



Une fois la ligne THT câblée et les installations auxiliaires mises en service, la ligne aérienne du Gothard sera démantelée. Figures: Swissgrid

Penser les infrastructures de manière intégrée

14

dossier | réseaux énergétiques

Installation d'une ligne câblée THT dans le tunnel routier du Gothard

Gabriele Crivelli, Marco Hutz

Le Gothard est bien plus qu'un simple goulet géographique de la Suisse. Depuis des siècles, il relie le nord et le sud, les peuples et les marchés, les cultures et les innovations. Aujourd'hui, il se trouve à nouveau au cœur d'une transformation: il devient un symbole de la transition énergétique et de la modernisation du réseau électrique suisse. La nouvelle ligne câblée dans le tunnel routier du Gothard montre comment cet axe stratégique joue un rôle clé pour l'avenir de notre pays, même au XXI^e siècle.

Moderniser le réseau pour réussir la transformation énergétique

Portée par la décarbonation, la décentralisation de la production d'électricité et la numérisation, la transformation du système énergétique confronte la Suisse à de grands défis. D'une part, la consommation électrique augmente fortement, notamment en raison du remplacement des chauffages à mazout et à gaz par des pompes à chaleur, de l'essor de la mobilité électrique ainsi que de la construction de grands centres de données. D'autre

RÉSUMÉ



part, la production d'électricité devient plus volatile, avec l'essor du photovoltaïque et de l'éolien en Suisse et en Europe. Les flux transfrontaliers augmentent, notamment entre les parcs éoliens de la mer du Nord et les centrales solaires du sud de l'Europe. La numérisation permet, pour sa part, de mieux coordonner la consommation, la production et le stockage, ainsi que de piloter les flux électriques de manière plus fine.

La transformation du système énergétique nécessite non seulement de nouvelles installations de production, mais surtout un réseau électrique performant, flexible et pérenne. La modernisation du réseau de transport constitue ainsi un pilier central de la stratégie Réseau stratégique 2040 de Swissgrid [1].

Un projet pionnier au Gothard

Le projet en cours de réalisation au Gothard constitue un exemple remarquable d'innovation en matière de modernisation du réseau. En collaboration avec l'Office fédéral des routes (OFROU), Swissgrid intégrera une ligne à très haute tension (THT), de 220 kV, dans la seconde galerie du tunnel routier du Gothard (figure 1).

Longue de 18 km, cette ligne deviendra la plus longue ligne câblée THT de Suisse à son entrée en service. Elle remplacera la ligne aérienne existante sur le col du Gothard, dont le démantèlement allègera considérablement le paysage emblématique, notamment dans les gorges de Schöllenen et aux alentours de la Tremola.

Les câbles souterrains : un défi pour le réseau

Pour le transport d'électricité dans le réseau à très haute tension, deux technologies sont fondamentalement disponibles : les lignes aériennes et les câbles souterrains. Les lignes aériennes sont éprouvées, relativement économiques et plus rapides à réparer en cas de panne.

Les câbles souterrains (figure 2) sont plus discrets visuellement, mais nécessitent des structures de transition volumineuses et des jonctions environ tous les 1200 m. Ils présentent des temps de réparation plus longs et posent des défis techniques pour l'exploitation du réseau. Ils génèrent notamment une puissance réactive plus élevée, ce qui impose la mise en place d'installations de compensation. Ceci est également le cas au Gothard : pour garantir la stabilité du réseau, de telles installations devront être construites à chaque extrémité des câbles afin

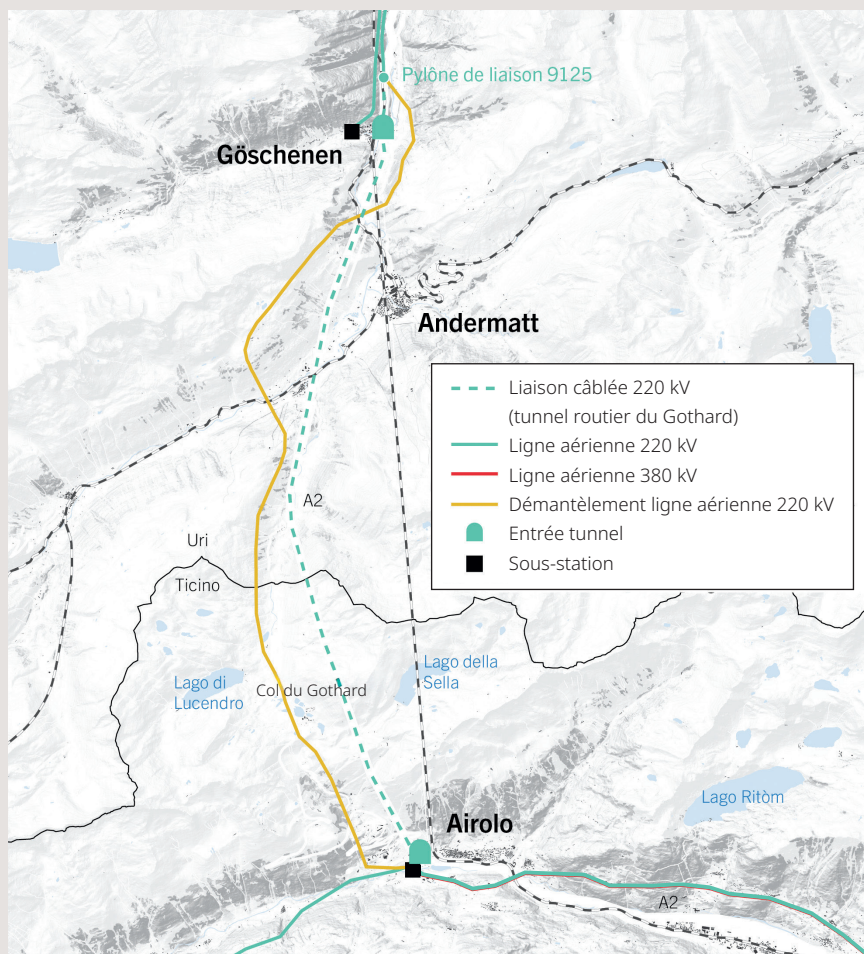


Figure 1 Plan de situation.

de compenser la puissance réactive excédentaire. Ces installations sont coûteuses, nécessitent de l'espace, et engendrent une consommation d'énergie supplémentaire ainsi que du bruit. Enfin, il ne faut pas non plus négliger le coût total des installations câblées, nettement supérieur à celui des lignes aériennes. C'est pourquoi les câbles souterrains ne

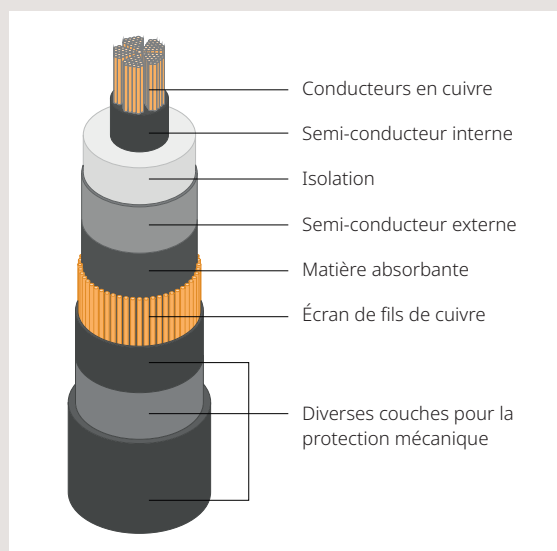


Figure 2 Structure d'un câble souterrain de 220 kV.

doivent être envisagés que dans des cas exceptionnels dûment justifiés.

Au Gothard, la réalisation de la ligne câblée n'est rendue possible que grâce au regroupement de deux infrastructures majeures: le tunnel routier et la ligne électrique. La construction d'un tunnel exclusivement dédié à cette dernière n'aurait pas été économiquement viable. L'intégration de la ligne dans le tunnel existant, ainsi que la longueur du tracé câblé, imposent toutefois des exigences élevées en matière de planification, de construction et d'ex-

ploitation. Ce projet fournit néanmoins des enseignements précieux pour de futures installations de câbles dans des tunnels de grande longueur.

Planification de l'installation des câbles

Dans le cadre du projet de la seconde galerie du tunnel du Gothard, il a été décidé très tôt de concevoir le canal technique en deux sections distinctes: l'une destinée aux équipements d'exploitation et de sécurité du tunnel, l'autre mise à disposition pour la réalisation de la ligne électrique câblée (figure 3). À la suite de cette décision, Swissgrid a lancé les travaux de projet et obtenu les autorisations nécessaires. Une procédure d'approbation des plans a été menée pour l'installation des câbles ainsi que pour les points de raccordement au nord et au sud. L'autorisation a été délivrée par l'Inspection fédérale des installations à courant fort (ESTI) début 2025. Une autre procédure d'approbation des plans pour le démantèlement de la ligne aérienne existante entre Göschenen et Airolo (via le col du Gothard) sera lancée ultérieurement.

Actuellement, l'OFROU réalise les travaux de forage, particulièrement exigeants en raison des conditions géologiques. Selon le calendrier global, le canal technique devrait être disponible pour Swissgrid à partir de 2028. La pose des câbles et le montage des jonctions sont prévus entre la mi 2028 et fin 2029. La mise en service de la nouvelle ligne câblée est planifiée pour début 2030. Enfin, les tests des câbles devront être achevés avant la mise en service du tunnel, car aucune intervention majeure ne sera possible dans le canal technique durant les trois premières années d'exploitation: pendant cette période, l'ensemble du trafic routier sera en effet dévié dans la seconde galerie, le tunnel existant étant en rénovation.

Après la mise en service réussie de la ligne câblée et des installations auxiliaires nécessaires, la ligne aérienne sur le col du Gothard – à l'exception de quatre pylônes utilisés par les CFF – sera démantelée. La fin du projet est prévue pour fin 2033.

Équipement du canal technique

Le canal technique est constitué d'éléments préfabriqués d'environ 2,5 m de long, insérés sur place dans les

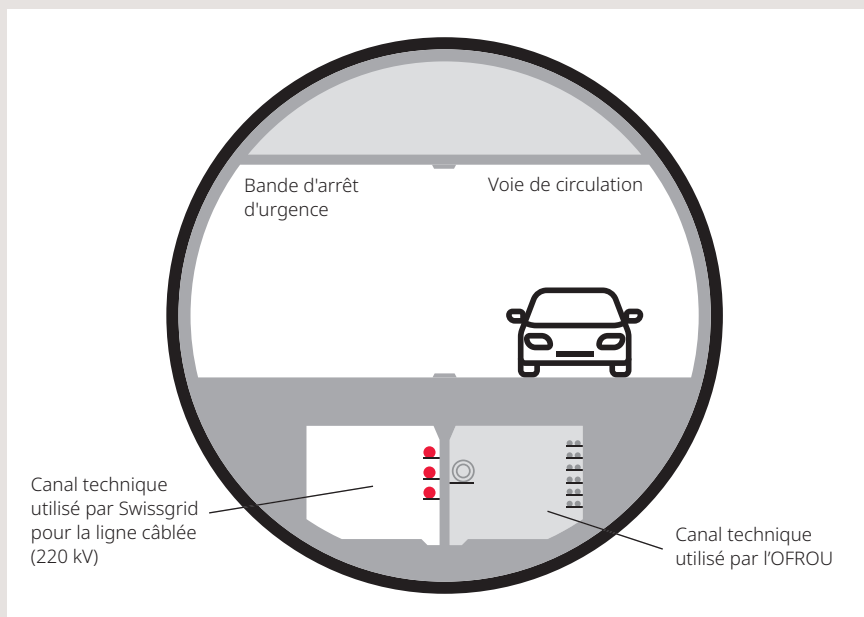


Figure 3 Situation finale dans le second tube routier du Gothard.



Figure 4 La ligne THT câblée sera installée dans le canal technique de droite.

gaines installées, puis scellés par une dalle de béton (figure 4). Les dispositifs de fixation pour les câbles ont dû être définis très tôt par Swissgrid, en collaboration avec le planificateur de l'OFROU, afin de permettre une installation ultérieure sans obstacles.

Sur l'ensemble du tracé du tunnel, environ 21 600 rails Halfen seront installés pour former deux rails sur les parois latérales et un au plafond. En complément, le canal Swissgrid sera équipé de fibres optiques et d'un éclairage de base fourni par l'OFROU, suffisant pour l'exploitation. Un éclairage temporaire supplémentaire sera mis en place pour l'installation des équipements. Enfin, le canal sera ventilé en surpression afin de garantir un accès sécurisé même pendant l'exploitation du tunnel.

L'accès au canal technique se fera par les portails nord et sud du tunnel ainsi que par cinq niches espacées d'environ 3 km, situées au niveau de la chaussée, aux emplacements des centrales de ventilation. Ces accès seront équipés d'un système de verrouillage approprié et de dispositifs de sécurité (auto-sauveteurs, lampes, etc.). Les plans d'urgence de Swissgrid et de l'OFROU seront en outre coordonnés.

Installation des câbles

La longueur totale des câbles est d'environ 19 km, car les raccordements à la sous-station d'Airolo ainsi que la connexion à la ligne de 220 kV existante Airolo–Mettlen, à Göschenen, ne sont pas directement situés au niveau du tunnel. Les tronçons de raccordement entre ces connexions et les portails du tunnel seront réalisés en blocs de tubes enterrés.

La pose des câbles dans la zone sud (Airolo) représente un défi particulier, car leur introduction dans le canal technique se fera par la centrale de ventilation située quatre étages plus haut, ce qui nécessitera une descente verticale des câbles, ainsi que de nombreuses courbes dans les trois dimensions. Dans le tunnel, les câbles seront bridés sur des supports fixés aux rails Halfen préinstallés. Leur disposition aura un impact direct sur les travaux de tirage et sur le champ magnétique. L'agencement précis est actuellement optimisé en collaboration avec le fabricant des câbles.

En raison des limites en termes de fabrication et de transport, les câbles devront être raccordés tous les 1200 m environ: ils devront donc être écartés aux

Infrastrukturen gemeinsam denken

Installation eines Höchstspannungskabels im Gotthard-Strassentunnel

Die Modernisierung des Schweizer Stromnetzes ist eine zentrale Voraussetzung für die Energiewende. In diesem Zusammenhang plant Swissgrid gemeinsam mit dem Bundesamt für Strassen eine 220-kV-Höchstspannungsleitung in der zweiten Röhre des Gotthard-Strassentunnels. Mit einer Länge von 18 km wird diese Leitung bei Inbetriebnahme die längste Höchstspannungskabelverbindung der Schweiz sein.

Obwohl unterirdische Kabel gegenüber Freileitungen weniger sichtbar sind, erfordern sie umfangreiche Übergangsstrukturen sowie etwa alle 1200 m Verbindungsmuffen. Zudem erzeugen sie eine höhere Blindleistung, die den Einbau kostspieliger Kompensationsanlagen nötig macht, welche zusätzlich Energie verbrauchen. Aufgrund der deutlich höheren Gesamtkosten kommen Kabelanlagen nur in begründeten Ausnahmefällen zum Einsatz. Am Gotthard ist die Realisierung der Kabelverbindung nur durch die Zusammenlegung zweier Infrastrukturen – des Strassentunnels und der Stromleitung – möglich.

Im Rahmen des Projekts wurde frühzeitig entschieden, den Technikkanal des Tunnels in zwei

separate Bereiche zu unterteilen: einen für die Betriebs- und Sicherheitsanlagen (BSA) und einen weiteren für Swissgrid. Die Integration des langen Höchstspannungskabels stellt dabei besonders hohe Anforderungen an Planung, Bau und Betrieb.

Im Tunnel werden die Kabel an Halterungen befestigt, die an etwa 22 000 vorinstallierten Halfen-Schienen montiert sind. Die Kupferkabel mit einem Querschnitt von 2500 mm² müssen etwa alle 1200 m durch Verbindungsmuffen verbunden werden und an fünf Lüftungszentralen, die im Abstand von rund 3 km liegen, durch Öffnungen in der Kanaldecke eingeführt werden. Die Verlegung der Kabel im südlichen Bereich nahe Airolo ist besonders herausfordernd: Dort erfolgt die Einführung über eine Lüftungszentrale, die sich vier Stockwerke über dem Technikkanal befindet, was einen vertikalen Kabelabstieg sowie zahlreiche komplexe Kurven in drei Dimensionen erfordert.

Die Inbetriebnahme der Höchstspannungsleitung ist für Anfang 2030 vorgesehen. Sie wird die bisherige Freileitung auf dem Gotthardpass ersetzen, welche anschliessend zurückgebaut wird.

emplacements adéquats afin de permettre l'installation des jonctions. En tout, 45 bobines de câble en cuivre d'une section de 2500 mm² seront transportées par camion jusqu'à Airolo et Göschenen. L'introduction des câbles se fera par les ouvertures dans le plafond du canal technique, à la hauteur des cinq centrales de ventilation. La distance de 3 km entre ces niches nécessitera de tirer à chaque fois jusqu'à trois tronçons de câble à la suite. Divers équipements temporaires (comme des galets et des treuils) seront utilisés pour cette opération, puis retirés après la pose.

Le canal Swissgrid étant classé zone coupe-feu, aucune protection incendie supplémentaire n'est requise.

Le Gothard: une fois de plus symbole d'esprit pionnier

Le projet du Gothard mené par Swissgrid illustre de manière saisissante comment la technologie, la col-

laboration interinstitutionnelle et la protection du paysage peuvent aller de pair. Ce projet conjugue innovation, respect de l'environnement et sécurité de l'approvisionnement électrique. Grâce au regroupement de deux infrastructures majeures – le tunnel routier et la ligne électrique –, il permet d'acquérir des connaissances précieuses sur l'intégration de câbles à très haute tension dans des tunnels de grande longueur. Une fois encore, le Gothard s'affirme comme un symbole de progrès, d'audace technique et de cohésion nationale.

Référence

[1] Marc Vogel, « Vers un réseau électrique robuste », Bulletin Electrosuisse 1/2024, p. 6-14, 2024.

Auteurs

Gabriele Crivelli est communication manager chez Swissgrid.

> Swissgrid SA, 5000 Aarau
> gabriele.crivelli@swissgrid.ch

Marco Hutz est responsable du secteur Lignes est/sud chez EnerTrans.

> EnerTrans Switzerland AG, 5013 Niedergösgen
> marco.hutz@enertrans.ch

ANZEIGE



Elektrifizierende Innovation im Starkstrombereich

mit COMSOL Multiphysics®

Schnelle Marktreife von Netzkomponenten verlangt nach intelligenten Designinnovationen und effizienter Produktentwicklung. Dies erreichen innovative Branchenführer durch Multiphysik-Simulation. Testen und optimieren auch Sie Ihre Produkte virtuell – lange vor dem ersten Prototypen.



ERFAHREN SIE MEHR
comsol.com/feature/elektromagnetische-innovation