Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 106 (2015)
Heft: 12

Artikel: Monitoring de la température des câbles HT/MT
Autor: Chimi, Elyane / Heimbach, Britta / Bader, Jürg
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-856757

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: 08.07.2025

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

Monitoring de la température des câbles HT/MT

Une méthode efficace pour optimiser la gestion du réseau de distribution électrique

L'intégration croissante de production électrique décentralisée et fluctuante constitue un véritable défi pour la gestion du réseau de distribution. Le monitoring de la température des câbles, mis en œuvre au sein du projet pilote déployé en ville de Zurich par EWZ, constitue une solution prometteuse. Il est en effet ainsi possible de surveiller en permanence les points critiques du réseau, mais aussi d'optimiser sa gestion, et ce, grâce à l'évaluation du temps pendant lequel un câble peut supporter une charge supérieure à la charge maximale admissible.

Elyane Chimi, Britta Heimbach, Jürg Bader

L'irrégularité de la production électrique due à des installations de production décentralisées constitue un défi majeur dans la gestion du réseau de distribution électrique, et ce, d'autant plus que celle-ci est traditionnellement basée sur l'observation de l'intensité du courant maximal admissible du câble. Afin de pouvoir répondre au mieux aux problèmes liés à l'intégration croissante de ces productions intermittentes, EWZ, la compagnie d'électricité de la ville de Zurich, a mis sur pied un projet pilote destiné à optimiser la gestion de son réseau en se basant sur la surveillance de la température des câbles.

Le monitoring de la température du câble constitue en effet une solution innovante permettant, d'une part, une surveillance permanente des points critiques du réseau de lignes HT/MT et, d'autre part, une augmentation de la charge électrique du câble pour une gestion efficace du réseau, ainsi que des infrastructures électriques. Ce projet pilote a pour objectif de vérifier la concordance entre les valeurs de température des câbles calculées à l'aide de simulations et celles obtenues par le biais de mesures in situ. Il constitue donc la base de l'évaluation de la faisabilité technique et économique de cette approche.

Limites des méthodes traditionnelles

Jusqu'à présent, la charge maximale d'un câble était déterminée par un modèle bidimensionnel basé sur des normes de calcul prédéfinies (IEC 60287 et IEC 60853) ou à l'aide d'un logiciel de simulation par éléments finis en trois dimensions pour les cas les plus complexes. Toutefois, force est de constater que même le meilleur modèle est incapable de fournir la température réelle lorsque les facteurs d'influence ne sont pas connus avec précision. Ceci est notamment le cas pour les systèmes de lignes souterraines où certains paramètres – notamment la résistivité thermique – jouent un rôle très important dans la variation de la température des câbles.

L'impact de ces facteurs d'influence internes a particulièrement été mis en lumière par une analyse décrivant l'influence sur la résistance thermique du câble des différents matériaux utilisés pour la fabrication du béton ainsi que du gravier (utilisé pour le remblayage de la tranchée) qui enrobent les lignes de câbles souterraines. De plus, l'influence de facteurs externes, tels que le type de sol, l'humidité de ce dernier (variant en fonction des précipitations), les croisements avec d'autres conduits souterrains ou la température, doivent également être pris en compte. En effet, ces facteurs influencent de manière considérable et irrégulière le comportement thermique du câble et de ses environs.

Objet de l'étude

La première étape de la mise en œuvre du projet a consisté à choisir des câbles adéquats pour l'étude envisagée. Le choix s'est porté sur les câbles 22 kV reliant dans la ville de Zurich les postes de distribution Oerlikon et Hönggerberg. Ces deux sous-stations sont situées à une distance d'environ 3 km l'une de l'autre et sont reliées par un câble HT et trois câbles MT parallèles.

Cette ligne moyenne tension (22 kV) est redondante à la ligne haute tension (150 kV) et doit être en mesure d'alimenter les deux stations en cas d'interruption de cette dernière (figure 1). En cas d'urgence, l'intensité du courant le long de la ligne de 22 kV serait, durant

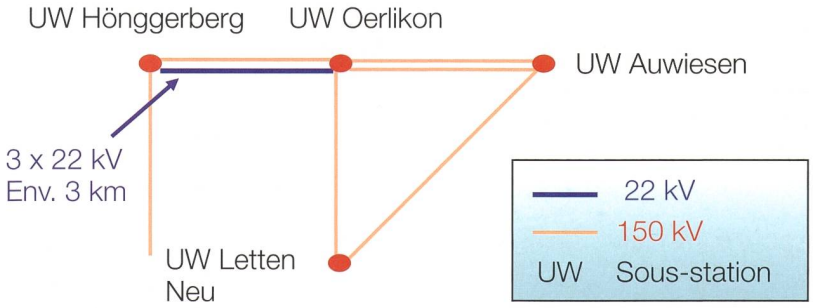

Figure 1 La ligne MT faisant l'objet de l'étude entre les sous-stations Oerlikon et Hönggerberg.

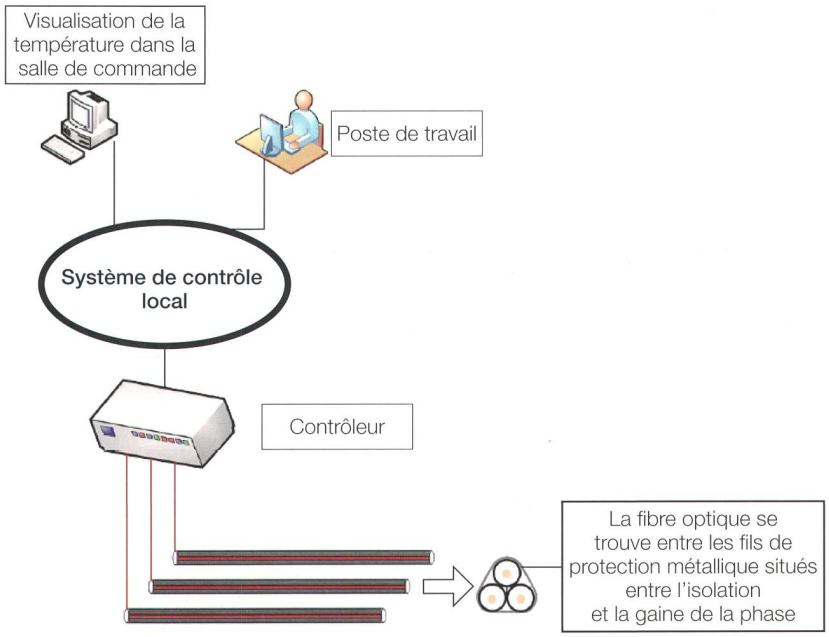

Figure 2 Conception du système.

un certain temps, supérieure au courant maximal admissible des câbles afin d'éviter une interruption de la distribution électrique.

Dans des conditions de synthèse, une simulation doit permettre de déterminer la durée de temps maximale au cours de laquelle la charge entière de la sous-station pourra être transmise sur les câbles de moyenne tension. Autrement dit, le temps nécessaire pour induire une réduction de la charge.

Description du système de surveillance

Les câbles du circuit reliant les deux stations de distribution ont été équipés de fibres optiques intégrées dans l'une de leurs phases, plus précisément entre les fils de la protection métallique. Des fibres optiques multimodes ont été employées pour la mesure de la température car elles garantissent un niveau de précision plus élevé. Ce type de fibre optique permet la mesure de la température de la gaine du câble sur toute sa longueur et la transmission de celle-ci par l'intermédiaire d'un système de mesure DTS (distributed temperature sensing) **(figure 2)**.

Grâce à un logiciel DTS, il est possible d'obtenir une mesure continue et précise de la température le long de la ligne de moyenne tension. Comme on peut l'observer sur les **figures 3 et 4**, les augmentations de température dans les barrières coupe-feu sont importantes. Elles représentent une différence d'environ 15 °C par rapport à la température moyenne. Cette différence de température s'explique, d'une part, par la haute densité des câbles qui conduit à des pertes de transmission des départs de câble séparés et, d'autre part, par une mauvaise conductivité thermique du pare-feu dans la zone des stations de distribution. Un autre point à noter est la différence considérable de température entre les zones situées sous une surface d'asphalte ou sous une pelouse. Cela s'explique par la meilleure évacuation thermique de la température sous cette dernière.

De ce fait, dans une optique de rationalisation des coûts, il serait intéressant de contenir la température du câble dans le domaine de la sous-station dans la mesure où les températures maximales y sont attendues. Ce projet a également été réalisé il y a quelques mois et d'autres projets sont en cours de réalisation.

Comparaison mesures-simulations

Comme mentionné plus haut, l'un des objectifs de ce projet pilote consiste à permettre des comparaisons entre les mesures et les simulations effectuées afin de valider le système de calcul thermique dynamique utilisé pour la surveillance du réseau. La simulation de la température de la gaine du câble est effectuée grâce à un logiciel de résolution par la méthode des éléments finis (Cymcap).

Les résultats des comparaisons entre mesures et simulations reportés dans la **figure 5** indiquent une bonne correspondance entre les valeurs expérimentales (trait continu) et simulées (trait interrompu). Les températures initiales étant d'emblée connues, les valeurs nécessaires au calcul de la température de la gaine ont pu être adaptées en conséquence.

L'environnement du câble est un facteur clé pour le calcul de la température du câble dans la mesure où il influence la conductivité thermique qui, à son tour, impacte la température de la gaine du câble **(figure 5)**. Un autre facteur d'influence analysé lors de la simulation est l'impact des différents matériaux uti-

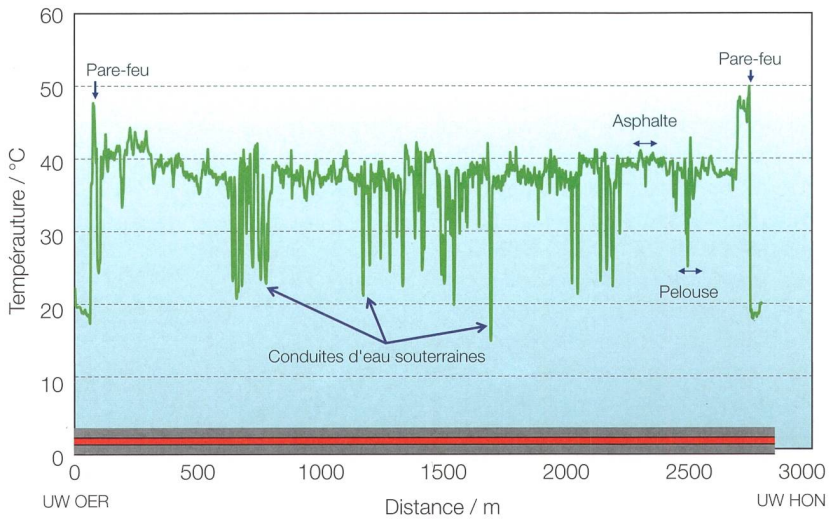

Figure 3 Profil de la température de gaine mesurée sur la ligne MT reliant les deux sous-stations Oerlikon et Hönggerberg.

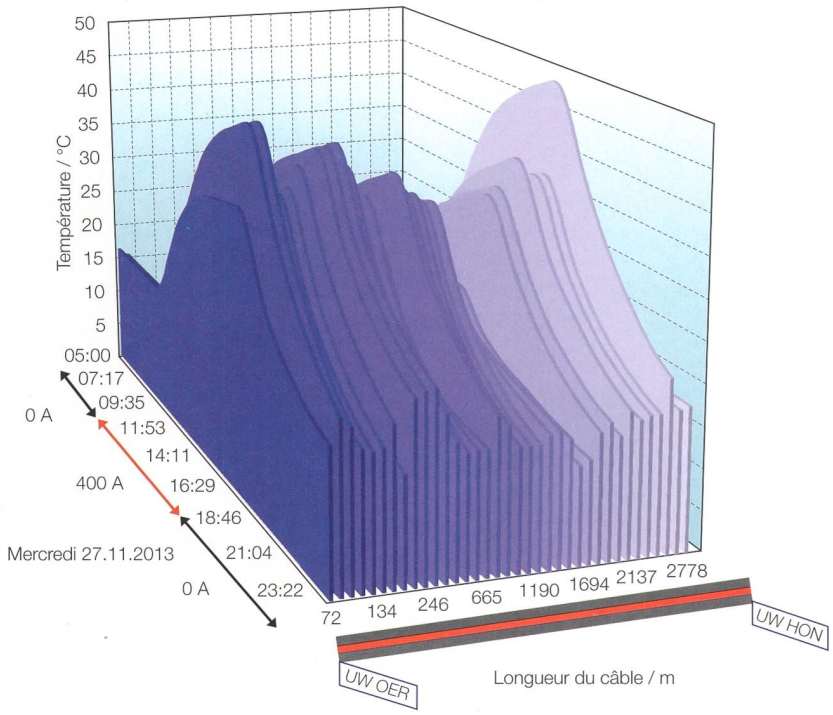

Figure 4 Température de gaine mesurée le 27 novembre 2013.

lisés pour la fabrication du béton et du gravier sur la température de la gaine du câble. Comme l'indique la **figure 6**, une mauvaise conductivité thermique du béton conduit inévitablement à une élévation de la température de la gaine du câble et ce dernier voit ainsi sa capacité de transport réduite. Plus la résistivité thermique augmente, plus la pente est importante et plus le maximum de température est atteint rapidement. La courbe des matériaux recyclés est nettement au-dessus de la courbe du béton et du gravier de meilleure qualité.

Ces analyses montrent l'importance de la mesure de la température de la gaine du câble car une telle mesure prend en compte les facteurs d'influence internes et externes au câble.

Calcul de la température du conducteur

La température maximale du conducteur est calculée grâce à un logiciel basé sur la méthode des éléments finis (FEM) en prenant en compte la température de la gaine du câble mesurée, les propriétés du câble, la disposition des câbles adjacents et la longueur totale de fonctionnement. Le logiciel est également en mesure de livrer une estimation de la température maximale du conducteur pour les prochaines 24 heures. De plus, il fournit une estimation du temps disponible avant que la température nominale maximale du conducteur (90 °C) ne soit atteinte.

L'intégration du calcul de la température du conducteur au système Scada permet au personnel opérationnel d'utiliser la prédiction de la température comme base pour la prise de décision en cas d'urgence. Un test a été effectué afin de vérifier la précision du système de calcul utilisé. Les trois câbles MT ont été chargés chacun avec un courant d'environ 400 A. L'augmentation de la température du conducteur, calculée à partir des mesures de la température de la gaine, pouvait alors être contrôlée depuis la salle de commande.

Lors de cette expérience, il a été possible de constater que, par exemple, une fois que la température du conducteur a atteint 81,8 °C, les lignes MT étaient encore en mesure d'alimenter les deux sous-stations Oerlikon et Hönggerberg, en tenant compte de la charge à cet instant, pendant encore 10,2 h jusqu'à ce que la température du conducteur maximale de 90 °C soit atteinte.

Conclusions et perspectives

La comparaison des mesures obtenues grâce aux câbles à fibres optiques et des valeurs simulées confirme l'applicabilité du système. Ce système de surveillance de température semble être un outil très précieux pouvant permettre aux opérateurs de planifier et d'exploiter efficacement le réseau de distribution.

Une étude plus poussée prenant aussi en compte la mesure de décharge partielle permettrait de mettre en place un concept novateur dans le domaine de la protection du réseau électrique.

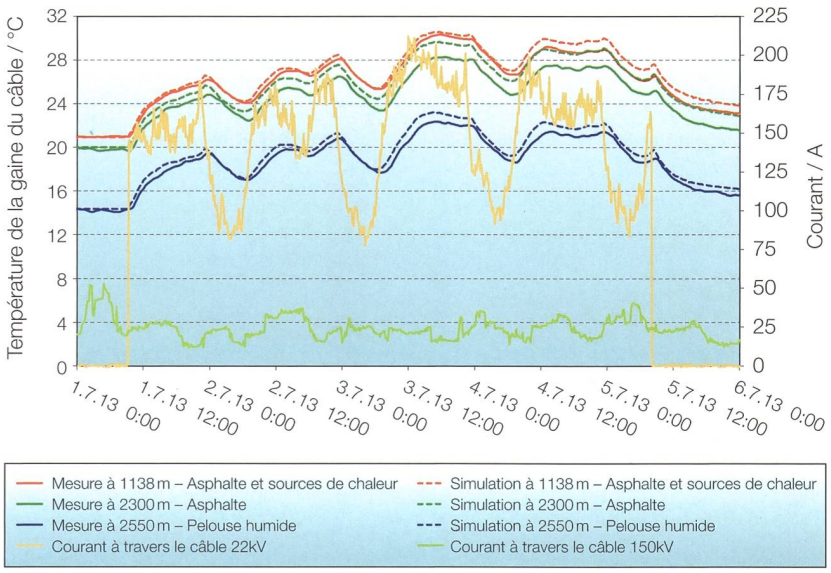

Figure 5 Comparaison entre la température de gaine mesurée et simulée à trois emplacements correspondant à différentes configurations de l'environnement (du 1er au 6 juillet 2013).

Figures: EWZ

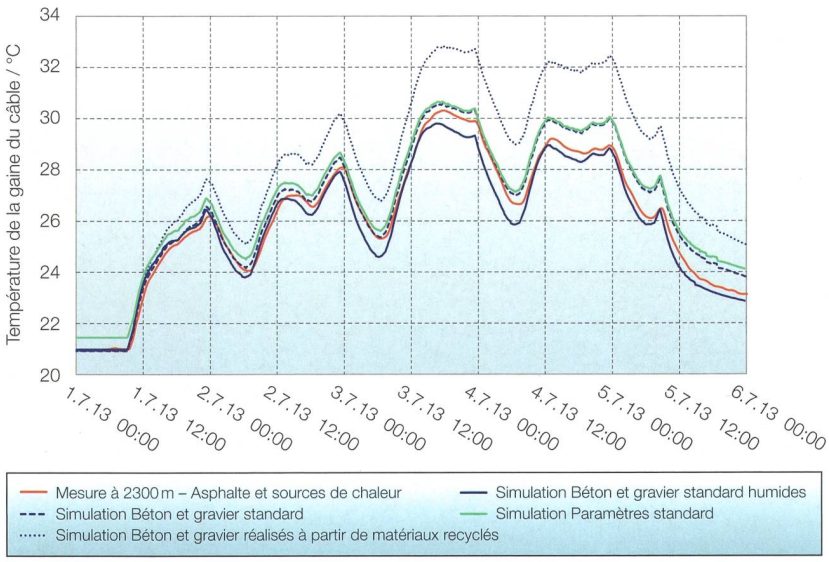

Figure 6 L'influence de différents matériaux (béton et gravier standard ainsi que béton et gravier fabriqués à partir de matériaux recyclés) sur la température de la gaine du câble.

Zusammenfassung **Temperaturüberwachung von HS-/MS-Kabeln**

Eine wirksame Methode zur Optimierung des Betriebs von Stromverteilnetzen

Die zunehmende Einbindung einer dezentralen und fluktuierenden Stromerzeugung ist eine Herausforderung für den Betrieb eines Stromverteilnetzes. Die Überwachung der Kabeltemperaturen, die durch EWZ im Rahmen eines Pilotprojekts in Zürich durchgeführt wurde, stellt eine innovative und vielversprechende Lösung dar. Sie ermöglicht nicht nur die kontinuierliche Überwachung kritischer Punkte im Netz sondern auch eine Optimierung des Netzbetriebs, wobei auch der Zeitraum ermittelt wird, über den ein Kabel einer Überlast standhalten kann. Bei unterirdisch verlegten Kabeln hängt die Temperatur des Leiters stark von der Umgebung ab (Zusammensetzung von Beton und Kies, Bodentyp, Feuchtigkeit, Temperatur, Kreuzungen mit anderen unterirdischen Kabeln, etc.). EWZ hat deshalb Mittelspannungskabel zwischen zwei Unterwerken mit Lichtwellenleitern ausgestattet, damit die Kabeltemperatur über die gesamte Kabellänge permanent gemessen werden kann. So konnte überprüft werden, ob die mit Hilfe von Simulationen errechneten Temperaturwerte der Kabelmäntel mit den anhand der Feldmessungen ermittelten Werten übereinstimmen. Diese Werte wurden anschliessend dazu genutzt, um mit einer auf der Finite-Elemente-Methode (FEM) basierenden Software die maximale Leitertemperatur sowie die im Falle einer Überlast zur Verfügung stehende Zeit bis zum Erreichen der maximalen Betriebstemperatur des Leiters (90 °C) zu berechnen.

Ein Vergleich der Lichtwellenleiter-Messwerte mit den Simulationswerten bestätigte die Anwendbarkeit des Systems. Aufbauend auf dem Erfolg dieses Pilotprojekts hat EWZ beschlossen, eine Reihe von strategisch wichtigen Leitungen im eigenen Netz mit Hilfe von Lichtwellenleitern zu überwachen. CHe

En résumé, on peut affirmer que la mesure de la température par l'intermédiaire de fibres optiques présente de nombreux avantages, à savoir :

- la détection des points critiques du réseau ;
- la détermination et l'utilisation ciblée des réserves thermiques ;
- la prévention du vieillissement prématuré du câble dû à une surcharge ;
- la réalisation d'économies en termes de coûts grâce à une expansion efficace du réseau. À titre d'exemple, l'investissement d'environ 1 million d'euros pour une ligne câblée supplémentaire (nécessaire dans le cadre de l'intégration des énergies renouvelables) pourrait être évité.

Forte du succès de ce projet pilote, EWZ a décidé de procéder à la surveillance d'un certain nombre de lignes stratégiques de son réseau à l'aide de fibres optiques. Un projet pilote visant à introduire un microtube à l'intérieur des tubes souterrains déjà occupés par un câble de 150 kV a été réalisé. Le soufflage de fibres optiques à l'intérieur de celui-ci permettra la surveillance de cette importante ligne HT.

Auteurs

Elyane Chimi est ingénieure en énergie électrique de l'Université d'économie et des sciences appliquées de Berlin, Allemagne. Depuis 2012, elle est responsable chez EWZ des projets innovants, de la conception à la mise en service, et de leur intégration dans le réseau de distribution. Elle fait aussi partie du groupe de travail Cigré B1.45 « Thermal monitoring of cable circuits and grid operators' use of dynamic rating systems ».
EWZ Verteilnetze, 8005 Zürich, elyane.chimi@ewz.ch

Dr **Britta Heimbach** a rejoint EWZ en 2008 et travaille actuellement en tant que spécialiste dans le domaine de la recherche de nouvelles technologies de réseau.
britta.heimbach@ewz.ch

Dr **Jürg Bader** travaille chez EWZ depuis 1995. Il s'occupe de la conception et du développement du réseau électrique du futur.
jürg.bader@ewz.ch

Anzeige

Rabais spécial de 5 ct./l

Comme membre personnel d'Electrosuisse vous faites le plein sans argent liquide avec votre carte BP Plus à des conditions avantageuses
www.electrosuisse.ch/BPPlus

electro suisse