



Mesures de diagnostic et analyse statistique

Prévision fiable de la durée de vie résiduelle des câbles moyenne tension

La société Baur GmbH propose aux gestionnaires d'actifs une solution de diagnostic de l'état des câbles moyenne tension représentant une procédure cohérente allant du diagnostic de câble jusqu'à l'évaluation. Ces fonctionnalités sont complétées par une prévision statistique de la durée de vie des câbles. Connaître la durée d'utilisation restante permet de planifier plus exactement les investissements de remplacement et, souvent même, de les retarder de quelques années.

Pour les gestionnaires d'actifs, il est de plus en plus difficile d'entretenir les réseaux de distribution avec les budgets qui leur sont accordés. Beaucoup de câbles moyenne tension, posés il y a des décennies, ont atteint un âge où les pannes deviennent de plus en plus probables. Ajoutons des contraintes pour le réseau souvent plus élevées de nos jours, tant en raison de l'augmentation des consommations que de l'injection de courant décentralisée.

Maintenance conditionnelle au lieu d'un entretien basé sur les intervalles

Dans ces conditions, assurer la rentabilité, une disponibilité élevée et un minimum de pannes du réseau moyenne

tension n'est possible que sur la base d'une évaluation de l'état du câble. Elle permet de planifier les investissements de réparation et de remplacement sur la base de l'état de vieillissement effectif (Figure 2) et non de l'âge (Figure 1). Sinon, les câbles âgés entraîneraient plus tôt que prévu des pannes de réseau ou des câbles seraient remplacés alors qu'ils sont encore intacts, ces deux situations induisant un rapport coûts-utilité défavorable.

Deux méthodes de diagnostic se sont établies pour évaluer l'état des câbles moyenne tension : la mesure des décharges partielles (DP) et la mesure de Tangente Delta ($\tan\delta$). La mesure des décharges partielles est effectuée loca-

lement. Elle permet de détecter les accessoires défectueux, ou les décharges partielles locales dans une isolation plastique endommagée ou une isolation insuffisante des câbles à isolation par papier imprimé. En plus des valeurs de décharge partielle, la mesure indique également la distance jusqu'au défaut, rendant plus facile la localisation des points nécessitant des opérations de surveillance ou de réparations.

Le facteur de dissipation donne des informations sur le vieillissement effectif.

La mesure de TD, dont l'analyse est au centre de ce qui suit, est une procédure non-destructive d'évaluation de toute

la liaison câblée mesurée. Elle donne des indications sur les arborescences d'eau (isolation des câbles à isolant plastique endommagée par l'eau) ainsi que sur les emplacements des défauts de l'isolation des câbles isolés au papier imprimé, sur l'humidité des accessoires et sur les décharges partielles éventuelles. Comme le facteur de dissipation augmente en même temps que les arborescences d'eau dans l'isolation, sa valeur est un indice de la qualité de l'effet isolant. Dans un câble neuf, le facteur de dissipation est pratiquement nul et avec le vieillissement, il augmente en fonction des impacts de l'humidité sur l'isolation plastique cités plus haut.

La mesure de TD suffit à tirer des conclusions concernant l'état du câble. Les utilisateurs du logiciel Baur 4.0 peuvent implémenter des séquences de diagnostic standardisées ou personnalisées et commencer les premières évaluations pendant les cycles de mesure. Grâce à l'homogénéité des cycles de mesure et à la possibilité de comparer des résultats, les gestionnaires d'actifs obtiennent une évaluation objective de l'état de leur réseau de câbles. Elle leur fournit une base de décision de qualité pour la planification de l'entretien.

Prévision statistique de la durée de vie résiduelle

Le nouveau logiciel autonome statex sert à analyser de façon plus approfondie les résultats de mesure, avant tout pour les câbles à isolant plastique (Figure 3). statex est une exclusivité Baur née d'un développement en collaboration avec Korea Electric Power Corporation (Kepco). L'entreprise exploite en Corée du Sud un réseau électrique comprenant entre autres 41000 km de câbles enterrés ($U_0 = 13,2 \text{ kV}$). Dans le but de minimiser les coûts d'entretien du réseau, Kepco s'est intéressée pendant dix ans de façon intensive au diagnostic de câble et a comparé les procédés courants disponibles sur le marché. Cette comparaison a incité l'entreprise à sélectionner la mesure de DP et de TD avec sources de tension sinusoïdales VLF (Very Low Frequency). Par la suite, Kepco a développé en collaboration avec l'université coréenne Mokpo une méthode et un logiciel permettant de prévoir la durée de vie résiduelle des installations. Baur et Kepco ont pour cela développé le logiciel adapté, disponible désormais sous l'appellation statex. Le logiciel a été utilisé pour des milliers de valeurs de mesure de câbles à isolant plastique. Aujourd'hui, il prend en

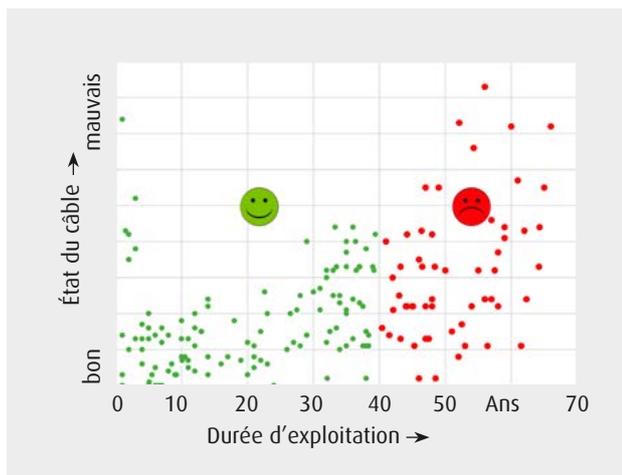


Figure 1. Une stratégie de remplacement orientée uniquement sur l'âge entraînerait le remplacement de nombreux câbles encore intacts (représenté dans la zone inférieure droite du diagramme).

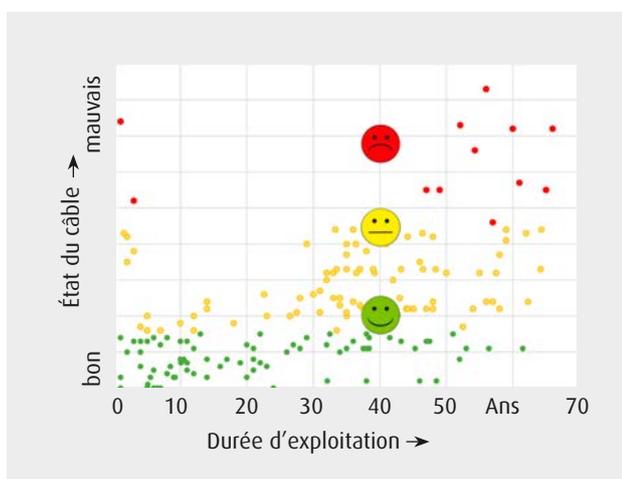


Figure 2. Avec la maintenance conditionnelle du réseau sur la base des mesures de diagnostic, les câbles intacts sont encore utilisés et les câbles récents en mauvais état sont détectés et remplacés à temps. Cette approche minimise les coûts et augmente la disponibilité d'un réseau.

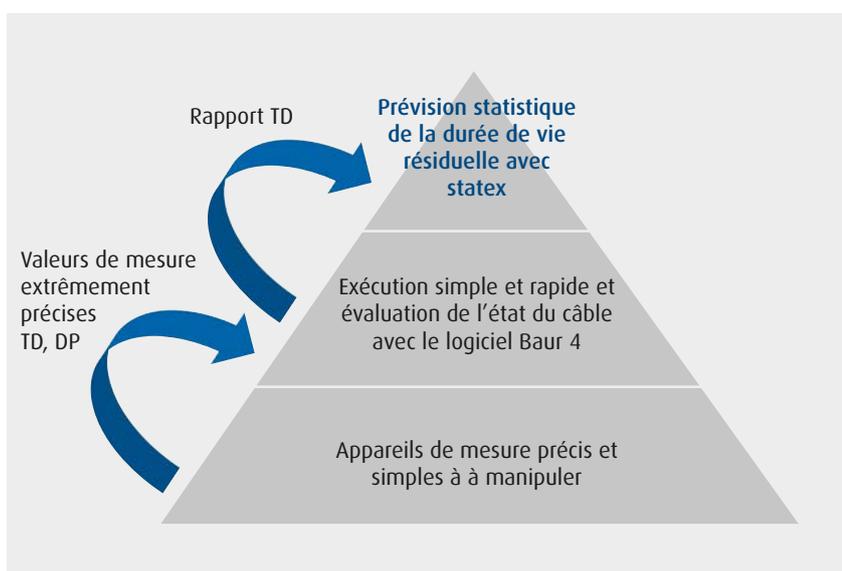


Figure 3. Avec le nouveau logiciel statex, les mesures de Tangente Delta permettent de prévoir la durée de vie résiduelle des câbles moyenne tension.

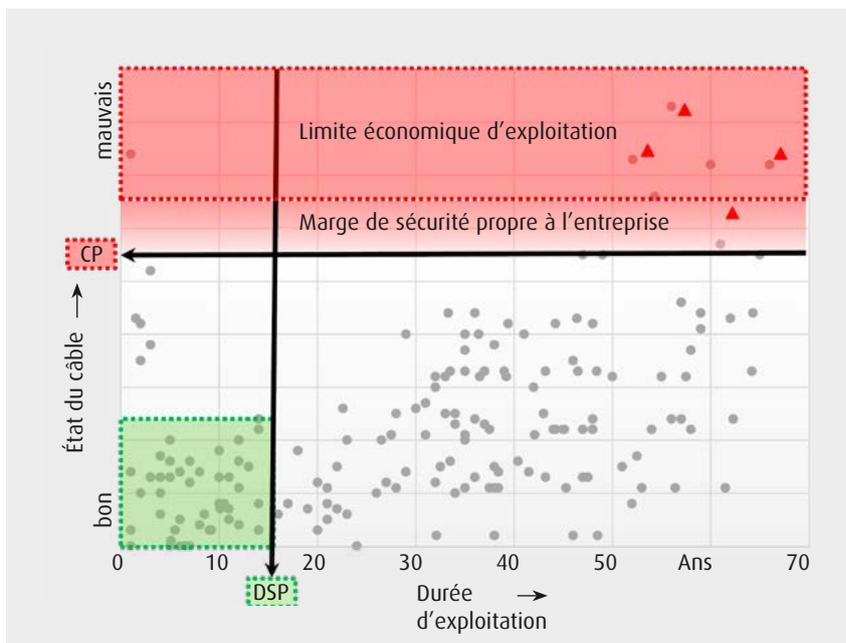


Figure 4. Typiquement, le processus de vieillissement des câbles XLPE ne commence qu'après plus de dix ans, lorsque les antioxydants de leur isolation sont dégazés et que les premières arborescences d'eau se forment.

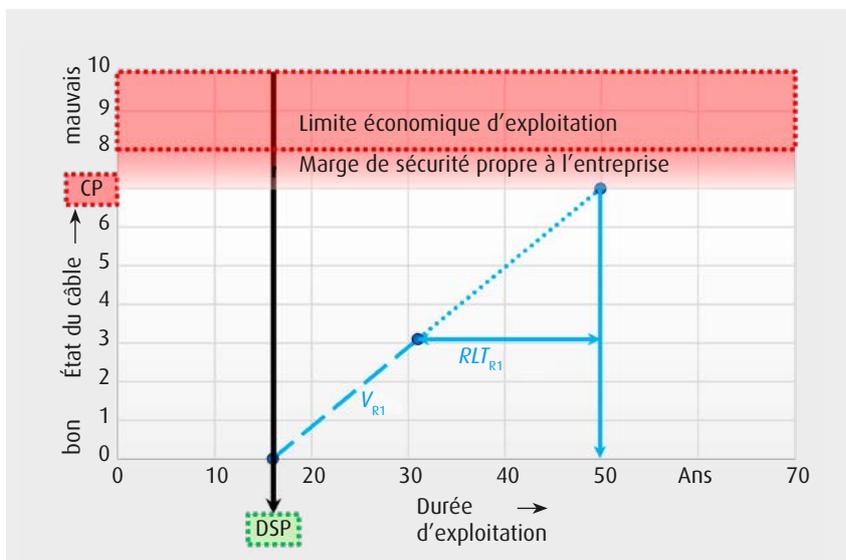


Figure 5. Le logiciel statex peut, avec les résultats des valeurs de mesure $\tan\delta$, calculer un indice de vieillissement pour prévoir la durée de vie résiduelle du câble.

compte environ 90000 valeurs de mesure.

Calcul de l'indice de vieillissement à partir des valeurs mesurées

Trois aspects sont essentiels pour le calcul de la durée de vie résiduelle d'un câble XLPE :

- Quand commence le vieillissement du câble

- À quelle vitesse le vieillissement progresse
- À partir de quel moment l'état d'un câble est considéré comme critique.

Le Kepco Research Institute a effectué des analyses pour déterminer à partir de quand le vieillissement de l'isolation plastique commence (Figure 4). Pour les câbles de Kepco, le Dégradation Starting Point (DSP, point de départ de la dégradation) est en moyenne après 13 ans.

L'indice de vieillissement du câble mesuré est calculé à partir de

$$R = \sqrt{(TD_{\text{norm}})^2 + DTD_{\text{norm}}^2 + TD_{\text{skirt}}^2}$$

TD_{norm} est la valeur de la $\tan\delta$, DTD_{norm} l'écart (le Delta) de la $\tan\delta$. TD_{skirt} indique la stabilité du facteur de dissipation au cours d'une succession de plusieurs valeurs de mesure d'un cycle de mesures, les câbles dont l'isolation diminue émettant des signes précurseurs. L'augmentation ou la baisse constante de $\tan\delta$ ou sa fluctuation au sein d'un palier de tension peuvent par exemple indiquer le degré de vieillissement d'un câble.

Pour déterminer TD_{skirt} , une ligne virtuelle est tirée entre les deux valeurs extrêmes de $\tan\delta$ issues de huit mesures successives. Une tendance linéaire croissante des valeurs de mesure indique une modification des pertes diélectriques de l'isolation de câble. Descendante ou non-linéaire, elle est en général un indice d'humidité ou de décharges électriques dans au moins un accessoire.

Détermination de la durée de vie résiduelle avec une seule mesure $\tan\delta$

L'indice de vieillissement R peut être calculé à partir d'une seule mesure de Tangente Delta (Figure 5). La répétition des mesures sur un même câble permet au logiciel statistique d'affiner ses prévisions avec de nouveaux résultats (Figure 6). À partir de l'indice de vieillissement et de l'âge effectif diminué du DSP, le logiciel calcule la vitesse du vieillissement et donc le temps restant avant qu'un point critique soit atteint. Les utilisateurs ont la possibilité, dans le Life Time Wizard du logiciel, de définir eux-mêmes le point critique pour chaque type de câble et d'intégrer ainsi un supplément de sécurité personnalisé. Le DSP peut, lui aussi, être donné. Le logiciel prévoit la durée de vie résiduelle et donne en outre des recommandations concernant le moment où le prochain diagnostic de câble doit être effectué ou l'agenda des interventions de maintenance et des remplacements des câbles.

En complément, statex présente les valeurs de mesure effectuées sur le ou les câbles en trois dimensions (Figure 7). Cette représentation 3D permet aux utilisateurs d'afficher, pour les comparer, d'autres valeurs de mesure ou des résultats de Kepco enregistrés dans statex afin de comparer les états des câbles.

Prévisions plus fiables de la durée de vie résiduelle

statex est utilisé chez Kepco depuis quelques années. Le logiciel a permis de reporter de nombreux investissements, l'état des câbles mesurés étant en moyenne bien meilleur que ce que l'on pouvait estimer étant donné leur âge. On a même trouvé moins de défauts au kilomètre sur les câbles mesurés plus âgés que sur ceux n'ayant pas encore atteint le DSP (ici de 13 ans). Si Kepco s'était basé sur la mesure de Tangente Delta et de l'évaluation selon IEEE 400.2 pour planifier ses investissements de remplacement, 255 des 15 000 kilomètres de câbles du réseau auraient dû être changés. statex a permis de montrer que seuls 54 kilomètres de câbles devaient effectivement être remplacés dans les plus brefs délais. Par rapport aux critères IEEE, la durée de vie résiduelle calculée s'est prolongée de onze années environ.

Versions du logiciel

Avec statex, la prévision de la durée de vie résiduelle est exclusivement réservée aux clients de Baur. Plusieurs modèles de licence statex sont disponibles :

- statex Core permet le suivi et la surveillance des données des câbles dans la base de données ainsi que la gestion des données de câble. De plus, cette version sert à calculer l'indice de vieillissement R, d'analyser les états, d'établir une représentation graphique 3D et de rédiger des rapports.
- statex Pro propose en plus une fonction de détermination de la durée de vie résiduelle statistique. La version Pro intègre en plus le Life Time Wizard, une fonctionnalité dans laquelle l'utilisateur peut définir un DSP (début du processus de vieillissement) personnalisé et un point critique basé sur l'expérience personnelle. Chaque licence logicielle acquise donne droit à une formation d'introduction de deux jours sur place ainsi qu'à un cours supplémentaire de deux jours pour approfondir les connaissances. Chaque licence supplémentaire autorise d'autres personnes à accéder à la base de données statex Pro. Toutefois, le Life Time Wizard ne peut être configuré que par un seul utilisateur, car cela sécurise la cohérence des données.

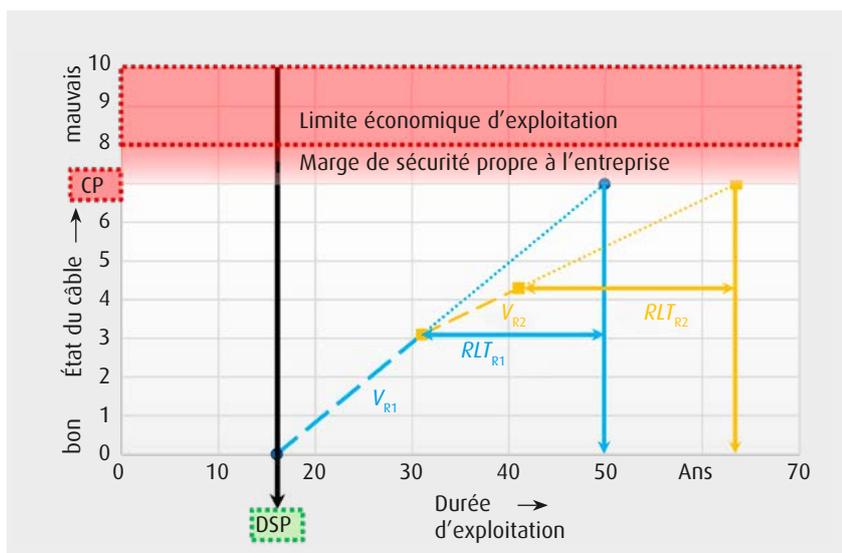


Figure 6. À chaque nouvelle mesure, statex recalcule la durée de vie résiduelle.

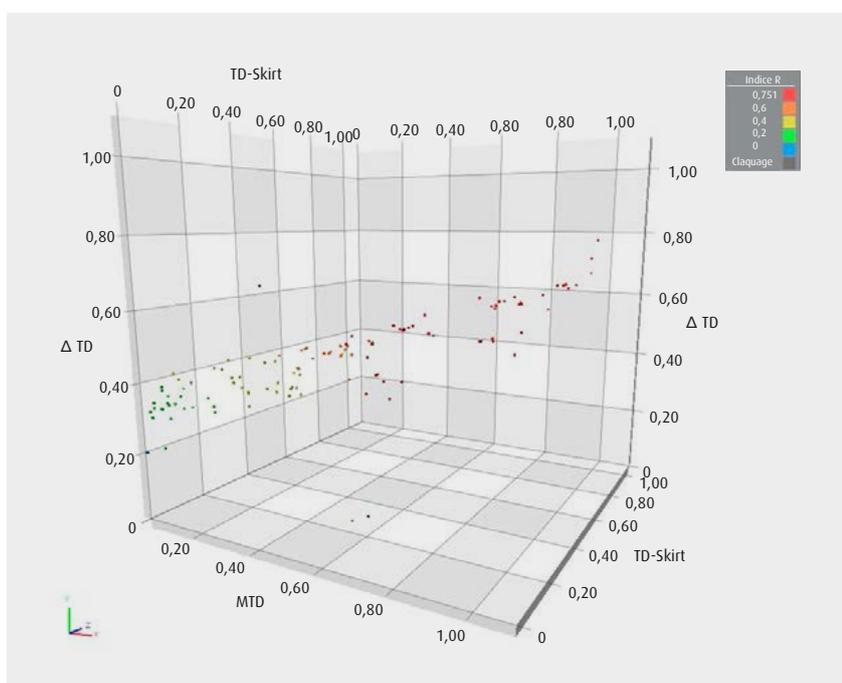


Figure 7. Représentation graphique en 3D de l'indice de vieillissement R (voir légende) pour toutes les phases mesurées. Chaque point représente l'état d'une phase mesurée.

statex donne au gestionnaire d'actifs des informations et des recommandations

En combinant la technique de mesure VLF, le logiciel Baur d'exécution des mesures et d'interprétation immédiate des valeurs et le logiciel statex de prévision statistique des durées de vie résiduelles des câbles, les gestionnaires d'actifs ont en main tous les outils pour mieux rentabiliser l'entretien du réseau de distribution. La durée de vie des câbles

moyenne tension peut, grâce aux résultats du logiciel statex, être en moyenne allongée de quelques années par rapport à ce que leur âge absolu, l'évaluation de l'état des câbles selon les critères IEEE ou la classification basée sur les valeurs tan-δ auraient laissé prévoir.

- >> **Martin Jenny**,
Direction Gestion des produits,
Baur GmbH, Sulz/Autriche
- >> headoffice@baur.at
- >> www.baur.at