Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 113 (2022)
Heft: 5

Artikel: Lorsque le courant circule sans résistance
Autor: Vogel, Benedikt
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1037103

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: 15.07.2025

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

Test d'un câble HTS (23 kV, 60 MVA) dans le district de Gochang, en Corée du Sud.

Figure: KEPCO

Lorsque le courant circule sans résistance

Feuille de route de l'AIE relative aux composants supraconducteurs | Les supraconducteurs à haute température ont été découverts dans les années 1980. Depuis, des experts discutent de leur utilisation commerciale dans l'alimentation électrique. Des champs d'application concrets se profilent désormais, dans lesquels des câbles et composants de réseau supraconducteurs peuvent faire valoir leurs avantages.

BENEDIKT VOGEL

L'électricité parcourt souvent des centaines de kilomètres entre la centrale et le consommateur. « En raison des pertes de transport, jusqu'à 10 % de l'électricité transportée est « perdue » au cours du trajet, c'est-à-dire que cette part est transformée en énergie thermique, ce qui se traduit par un réchauffement des lignes électriques », explique Walter Sattinger, expert réseau auprès de la Société nationale responsable du réseau de transport de l'électricité Swissgrid. Pour minimiser ces pertes, l'électricité est transmise à des tensions élevées chaque fois que cela est possible. Ainsi, la même quantité d'énergie peut être transportée avec une intensité de courant plus faible. Ceci permet de réduire les pertes, car celles-ci augmentent de manière quadratique avec l'intensité du courant.

L'« astuce » porte ses fruits: en Suisse, à peine un cinquième des pertes de transport est imputable au réseau haute et très haute tension (220 kV, 380 kV). Mais dans l'absolu, ces pertes sont également importantes: par exemple, sur une ligne de 380 kV de 100 km, il peut y avoir une perte de puissance de près de 10 MW en cas de forte charge. Cela correspond à la puissance de deux grandes éoliennes.

La supraconductivité élimine les pertes

Afin de réduire les pertes de transport, l'utilisation de câbles électriques supraconducteurs est discutée depuis longtemps et testée dans des installations d'essai. Les supraconducteurs ont la propriété de conduire l'électricité sans

perte électrique notable. Pour ce faire, ils doivent être fortement refroidis. Pour les applications commerciales, l'accent est mis sur la supraconductivité à haute température (HTS), laquelle a beaucoup évolué au cours des 10 à 15 dernières années. Elle repose sur des matériaux céramiques qui acquièrent des propriétés supraconductrices déjà à des températures relativement élevées, à partir de 77 K (–196 °C). 77 K correspond à la température d'ébullition de l'azote, à pression normale. L'azote est un matériau idéal pour refroidir les supraconducteurs dans la mesure où il est facile à liquéfier et ne présente aucun danger.

Aujourd'hui, jusqu'à 3 GW sont transportés par des lignes électriques performantes aux tensions utilisées en Europe. Avec les supraconducteurs, ce chiffre pourrait être multiplié par dix à l'avenir. Avec des quantités d'électricité aussi importantes, l'élimination des pertes de transport permet d'économiser plus d'électricité qu'il n'en faut pour refroidir les supraconducteurs. « Les applications utilisant des supraconducteurs bien isolés thermiquement prouvent que des gains d'efficacité sont possibles malgré le refroidissement nécessaire », explique le Dr Bertrand Dutoit, responsable du groupe de supraconductivité appliquée à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). Le chercheur cite l'exemple de la ligne moyenne tension d'un kilomètre exploitée de 2014 à 2021 dans la ville allemande d'Essen par l'entreprise énergétique Westenergie. Grâce à elle, l'électricité a pu être transportée au centre-ville à une tension plus faible (10 kV au lieu de 110 kV). Le câble du projet AmpaCity a permis de transporter 39 GWh d'électricité par an. Pendant la même période, le refroidissement a nécessité 45 MWh d'énergie.

Ce projet innovant a suscité un vif intérêt de la part du public. Tout au long de ces 7 années, le transport de l'électricité s'est déroulé presque sans interruption ni perturbation; une exploitation économique n'a toutefois pas pu être atteinte au cours de cet essai pratique.

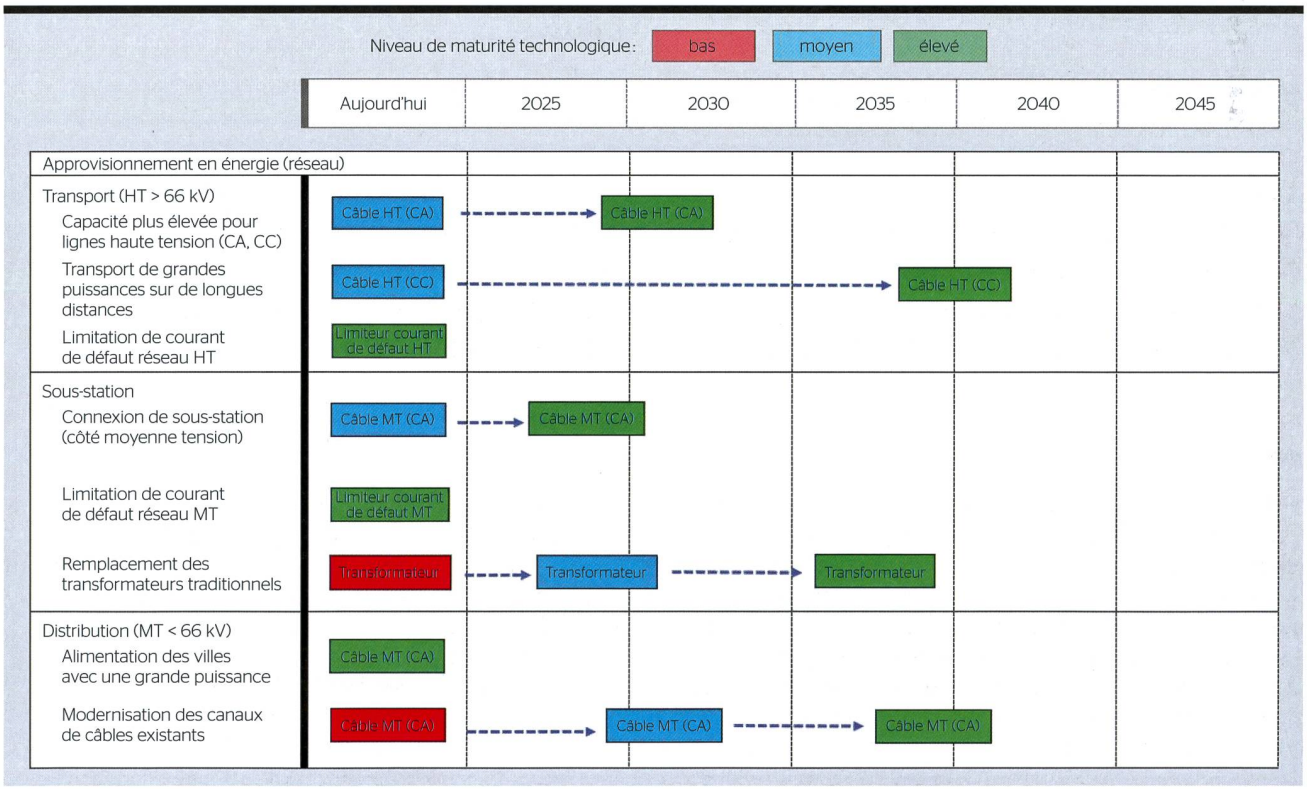
Applications à haut niveau de maturité technologique

Un groupe d'experts travaillant sous l'égide de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) et auquel la Suisse par-

Engagement suisse

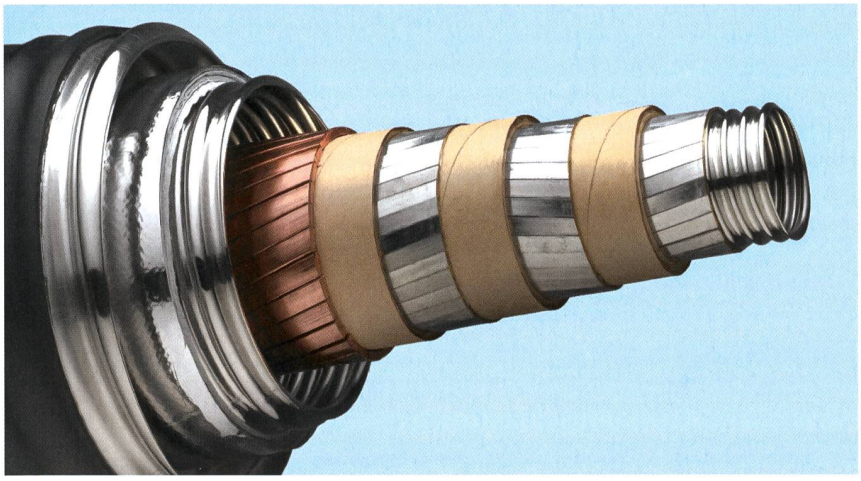
Derrière l'abréviation IEA HTS TCP se trouve un groupe d'experts de composition internationale travaillant sous l'égide de l'Agence internationale de l'énergie. L'AIE gère environ 40 « Programmes de collaboration technologique » (TCP), dont le programme « Supraconductivité à haute température (HTS) ». Outre la Suisse, huit pays sont représentés dans ce groupe d'experts, dont les États-Unis, le Japon et l'Allemagne. Celui-ci s'est donné pour mission d'« évaluer le statut et les perspectives d'utilisation future de la HTS dans le secteur de l'électricité des pays industrialisés et en voie de développement, et à communiquer ces résultats aux décideurs des gouvernements ainsi que des secteurs privés et de la R&D ». Les représentants suisses au sein de l'IEA HTS TCP sont Carmine Senatore (Université de Genève) et Roland Brüniger (R. Brüniger AG Engineering & Consulting).

Pour plus d'informations : ieahts.org



« L'Application Readiness Map » pour les supraconducteurs à haute température dans le réseau électrique : un haut niveau de maturité technologique (en vert) signifie qu'une application existe en tant que prototype ou est déjà opérationnelle. Un niveau de maturité moyen (en bleu) signifie que la technologie a été démontrée en laboratoire ou sur le terrain. En cas de bas niveau de maturité (en rouge), on dispose au mieux d'une preuve de concept.

Figure : IEA HTS TCP



Structure du câble HTS tel qu'utilisé jusqu'à 2021 dans la ville d'Essen, en Allemagne : les trois couches supraconductrices (argentées) sont séparées par trois isolants (marron). Le blindage en cuivre est visible à gauche. Le tube composé par ces différentes couches est entouré d'azote, à l'intérieur comme à l'extérieur, et refroidi ainsi à -200 °C.

Câble supraconducteur de 10 kV utilisé d'avril 2014 à mars 2021 dans le centre-ville d'Essen. Le réservoir d'azote se trouve à droite, à l'extérieur du bâtiment.

Extrémité d'un câble supraconducteur à courant continu avec une tension de 80 kV en Corée du Sud.

ticipe (voir le **premier encadré**) a évalué le niveau de développement des applications HTS pour le réseau électrique et les a rassemblées dans une « Application Readiness Map » (ARM). Ce document offre une vue d'ensemble du niveau de maturité technologique de différentes applications HTS. Les expertes et experts de l'industrie et de la recherche ayant participé au projet ont identifié trois domaines dans lesquels la technologie HTS a déjà atteint un haut niveau de maturité : parmi ceux-ci, les câbles moyenne tension performants pour alimenter les centres-villes, comme ceux utilisés à Essen, et qui sont également testés en Corée du Sud, en Chine et au Japon. « Les supraconducteurs peuvent transporter jusqu'à cinq fois plus d'électricité que les câbles traditionnels de même taille, ce qui en fait une solution relativement bon marché pour l'approvisionnement des zones urbaines dont les besoins en électricité sont en constante augmentation », explique le professeur Carmine Senatore (Université de Genève), qui représente la Suisse au sein du comité d'experts de l'AIE.

Les dispositifs destinés à limiter les courants de court-circuit sur les réseaux moyenne et haute tension sont également prêts pour une application com-

Recherche

L'OFEN soutient la recherche sur les supraconducteurs. Dans un projet récent, des scientifiques de l'EPFL ont développé un modèle numérique pour décrire les bandes REBCO, tel qu'elles sont utilisées dans les câbles électriques supraconducteurs. Les bandes REBCO sont généralement composées de terres rares (telles que l'yttrium et le gadolinium), de baryum et d'oxyde de cuivre (en anglais, « Rare Earth - Barium - Copper Oxide », REBCO). Le modèle de l'EPFL décrit avec précision comment la résistance électrique augmente lorsqu'un supraconducteur est chauffé et perd ses propriétés supraconductrices. Le rapport final du projet « Quench behavior of High-Temperature Superconductor tapes for power applications » est disponible sur : www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40187

Figures : Westenergie AG / KEPCO

merciale. Ces limiteurs de courant de défaut freinent les courants élevés, typiques des courts-circuits, sans toutefois interrompre le flux de courant. Lorsqu'un limiteur de courant de défaut supraconducteur est traversé par un courant élevé et que la quantité maximale de courant définie est dépassée, il perd son caractère supraconducteur. Les premiers appareils de protection de ce type pour la haute tension sont en service commercial en Thaïlande et, depuis fin 2019, près de Moscou. Ces dispositifs sont déjà plus répandus au niveau de la moyenne tension. Plus de 20 applications sont connues à l'échelle mondiale. Les limiteurs de courant de défaut sont également utilisés pour la modernisation d'anciens réseaux électriques, en les protégeant contre les surcharges.

Raccordement d'éoliennes offshore

Selon l'estimation des experts, il existe trois domaines d'application pour les câbles supraconducteurs présentant actuellement un niveau moyen de maturité technologique: il s'agit notamment de lignes à haute tension pour le transport de courant alternatif qui pourraient remplacer les lignes aériennes actuelles, mais également de nouvelles lignes à haute tension pour le transport de courant continu sur de longues distances. Des installations d'essai souterraines de quelques centaines de mètres ont vu le jour au cours de la dernière décennie en Chine, en Corée et au Japon. Un câble 20 kV de 2,5 km devait en outre être achevé fin 2021 à Saint-Pétersbourg. La construction de longues lignes supraconductrices est exigeante du point de vue technique. Sur les terrains plats, elles doivent être équipées d'une station de refroidissement tous les 10 à 25 km.

Jochen Kreusel n'est pas partenaire du programme de l'AIE, mais il a une grande expérience de l'équipement des réseaux électriques en tant qu'expert en réseaux électriques d'Hitachi Energy – une coentreprise des groupes Hitachi et ABB, composée essentiellement de l'ancienne division réseaux électriques d'ABB. « La fascination pour la supraconductivité n'est pas récente », déclare-t-il, « mais aujourd'hui, nous sommes dans une situation où cette technologie pourrait effectivement faire une percée. » Il fait référence aux projets d'extension de parcs éoliens en mer du Nord jusqu'à une puissance totale de 450 GW. « Amener de si grandes quantités d'électricité à terre nous place devant de nouveaux défis. Certes, cela est également possible avec la technologie actuelle des câbles, si des câbles suffisamment grands sont utilisés, mais des câbles supraconducteurs performants trouveraient ici un domaine d'application idéal », explique l'expert industriel.

Projet de câble HTS aux États-Unis, à Chicago, dans l'État de l'Illinois.

Figure: AMSC

Un énorme potentiel de changement

Les experts ont identifié d'autres domaines d'application dans lesquels la technologie HTS pourrait être utilisée à moyen ou long terme: par exemple, la connexion de plusieurs réseaux moyenne tension pour augmenter la sécurité d'approvisionnement, l'utilisation de câbles moyenne tension pour la modernisation de câbles souterrains existants, ainsi que lors de la construction de transformateurs d'un nouveau type.

Des obstacles techniques, économiques et réglementaires doivent toutefois encore être surmontés avant que les câbles et composants supraconducteurs ne soient prêts pour une utilisation commerciale à grande échelle dans les réseaux électriques. Malgré tout, Jochen Kreusel est convaincu que la feuille de route de l'AIE répond à un besoin actuel: « La supraconductivité est en route vers une application technique à grande échelle. En tant qu'entreprise industrielle produisant des appareillages électriques et des transformateurs, nous suivons cette évolution de très près, car si la technologie supraconductrice s'impose, elle aura un énorme potentiel de changement pour l'ensemble de l'approvisionnement en énergie électrique. »

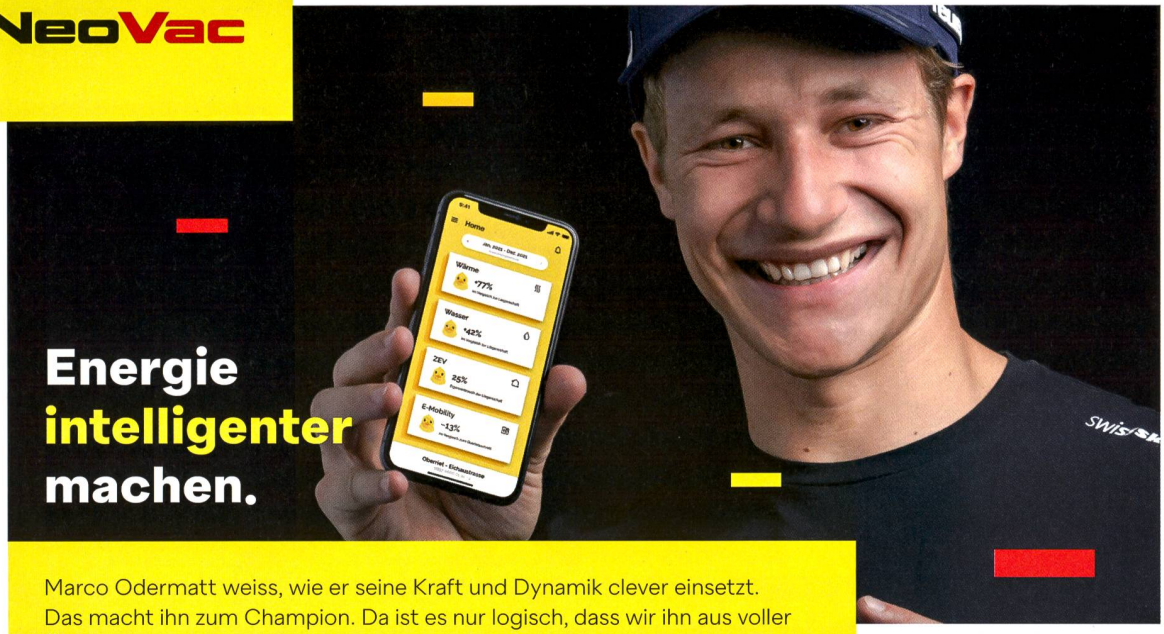
Littérature complémentaire
Vous trouverez plus d'articles spécialisés concernant les projets pilotes, de recherche, de démonstration et les projets phares dans le domaine des technologies de l'électricité sur www.bfe.admin.ch/ec-strom.

Lien
→ Application Readiness Map: ieahts.org/publications

Auteur
Dr **Benedikt Vogel** est journaliste scientifique.
→ Dr. Vogel Kommunikation, DE-10437 Berlin
→ vogel@vogel-komm.ch

Roland Brüniger (roland.brueniger@brueniger.swiss), responsable externe du programme de recherche sur les technologies de l'électricité de l'OFEN, communique des informations à ce sujet.

NeoVac



Energie intelligenter machen.

Marco Odermatt weiss, wie er seine Kraft und Dynamik clever einsetzt. Das macht ihn zum Champion. Da ist es nur logisch, dass wir ihn aus voller Überzeugung unterstützen. Schliesslich geht es auch bei NeoVac darum, Energie auf intelligente Weise zu nutzen. In diesem Sinne: **Weiter so, Marco!**

Making energy smarter

neovac.ch

Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz

Sicherheitshandbuch

Version 2022 – mit Integration ESTI 407.
Seit über 20 Jahren DAS Nachschlagewerk der Branche.

Jetzt bestellen
strom.ch/sihabu

Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Association des entreprises électriques suisses
Associazione delle aziende elettriche svizzere

VSE AES