec à la clé la maîtrise des coûts et des délais.

L'estimation de la durée de vie

L'évaluation d'état est aujourd'hui utilisée par certaines sociétés d'assurance pour élaborer de nouveaux contrats ou définir des moyens pour réduire les risques opérationnels. Le concept ABB d'évaluation d'état peut contribuer à développer une nouvelle relation «gagnant-gagnant» entre les sociétés d'assurance et les assurés.

Le bilan à trois niveaux décrit est une solution économique pour évaluer un parc de transformateurs sur la base de différents types d'informations. L'état du matériel étant défini, chaque propriété peut alors être comparée aux contraintes d'exploitation actuelles ou futures pour définir le niveau de fonctionnalités ainsi que le risque associé à la durée d'exploitation désirée pour chaque transformateur du réseau électrique considéré.

Une fois l'état de santé d'un appareil connu, des conseils pour préserver ou améliorer ses performances dans le but de remplir sa fonction peuvent être émis. Il est alors possible de dresser une liste de priorités, détaillant les mesures à prendre pour des transformateurs spécifiques.

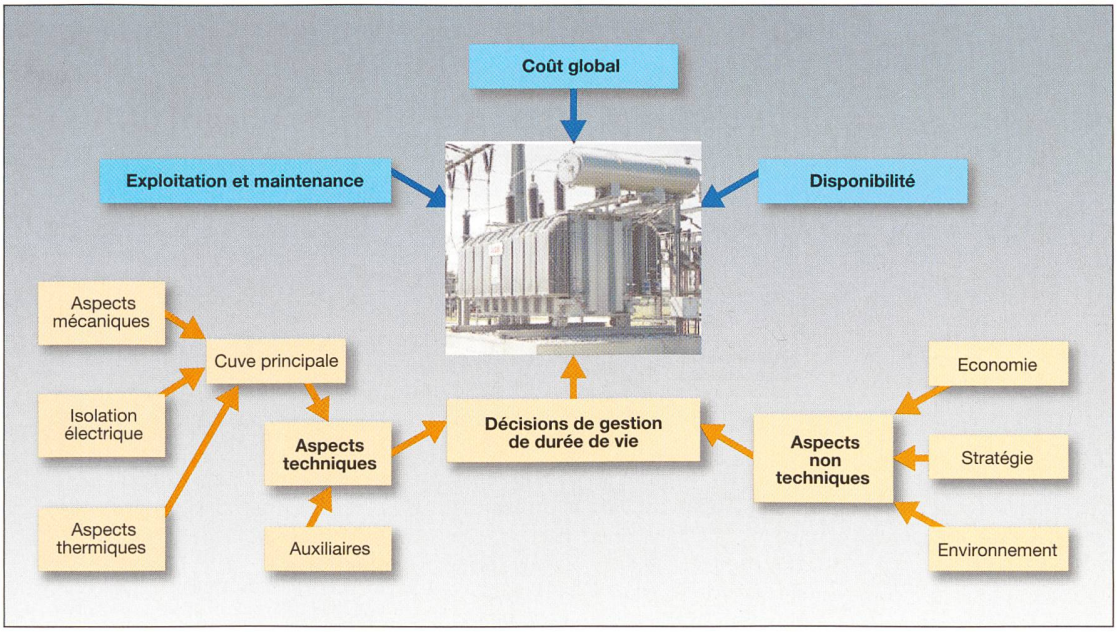

Figure 2 Critères et méthodes d'évaluation de l'état des transformateurs

Celles-ci peuvent aller d'interventions de maintenance mineures (traitement de l'huile, etc.) jusqu'à une révision complète, des réparations, la mise à niveau ou le déplacement, voire la mise au rebut et le remplacement.

Services basés sur l'évaluation de la durée de vie

ABB propose une gamme de services conçus pour garantir la continuité de service du parc transformateurs installé d'un client, sur la base de son état réel. Dans la mesure du possible, des équipes locales de spécialistes ABB interviennent directement sur site (figure 3). Ces services sont décrits brièvement ci-dessous.

Entretien courant

Un facteur important contribuant à la sécurité et aux performances opérationnelles des transformateurs est l'entretien courant, généralement réalisé par des équipes de maintenance locales, car il n'exige que des connaissances de base des transformateurs dont seules les parties externes sont vérifiées. En général, il s'agit de contrôles visuels portant principalement sur l'état du dissicateur, l'absence de fuite d'huile, le degré de propreté des traversées, de même qu'une vérification du système de réfrigération, des pompes, des moteurs et des accessoires.

Maintenance avancée

La fiabilité, le vieillissement et la durée de vie sont étroitement liés à l'état du circuit magnétique et des enroulements du transformateur, et tout particulièrement l'état des isolants. Les prestations spéciales proposées par ABB, sur site ou en ateliers spécialisés, incluent le resserrage des enroulements, le nettoyage de la partie active, la régénération de l'huile [4] et le séchage traditionnel ou à haute efficacité par chauffage basse fréquence. Les délais d'intervention sont réduits par l'optimisation des opérations. Les contrôles de qualité sont assurés en utilisant les méthodes de diagnostic avancées.

Surveillance continue

Un système de surveillance en ligne peut être installé pour les transformateurs stratégiques ou présentant un risque élevé, cela pour accroître leur disponibilité, planifier leur maintenance ou optimiser leurs performances [5]. Des paramètres clés de l'ensemble circuit magnétique-enroulements et des auxiliaires importants (ex., changeurs de prise) sont surveillés. Outre l'archivage des données, le système intègre des modèles de calcul permettant à partir des données brutes de fournir des informations utiles à l'utilisateur pour la prise de décisions en matière d'exploitation ou de maintenance.

Réparation et mise à niveau

ABB développe en permanence des solutions innovantes visant à améliorer les fonctionnalités et la qualité des transformateurs, et à réduire les temps de passage de fabrication. Les réparations et mises à niveau sont réalisées aussi près que possible du site d'origine pour gagner du temps et limiter les coûts de transport. Un processus spécial a été développé pour garantir la qualité des interventions sur site [6]. Des développements réalisés pour accroître l'efficacité du séchage en utilisant un chauffage basse fréquence et permettre des essais diélectriques à haute tension après interventions sur le transformateur sur site. Enfin, des matériaux isolants hautes performances et des outils de conception moderne permettent d'accroître la valeur des appareils lors des remises à niveau.

Le coût global

Pour éclairer les utilisateurs dans leur prise de décision d'investissement stratégique, ABB a développé un modèle de calcul du retour sur investissement et de la valeur nette actualisée d'opérations de maintenance spécifiques ou de remplacement, utilisable sur de gros parcs de

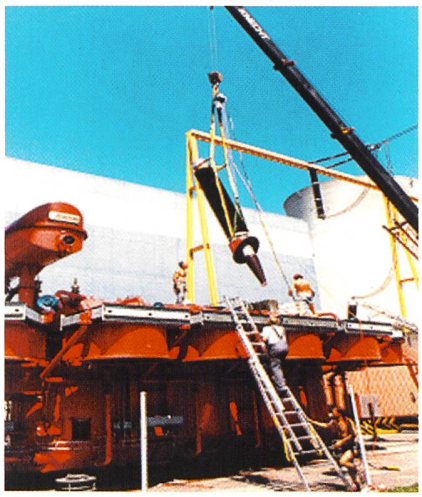

Figure 3 Travaux de remise à niveau sur site sur transformateurs 400 kV

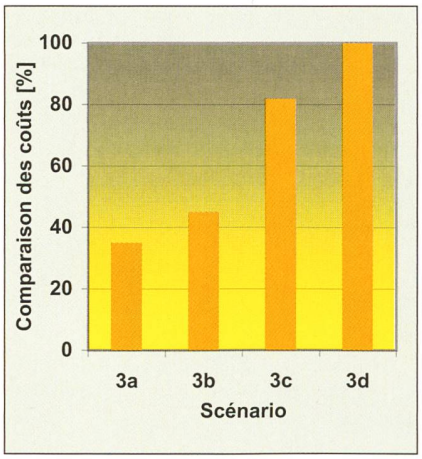

Figure 4 Etude de cas

Comparaison des coûts pour une étude de cas type réalisée dans une fonderie d'aluminium avec huit transformateurs redresseurs de 18 à 40 ans.

transformateurs ou des appareils précis [7]. Le modèle prend en compte l'état effectif du transformateur et les risques associés de défaillance, les coûts d'exploitation, de maintenance, de réparation et d'acquisition. Il propose ensuite différents scénarios simulant les avantages dans l'hypothèse d'un remplacement ou d'une intervention de maintenance ainsi que l'impact sur l'état du transformateur.

Cet outil constitue une aide très efficace pour les décideurs qui doivent examiner et peser arguments techniques et financiers.

Etude de cas

Pour illustrer le champ d'application de l'offre de services TRES, il nous semble utile de décrire un projet exécuté récemment par ABB. Il s'agit, dans ce cas, d'une fonderie d'aluminium qui projetait d'accroître la production de 10% pour soit cinq ans soit pour dix ans tout en maintenant un taux de disponibilité de 98,5%. Les dirigeants de l'entreprise désiraient savoir si l'installation électrique existante, qui compte huit transformateurs redresseurs industriels de 18 à 40 ans, serait capable de faire face aux nouvelles conditions d'exploitation.

Pour ce projet, les prestations fournies dans le cadre de TRES incluaient:

1. Bilan de «santé» et étude technique pour déterminer la faisabilité de l'augmentation de puissance des transformateurs.
2. Classement de la population (quatre groupes de deux transformateurs) et évaluation des risques.
3. Préconisation des mesures d'amélioration indispensables et proposition de quatre scénarios différents de mise à niveau:
   a) rénovation et mise à niveau technique du parc de transformateurs existant en atelier et sur site,
   b) rénovation et mise à niveau technique du parc existant et surveillance en continu de l'installation complète,
   c) rénovation et mise à niveau technique du parc existant et installation d'un transformateur de réserve neuf,
   d) rénovation et mise à niveau technique du parc existant, installation d'un transformateur de réserve et surveillance en continu de tous les appareils.
4. Comparaison des coûts et calcul de retour sur investissement des scénarios 3a à 3d (voir figure 4).

Le calcul a montré que le scénario 3b était le plus intéressant, avec un délai de retour sur investissement d'une année.

Sur la base du bilan de santé et de l'étude technique, les travaux suivants furent réalisés en atelier et sur site: réparation des cuves et changement des joints, remise à niveau des connexions, séchage de la partie active et de l'huile, rénovation des changeurs de prise, installation du système de surveillance en ligne et de télésurveillance.

Conclusions

Avec son offre de services modulaire TRES, ABB propose aux exploitants de transformateurs (ABB ou tiers) de devenir un interlocuteur unique qui veille à leurs intérêts tout au long de la durée de vie de leurs transformateurs.

Les solutions TRES garantissent la fiabilité et la disponibilité de ces équipements clés, notamment en optimisant leurs performances, en prolongeant leur durée de vie, en réduisant les coûts d'exploitation et de maintenance, et en diminuant les dépenses d'investissement.

Références

[1] *W. Bartley:* Analysis of transformer failures. Proceedings of 67th Annual Int Conf of Doble Clients, Paper 8N, March 2000.

[2] *C. Bengtsson, et al.:* Modern field diagnostic techniques for power transformers. IEEMA Mumbai 1998.

[3] *L. Pettersson, N. L. Fantana, U. Sundermann:* Life assessment: Ranking of power transformers using condition-based evaluation, a new approach. Cigré Paris Conference, Paper 12–204,1998 Session.

[4] *O. Berg, et al.:* Experience from on-site transformer oil reclaiming. Cigré Paris Conference, Paper 12-103, 2002 Session.

[5] *P. Boss, et al.:* Economical aspects and practical experiences of power transformer on-line monitoring. Cigré Paris Conference, Paper 12–202, 2000 Session.

[6] *J. Mendes, R. A. Marcondes, J. Westberg:* On site repair of HV power transformers. Cigré Paris Conference, Paper 12–202, 2002 Session.

[7] *P. Boss, et al.:* Life assessment of power transformers to prepare a rehabilitation based on a technical-economical analysis. Cigré Paris Conference, Paper 12–106, 2002 Session.

Informations sur les auteurs

Pierre Boss est responsable de l'activité Business Development du groupe Service de ABB Sécheron. Il a travaillé pour ABB à Genève et à Mannheim depuis 1967. Depuis 2001 il est aussi membre du comité national suisse de Cigré/Cired et délégué suisse au comité Cigré A2 «Transformateur» depuis 2000.
ABB Sécheron, Meyrin (CH), pierre.boss@ch.abb.com

Christian Peter est membre du groupe d'experts de l'activité services pour transformateurs de ABB Sécheron SA à Genève. Engagé depuis plus de 20 ans dans le secteur des transformateurs de puissance, il a travaillé en temps qu'ingénieur à la conception des circuits de commande et de protection, à la vente des transformateurs de puissance et au service à la clientèle.
ABB Sécheron SA, Meyrin (CH), christian.peter@ch.abb.com

Stéphane Tetu est responsable de l'activité Service Power Technology pour la France.
ABB Automation, Persan (F). stephane.tetu@ fr.abb.com

Christian Ebert, Dipl.-Ing., est chez ABB depuis 1992 travaillant pour la ABB Transformatoren GmbH à Halle en Allemagne. Il est responsable pour le service pour transformateurs.
ABB Transformatoren GmbH, Halle (D), christian.ebert@de.abb.com

[1] Cet article a été présenté au Congrès Matpost de novembre 2003.

Management eines Transformatorenparks

Höhere Rentabilität von elektrischen Netzen

Mit dem Unterhaltsprozess TRES (Transformer Retrofit and Engineering Support) lässt sich die Lebensdauer und die Verfügbarkeit von Transformatorenparks vergrössern. TRES beruht auf der Bestimmung der zu erwartenden restlichen Lebensdauer der Installationen und ermöglicht den Benutzern eine bessere Planung der Unterhaltsarbeiten und damit auch eine höhere Rentabilität des eingesetzten Kapitals.