

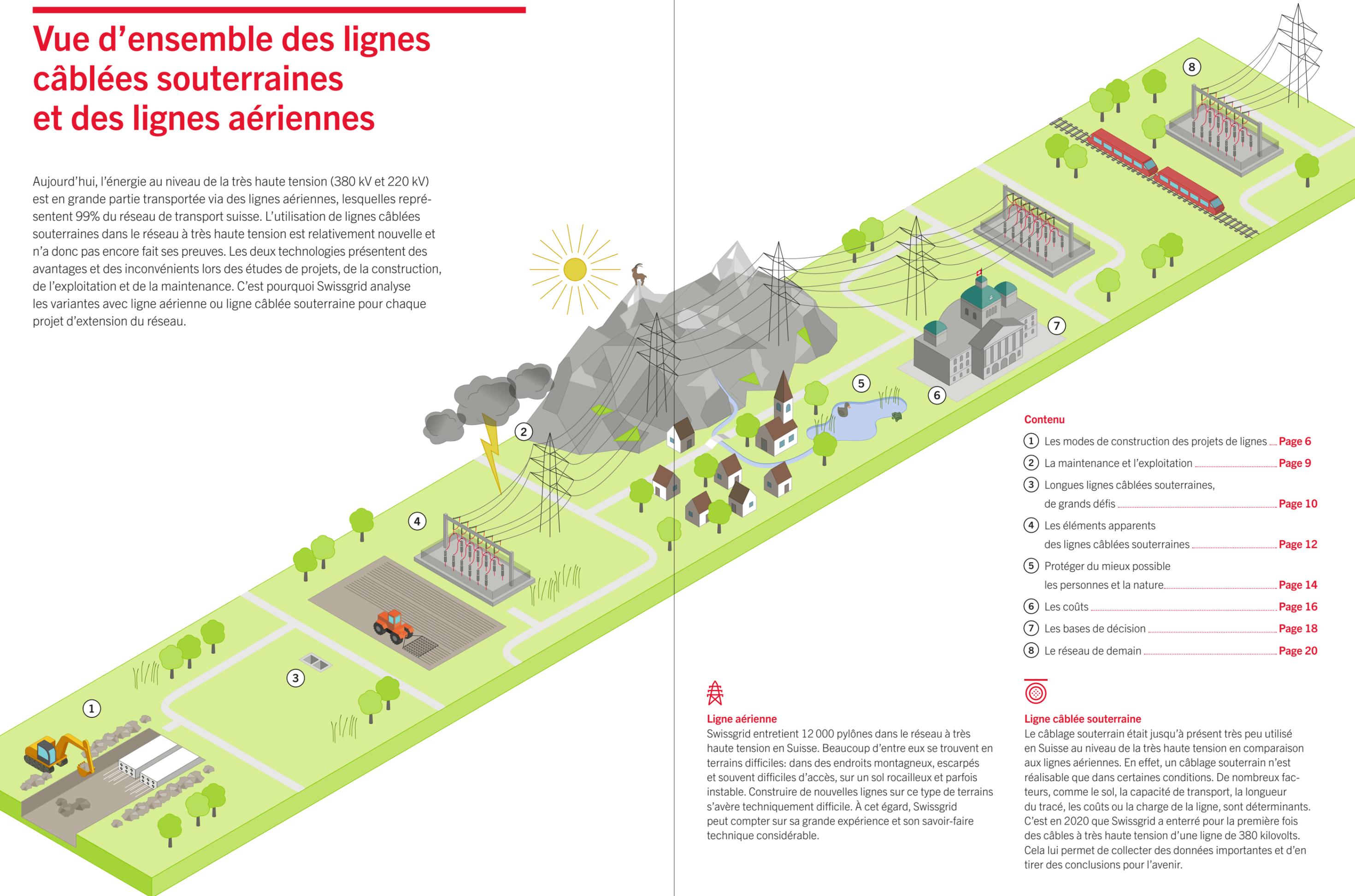
Les technologies du réseau à très haute tension suisse

Ligne aérienne et câblage souterrain



Vue d'ensemble des lignes câblées souterraines et des lignes aériennes

Aujourd'hui, l'énergie au niveau de la très haute tension (380 kV et 220 kV) est en grande partie transportée via des lignes aériennes, lesquelles représentent 99% du réseau de transport suisse. L'utilisation de lignes câblées souterraines dans le réseau à très haute tension est relativement nouvelle et n'a donc pas encore fait ses preuves. Les deux technologies présentent des avantages et des inconvénients lors des études de projets, de la construction, de l'exploitation et de la maintenance. C'est pourquoi Swissgrid analyse les variantes avec ligne aérienne ou ligne câblée souterraine pour chaque projet d'extension du réseau.



Contenu

- ① Les modes de construction des projets de lignes **Page 6**
- ② La maintenance et l'exploitation **Page 9**
- ③ Longues lignes câblées souterraines, de grands défis **Page 10**
- ④ Les éléments apparents des lignes câblées souterraines **Page 12**
- ⑤ Protéger du mieux possible les personnes et la nature **Page 14**
- ⑥ Les coûts **Page 16**
- ⑦ Les bases de décision **Page 18**
- ⑧ Le réseau de demain **Page 20**



Ligne aérienne

Swissgrid entretient 12 000 pylônes dans le réseau à très haute tension en Suisse. Beaucoup d'entre eux se trouvent en terrains difficiles: dans des endroits montagneux, escarpés et souvent difficiles d'accès, sur un sol rocailleux et parfois instable. Construire de nouvelles lignes sur ce type de terrains s'avère techniquement difficile. À cet égard, Swissgrid peut compter sur sa grande expérience et son savoir-faire technique considérable.



Ligne câblée souterraine

Le câblage souterrain était jusqu'à présent très peu utilisé en Suisse au niveau de la très haute tension en comparaison aux lignes aériennes. En effet, un câblage souterrain n'est réalisable que dans certaines conditions. De nombreux facteurs, comme le sol, la capacité de transport, la longueur du tracé, les coûts ou la charge de la ligne, sont déterminants. C'est en 2020 que Swissgrid a enterré pour la première fois des câbles à très haute tension d'une ligne de 380 kilovolts. Cela lui permet de collecter des données importantes et d'en tirer des conclusions pour l'avenir.



Extension et modernisation du réseau de transport

Le réseau de transport suisse

Le réseau de transport suisse, d'une longueur totale de 6700 kilomètres, et ses 147 postes de couplage constituent l'épine dorsale de l'approvisionnement sûr en électricité de la Suisse. Ce réseau, nommé réseau à très haute tension, transporte l'énergie produite par les centrales électriques à une tension de 380 ou 220 kilovolts vers les réseaux de distribution locaux et régionaux d'où elle est acheminée vers les consommatrices et consommateurs.

Extension et modernisation

Le réseau de transport suisse fait actuellement partie des réseaux les plus stables et les plus sûrs du monde. Les exigences envers ce réseau ont toutefois évolué en raison de la libéralisation du marché et de la production croissante d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables. Il existe d'ores et déjà des congestions structurelles sur le réseau de transport suisse. Swissgrid entretient et modernise en permanence l'infrastructure afin d'éliminer ces dernières, de préparer le réseau aux futurs défis, tels que le tournant énergétique, et d'assurer l'avenir énergétique durable de la Suisse.



6700 km

En Suisse, Swissgrid entretient plus de 6700 kilomètres de lignes à très haute tension et 12 000 pylônes.



42 km

Le pourcentage de câbles souterrains dans le réseau de transport de Swissgrid est inférieur à 1%.



260 000

Les électriciennes et électriciens de réseau ont monté 260 000 vis sur les pylônes pour l'extension de la ligne Pradella–La Punt, longue de 50 kilomètres.



15 cm

C'est le diamètre d'un câble souterrain de 380 kilovolts au niveau de la très haute tension.



40 tonnes

Le poids d'une bobine de câble peut atteindre 40 tonnes.



15 ans

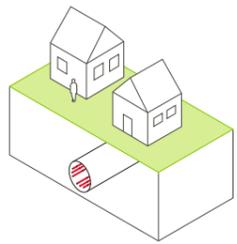
Ou plus peuvent s'écouler entre le lancement d'un projet d'infrastructure et sa mise en service. Cela est dû aux procédures d'autorisation qui prennent des années, à des oppositions et à des décisions de justice.

Les modes de construction des projets de lignes



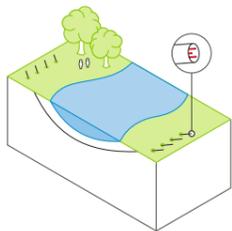
Construction du tracé: voici comment les câbles sont enterrés

Comment poser une ligne de transport dans le sous-sol? Quels procédés conviennent à quel terrain et comment affectent-ils la durée de construction, les coûts ou la capacité de charge? Dans le cadre de la planification des lignes, Swissgrid cherche toujours des solutions optimales à la croisée des quatre piliers que sont la rentabilité, la technique, le développement territorial et l'environnement. À cet égard, le «système modulaire de construction de lignes» est un outil important. Il décrit avec précision les avantages et les inconvénients des différentes solutions possibles et répond ainsi au besoin d'une évaluation fondée de toutes les possibilités de construction.



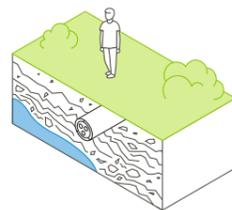
Construction de tunnels

C'est cette méthode que l'on choisit lorsque le terrain est rocheux, montagneux ou pour passer sous des obstacles tels que des habitations ou des voies ferrées. Ces tunnels accessibles sont aménagés via la construction de galeries ou par forçage hydraulique (pousse-tube), les câbles étant dirigés via des supports de câbles spéciaux. Le profil relativement important du tunnel entraîne une production considérable de matériaux d'excavation, qui doivent être mis en décharge.



Forage contrôlé

Une tête de forage à direction contrôlée creuse sous des obstacles tels que des cours d'eau, des routes ou des conduites industrielles. Un fluide stabilisant est pompé à l'arrière de la tête de forage. Puis des tuyaux vides sont mis en place pour les câbles.

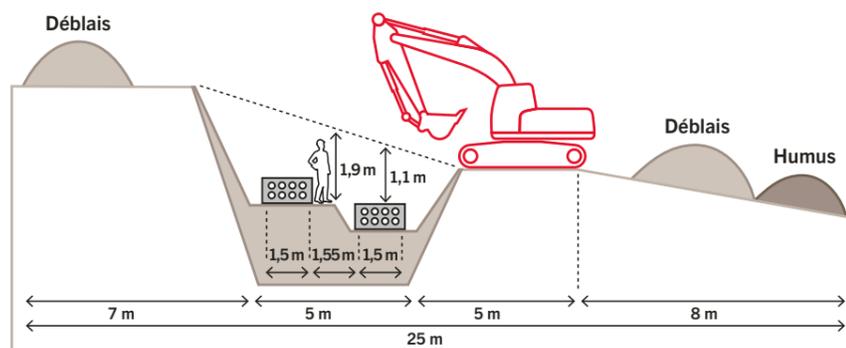


E-Powerpipe

Nouveau petit tunnelier avec avancement à l'aide d'éléments tubulaires. Le procédé se caractérise par une grande capacité d'avancement et, par conséquent, par des coûts réduits. Il est utilisé pour le creusement proche de la surface dans des roches meubles, aussi bien dans des sols secs que dans des eaux souterraines.

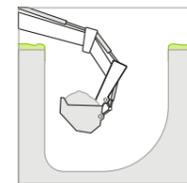
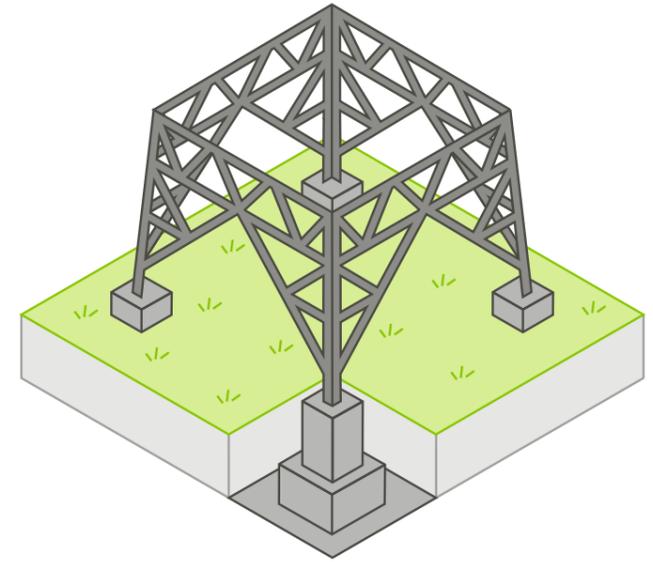
Batterie de tubes

La pose de câbles souterrains s'effectue en grande partie selon la méthode de construction de tranchées à ciel ouvert. Cette méthode nécessite le creusement d'une tranchée d'environ 2 mètres de profondeur. Un tracé d'environ 25 mètres de large est nécessaire pour le creusement des tranchées, les dépôts intermédiaires de matériaux d'excavation ainsi que les pistes de chantier. Des conduits de protection de câbles sont posés dans cette tranchée à l'aide de gabarits. Ils sont ensuite bétonnés en batteries de tubes et la tranchée est ensuite à nouveau recouverte de terre. Ensuite, il n'y a plus qu'à tirer les câbles dans les conduits de protection de câbles.

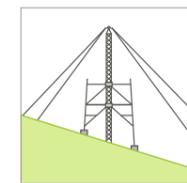


Construction de lignes aériennes: sur des fondations solides

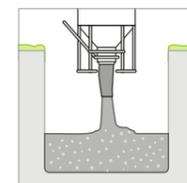
En Suisse, Swissgrid entretient plus de 6700 kilomètres de lignes à très haute tension et 12 000 pylônes. Un grand nombre de ces infrastructures cheminent sur des terrains difficiles: dans des endroits montagneux, raides et souvent difficiles d'accès, sur des terrains rocaillieux et parfois instables. Le pylône d'une ligne à très haute tension nécessite une surface maximale de 15x15 mètres. Ses fondations, composées de quatre socles, sont construites de manière très stable: elles doivent non seulement supporter le pylône mais également garantir la stabilité de l'ensemble en cas de grand vent afin que le pylône ne se couche pas. En fonction de la hauteur du pylône et du terrain, et notamment en zones montagneuses, où les pylônes sont souvent installés dans des zones raides ou instables, des mesures de sécurité supplémentaires s'imposent. Des instruments de mesure spéciaux surveillent le moindre mouvement de sol jusqu'à une profondeur de 25 mètres. Des constructions telles que la pose de treillis métalliques ou des renforcements de béton protègent les pylônes des avalanches, des chutes de pierres ou autres coulées de boue.



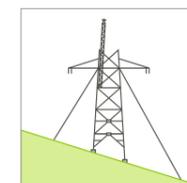
Un puits doit être creusé à l'endroit du futur emplacement du pylône, à la pelle mécanique, au marteau-piqueur ou par minage.



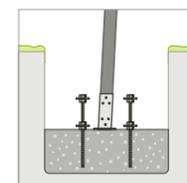
Une fois les fondations bétonnées, le montage du pylône peut débuter à l'aide d'une grue mobile, d'un hélicoptère ou d'une tour de montage (telle qu'illustrée sur le graphique).



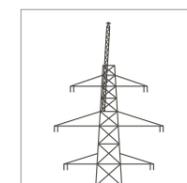
Les parois du puits doivent être sécurisées et renforcées. La base du socle est ensuite bétonnée au niveau du sol. Le socle mesure jusqu'à 4 x 4 mètres.



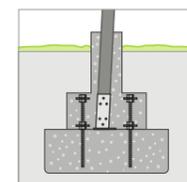
Des hélicoptères ou des camions transportent les éléments du pylône. Grâce à la tour de montage, ceux-ci sont montés pièce par pièce.



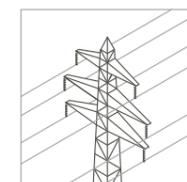
Les éléments inférieurs en acier du pylône sont ancrés dans le béton. Des pieux métalliques supplémentaires renforcent et stabilisent la fondation de part et d'autre de l'ancrage.



Le pylône grandit continuellement en hauteur. Sur les terrains escarpés, certains éléments du pylône sont montés par hélicoptère.



Les éléments en acier sont recouverts de plusieurs couches de béton armé. Le socle se rétrécit jusqu'au niveau du sol en plusieurs paliers.



Une fois la construction du pylône achevée, les câbles électriques – les fameux conducteurs – sont suspendus au niveau des isolateurs à l'aide de palans.



La maintenance et l'exploitation

Les lignes aériennes et les lignes câblées souterraines présentent des avantages et des inconvénients lors de l'exploitation et de la maintenance du réseau. Les problèmes techniques, comme le maintien de la tension, augmentent proportionnellement au nombre de tronçons souterrains du réseau de transport. En effet, ces deux technologies présentent différentes caractéristiques électriques qui entraînent des répercussions sur la stabilité et la disponibilité du réseau de transport.

Entretien et durée de vie

Lignes aériennes

Les lignes aériennes et les pylônes sont régulièrement inspectés et entretenus afin de garantir la disponibilité permanente du réseau de transport. Une ligne aérienne a une durée de vie d'environ 80 ans. Sous une ligne aérienne, le sol peut être cultivé sans grandes restrictions, dans le respect de certaines règles de sécurité.

Lignes câblées souterraines

Les stations aéro-souterraines, les câbles eux-mêmes et les chambres de jonction font partie d'un tracé de lignes câblées souterraines. Actuellement, on estime la durée de vie d'une ligne câblée souterraine à environ 40 ans. Il est à nouveau possible de cultiver et de revégétaliser le sol au-dessus d'une batterie de tubes. Il faut toutefois éliminer les arbres de grande taille ou aux racines profondes sur le tracé, car ils peuvent endommager la ligne câblée souterraine.

Perturbations

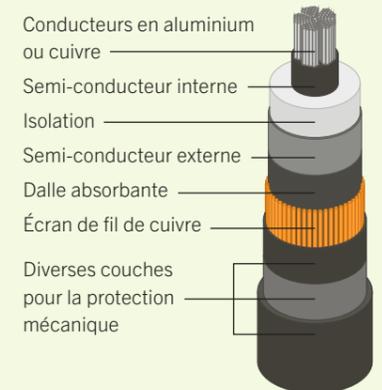
Lignes aériennes

Les lignes aériennes sont plus exposées que les lignes câblées souterraines aux influences de la nature, comme la foudre, l'accumulation de glace ou la chute d'arbres. Elles sont donc plus souvent touchées par des perturbations et des interruptions que les lignes câblées souterraines, bien à l'abri dans le sol. Toutefois, dans le cas des lignes aériennes, ces problèmes peuvent généralement être résolus en quelques minutes ou en quelques heures.

Ligne câblée souterraine

Dans le cas des lignes câblées souterraines, les perturbations sont rares. Leur élimination requiert par contre beaucoup plus de temps que pour les lignes aériennes, étant donné que, souvent, les câbles ont subi des dommages et doivent donc être remplacés. Cela peut durer plusieurs semaines ou plusieurs mois, car les câbles sont dimensionnés et fabriqués sur mesure pour chaque projet. Retirer un câble endommagé et tirer un nouveau câble sont des opérations très complexes étant donné le poids élevé d'un câble souterrain.

Structure d'un câble souterrain



Câble souterrain avec du polyéthylène (XLPE) comme matériau isolant

Au niveau de la très haute tension, différentes technologies de câbles sont utilisées. Les principales différences concernent le matériau isolant qui recouvre les conducteurs. Celui-ci peut être constitué de gaz, d'air comprimé ou de polyéthylène. Chacune de ces technologies a ses avantages et ses inconvénients. Les câbles isolés au polyéthylène sont la norme pour les lignes câblées souterraines à très haute tension. C'est ce type de câble que Swissgrid a utilisé à Bözberg (AG) et entre La Bâtiatz et Le Verney (VS). Ils sont très polyvalents, car ils sont installés dans des caissons de câbles en béton, des tunnels et même sous l'eau, comme c'est par exemple le cas pour la ligne de 150 kV entre Brusino et Morcote (TI). Le cœur des câbles est constitué d'un conducteur en cuivre ou en aluminium, recouvert de plusieurs couches de polyéthylène. Des couches supplémentaires servent à l'étanchéité, à la protection mécanique ou à la mise à la terre de courants capacitifs et de court-circuit. L'inconvénient de cette technologie est son poids.

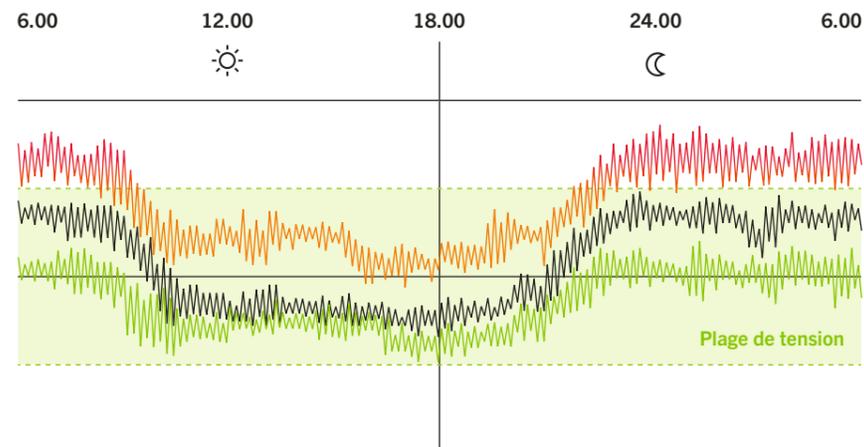
Longues lignes câblées souterraines, de grands défis

Swissgrid est ouverte à la technologie et élabore pour chaque projet des variantes de lignes aériennes et de lignes câblées souterraines. Lors de l'évaluation de leurs avantages et inconvénients, il ne faut toutefois pas seulement tenir compte du tronçon de ligne concerné, mais du réseau dans son ensemble. Des phénomènes physiques et des défis opérationnels limitent l'utilisation de lignes câblées souterraines dans le réseau de transport. Swissgrid soutient les innovations technologiques et les projets pilotes pour le réseau de demain.

Maintien de la tension

Le centre de conduite du réseau de Swissgrid doit veiller 24 heures sur 24 à ce que la tension du réseau de transport évolue dans une certaine fourchette. À défaut, les installations électriques risquent d'être endommagées. Les lignes câblées souterraines augmentent davantage la tension que les lignes aériennes en raison de leurs caractéristiques physiques. Si le nombre de kilomètres de lignes câblées souterraines dans le réseau de transport augmente, les mesures habituelles

pour maintenir la tension (ordonner aux centrales électriques d'augmenter ou de réduire leur production) ne suffisent plus. Dans ce cas, il faut par exemple recourir à des installations dites de compensation. Toutefois, ces dernières prennent beaucoup de place, sont coûteuses et génèrent du bruit. De plus, des composants techniques supplémentaires augmentent la complexité et donc la vulnérabilité du réseau de transport.



- ☉ ☉ ☉ ☉ beaucoup de lignes câblées souterraines
- ☉ ☉ ☉ ☉ peu de lignes câblées souterraines
- ☉ ☉ ☉ ☉ 100% de lignes aériennes



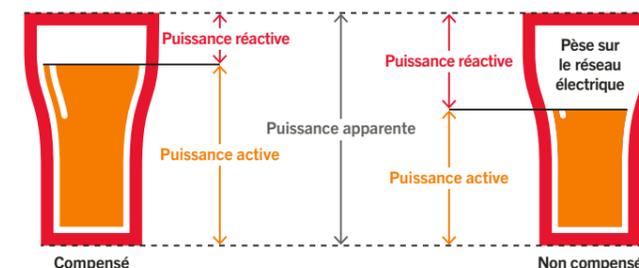
Tunnel de câbles entre La Bâtiaz et Le Verney près de Martigny (VS)

Puissance réactive

La puissance réactive est un peu comme la mousse qui remplit le verre et laisse moins de place à la bière. En physique, on distingue la puissance réactive capacitive de la puissance réactive inductive. Celles-ci se compensent et, dans l'idéal, s'annulent complètement. Swissgrid essaie d'exploiter ses lignes au plus près de ce point dit de «puissance naturelle». Cela n'est pas possible avec les lignes câblées souterraines, car elles ont tendance à trop s'échauffer. Les longues lignes câblées souterraines réduisent donc soit la puissance réelle d'une ligne (puissance active), soit elles rendent nécessaires des installations pour compenser la puissance réactive. Et plus une ligne câblée souterraine est longue, plus ce défi est important.

Pertes électriques

Lorsque l'on transporte de l'électricité, il y a toujours une perte d'énergie électrique. Les pertes de puissance active dépendent de la puissance de transport. Elles sont plus élevées pour les lignes aériennes que pour les lignes câblées souterraines. Si l'on ajoute aux lignes câblées souterraines les pertes dues à la compensation de la puissance réactive, alors les pertes sont à peu près équivalentes pour les deux technologies de transport.

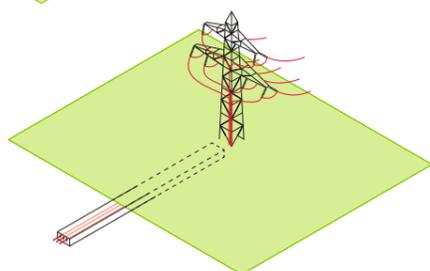
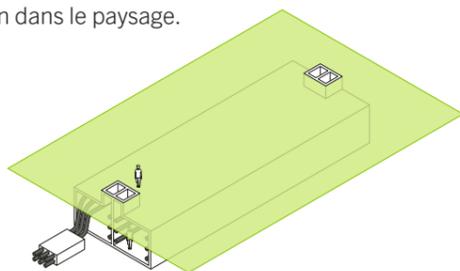
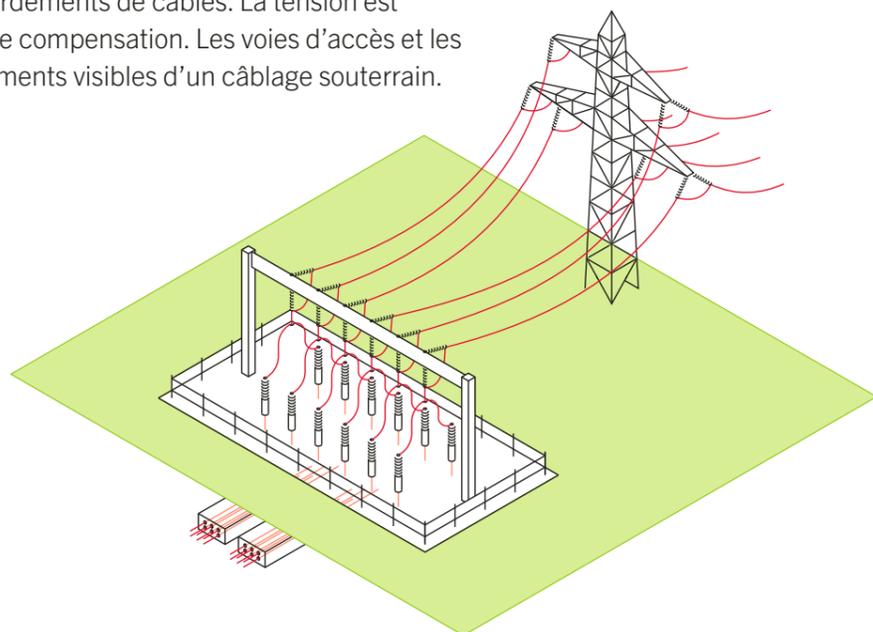


Les éléments apparents des lignes câblées souterraines

La protection du paysage est un argument majeur en faveur du câblage souterrain. La majorité de l'infrastructure de la ligne, invisible, se cache sous terre. Les lignes câblées souterraines ne manquent pas non plus de laisser des traces dans le paysage, par exemple sous la forme de tranchées dans la forêt, de routes d'accès et de stations aéro-souterraines reliant la ligne aérienne à la ligne câblée souterraine. Des chambres de jonction servent au contrôle et à la réparation des raccordements de câbles. La tension est stabilisée grâce à des installations de compensation. Les voies d'accès et les tranchées en forêt sont autant d'éléments visibles d'un câblage souterrain.

Stations aéro-souterraines

Des stations aéro-souterraines sont nécessaires pour raccorder une ligne câblée souterraine à une ligne à très haute tension. Leurs supports d'ancrage, qui s'élèvent jusqu'à environ 25 mètres dans le ciel, en sont la caractéristique la plus frappante. Ils captent les conducteurs du dernier pylône et les raccordent avec les câbles souterrains. Les stations aéro-souterraines nécessitent la superficie d'un terrain de hockey sur glace environ. Lors de la planification d'un câblage partiel, Swissgrid veille à en optimiser l'intégration dans le paysage.



Chambres de jonction

Les câbles à très haute tension enfouis dans le sol se composent de plusieurs couches. Cela constitue un poids considérable. C'est pourquoi le tirage de ces câbles dans les batteries de tubes ne se fait que sur des portions d'environ un kilomètre. Les sections de câble sont assemblées à l'aide de pièces de raccordement spéciales, les manchons. Étant donné qu'il s'agit d'une opération

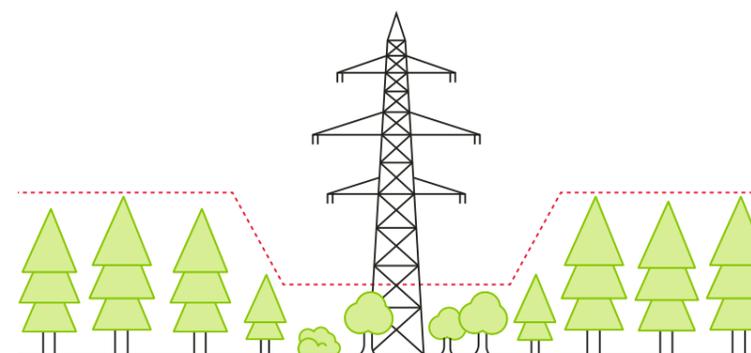
techniquement difficile, les manchons, relativement sujets à des pannes, doivent rester accessibles en permanence. Il convient donc de construire des chambres de jonction dédiées aux travaux de réparation et de montage. Des gaines spéciales sont également nécessaires pour les brides – des pinces qui empêchent les câbles souterrains de glisser dans un terrain en pente.

Mât d'arrêt

Au niveau du pylône de transition, la ligne passe de la section enterrée directement vers le haut, sur la ligne aérienne. Des mâts d'arrêt peuvent notamment être utilisés pour les lignes à 220 kV.

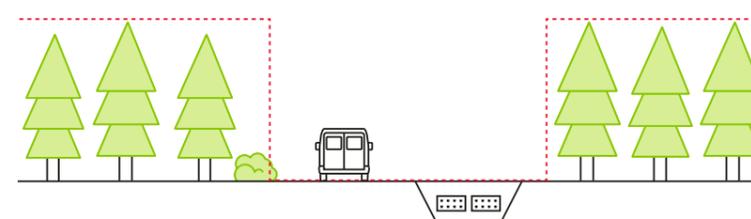


Constructions de la nouvelle ligne dans la vallée de Conches (VS)



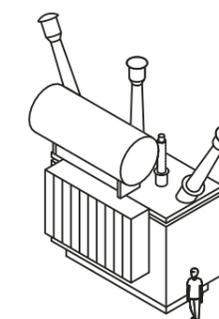
Débroussaillage et tranchées pour les lignes aériennes

La construction de lignes aériennes dans des zones forestières exige des débroussaillages, par exemple pour créer les accès, les dépôts ou pour construire les fondations des pylônes. Une partie de ces surfaces peut être reboisée une fois les travaux terminés. Seuls des arbres à branches basses doivent être plantés directement sous les lignes aériennes.



Débroussaillage et tranchées pour les câbles souterrains

Si les lignes câblées souterraines traversent des zones forestières, des élagages sont nécessaires pour faire de la place pour la construction de la tranchée de câbles. Une partie de ces surfaces peut être reboisée une fois les travaux terminés. Étant donné que les racines sont susceptibles de causer des dommages, il convient de conserver un espace dégagé au-dessus des batteries de tubes, et ce, de manière durable (ce que l'on appelle une zone à maintenir libre). Des débroussaillages durables s'imposent également lorsque des stations aéro-souterraines sont installées en zones forestières.



Installations de compensation

Swissgrid doit veiller à ce que la tension ne soit jamais trop élevée dans l'ensemble du réseau de transport. Elle peut ordonner aux centrales électriques de réduire la tension ou construire des installations de compensation qui réduisent la tension. Ces installations présentent l'inconvénient d'augmenter les pertes électriques. Elles sont toutefois indispensables pour des câbles souterrains d'une longueur supérieure à 20 kilomètres environ. Ces installations de compensation, qui ont environ la taille d'un camion en fonction de leur puissance, sont placées si possible à proximité d'une station aéro-souterraine ou d'une sous-station, mais peuvent également se trouver dans une zone dégagée.

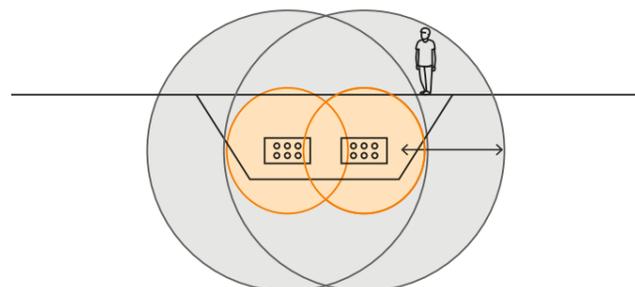
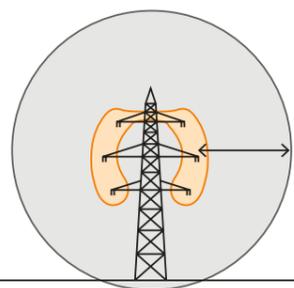
Protéger du mieux possible les personnes et la nature

Lors de projets de construction, Swissgrid met tout en œuvre pour éviter ou minimiser les effets négatifs sur les personnes, l'environnement et le paysage. Le cadre légal à cet effet est constitué par les strictes valeurs limites suisses pour le bruit ainsi que pour les champs électriques et magnétiques. Toutefois, Swissgrid met également en œuvre des mesures qui vont au-delà des obligations imposées par les autorités. Elle promeut par exemple activement la biodiversité par le biais d'une série de mesures.

Champs électriques et magnétiques

Ce que nous nommons «rayonnement électromagnétique» dans le langage courant n'est pas à proprement parler un rayonnement, mais des champs électriques et magnétiques. Ils apparaissent partout où de l'électricité est produite, transportée et utilisée. Les champs électromagnétiques créés par les lignes aériennes et les lignes câblées souterraines diffèrent avant tout par leur dimension spatiale. Les valeurs limites suisses pour ces deux cas font partie des plus strictes au monde.

Le champ magnétique existant juste en dessous d'une ligne aérienne est inférieur à celui juste au-dessus d'un câble souterrain. La dimension spatiale du champ magnétique des lignes câblées souterraines est par contre plus faible, étant donné que leurs champs se compensent en partie en raison de la disposition des câbles. La valeur limite de l'installation des lignes câblées souterraines est respectée à partir d'une distance latérale de 6 à 8 mètres. La distance doit être de 60 à 80 mètres pour une ligne aérienne.



○ 1 microtesla ○ 100 microtesla

Un grésillement dans l'air

De petites décharges électriques dans l'air se produisent constamment dans les lignes à très haute tension. Cet effet, nommé effet couronne en physique, provoque des bruits que l'oreille humaine perçoit comme des grésillements ou des bourdonnements. Si l'air est très humide, en cas de pluie, de givre, de neige mouillée ou après un orage, l'effet couronne (ou effet Corona) est renforcé et les grésillements sont plus bruyants. Les câbles souterrains eux-mêmes ne produisent pas d'immission de bruit, à la différence des infrastructures associées, comme les stations aéro-souterraines ou les installations de compensation.



Station aéro-souterraine à Riniken (AG) – projet Beznau-Birr

Ligne câblée souterraine Beznau-Birr: impact sur le sol et l'environnement

Plus le nombre de kilomètres câblés augmente, plus on obtient de connaissances sur l'impact technique, opérationnel, économique et écologique des lignes câblées souterraines. Sur le tronçon câblé de Gäbihübel, long de 1,3 kilomètre et réalisé entre 2018 et 2020 à Bözberg/Riniken, en Argovie, Swissgrid analyse par exemple le comportement thermique des conducteurs et les champs magnétiques en fonction de différentes charges et conditions d'exploitation. Par ailleurs, les effets de la ligne câblée souterraine sur le sol ont été évalués dans le cadre d'une surveillance de l'environnement. L'étude constate que la qualité du sol et les populations de vers de terre n'ont pas été affectées par le réaménagement du terrain et la légère augmentation de la température du sol au cours des deux premières années suivant la mise en service de la ligne câblée souterraine. Les sols présentent une belle population de vers de terre, ce qui laisse supposer des conditions de sol favorables.

Voir le vidéo «Ligne câblée souterraine Beznau-Birr: impact sur le sol et l'environnement»



Le câblage de la ligne Beznau-Birr démontre les conséquences du câblage d'un long tronçon d'une ligne à très haute tension sur le paysage et l'environnement, les coûts engendrés et les défis à relever en matière de construction, d'exploitation et de maintenance.

Promotion de la biodiversité

Les pylônes ainsi que les surfaces situées directement en dessous ou à côté se prêtent en de nombreux endroits à la promotion de la biodiversité au moyen de petites structures. Au niveau des pylônes, des sous-stations ou des stations aéro-souterraines, Swissgrid crée activement des habitats pour les plantes et les animaux en aménageant des mares, des amas de branches ou de pierres ou en préservant ou en favorisant de précieuses prairies maigres.

Exemple des amphibiens

Il est possible de créer de petites mares à proximité des fondations des pylônes. Différents amphibiens en profitent, comme le sonneur à ventre jaune, une espèce menacée, dont l'habitat ne cesse de diminuer en raison de la disparition des zones humides.



Les coûts

Selon la topographie, le terrain, les risques naturels potentiels et la technologie choisie, les coûts de construction d'une ligne à très haute tension peuvent fortement varier d'un cas à l'autre. Mais en règle générale, un kilomètre de ligne câblée souterraine est environ 2 à 10 fois plus cher qu'un kilomètre de ligne aérienne. Lorsqu'elle évalue la rentabilité, Swissgrid prend en compte les coûts de construction, mais aussi les coûts du cycle de vie des différentes variantes de lignes.

Pour ce calcul, Swissgrid se base sur une durée de vie de 80 ans de la ligne. Différents composants doivent toutefois être remplacés plus tôt. Pour les lignes souterraines, ce sont surtout les câbles eux-mêmes qui représentent un facteur de coût important: en raison de leur espérance de vie technique, les lignes câblées souterraines peuvent être exploitées seulement deux fois moins longtemps que les lignes aériennes et doivent être entièrement remplacées au bout d'environ 40 ans.



Ligne aérienne

Nouvelle construction	Longueur	Coût total de la construction	Coût de la construction par kilomètre
① Chamoson–Chippis	30 km	CHF 140 millions	CHF 4,7 millions
② Beznau–Birr, tronçons de lignes aériennes	5,2 km	CHF 12,1 millions	CHF 2,3 millions
③ Chippis–Mörel	44 km	CHF 120 millions	CHF 2,7 millions
④ Mörel–Ulrichen	30 km	CHF 110 millions	CHF 3,7 millions
⑤ Airolo–Lavorgo	23 km	CHF 82 millions	CHF 3,6 millions
⑥ Raccordement Nant de Drance, tronçons de lignes aériennes	12,5 km	CHF 55 millions	CHF 4,4 millions

Augmentation de la tension de lignes aériennes existantes	Longueur	Coût total de la construction	Coût de la construction par kilomètre
⑦ Bickigen–Chippis	106 km	CHF 85 millions	CHF 0,6 millions
⑧ Bassecourt–Mühleberg	45 km	CHF 17 millions	CHF 0,4 millions
⑨ Pradella–La Punt	50 km	CHF 73 millions	CHF 1,5 millions



Câblage souterrain

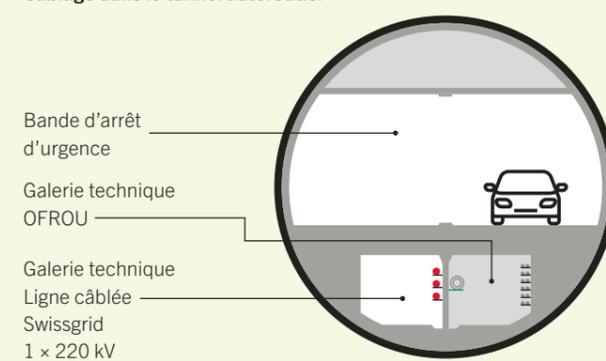
Câblage partiel	Longueur	Coût total de la construction	Coût de la construction par kilomètre
⑩ La Bâtiaz–Le Verney	1,2 km	CHF 35 millions	CHF 29,1 millions
⑪ Airolo–Mettlen (ligne câblée Saint-Gothard)	18 km	CHF 107 millions	CHF 6 millions
⑫ Beznau–Birr, tronçon câblé de Gäbihübel	1,3 km	CHF 20,4 millions	CHF 15,7 millions
⑬ Foretaille–Verbois, Axe Réseau Stratégique Genève	4,7 km	CHF 46,4 millions	CHF 9,9 millions

Regroupement de lignes à travers la montagne:

Airolo–Mettlen (ligne du Gothard)

Ces dernières années, Swissgrid a réalisé des lignes câblées souterraines d'une longueur totale de plus de 40 kilomètres sur le réseau de transport. Dans la mesure du possible et en fonction des objectifs, Swissgrid regroupe les lignes câblées souterraines avec d'autres projets d'infrastructure. La construction du second tube du tunnel routier du Gothard d'ici 2029 offre à Swissgrid un ensemble d'opportunités. Combiner une ligne à très haute tension et un tunnel de route nationale revêt un caractère précurseur en Europe. Ce projet techniquement exigeant permet à Swissgrid d'acquérir une expérience précieuse et présente également l'avantage de soulager le paysage sur le Gothard grâce au démantèlement de 23 kilomètres de lignes aériennes et de 70 pylônes.

Câblage dans le tunnel autoroutier



Les bases de décision

C'est le Conseil fédéral qui décide, dans le cadre de la procédure d'autorisation, si un tronçon de ligne doit être réalisé sous forme de ligne câblée souterraine ou de ligne aérienne. La décision prise dans le plan sectoriel des lignes de transport d'électricité (PSE) est le résultat d'une pesée globale des intérêts. Les recommandations du groupe d'accompagnement mis en place par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) jouent un rôle important à cet égard. Ce groupe est chargé de dépassionner la discussion et de permettre de prendre des décisions claires et objectives. Comme outil, celui-ci dispose d'un modèle d'évaluation spécial avec les quatre piliers que sont le développement territorial, les aspects techniques, la préservation de l'environnement et la rentabilité.



Qui sont les membres du groupe d'accompagnement?

Le groupe d'accompagnement est dirigé par l'Office fédéral de l'énergie. Il comprend, selon le projet, des représentant(e)s de plusieurs offices fédéraux (par exemple développement territorial, environnement, transports), de l'Inspection fédérale des installations à courant fort (ESTI), de la Commission fédérale de l'électricité (EiCom), des représentant(e)s des cantons concernés, une organisation de protection de l'environnement et Swissgrid. Chaque partie a une voix.

Quelles sont les tâches du groupe d'accompagnement?

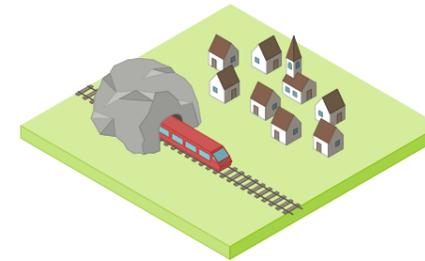
Il émet des recommandations relatives la définition de la zone de planification et du corridor de planification ainsi qu'à la technologie (ligne aérienne ou câblage souterrain) à l'attention du Conseil fédéral. Il discute, des variantes proposées par Swissgrid et les évalue. Certains offices fédéraux ont introduit une méthodologie afin de trouver des solutions qui suscitent l'acceptation la plus large possible, le «Modèle d'évaluation pour lignes de transport». Elle permet de peser les points forts et faibles de manière objective, complète et systématique.

Comment ce modèle d'évaluation fonctionne-t-il?

Ce modèle s'appuie sur quatre piliers: le développement territorial, les aspects techniques, la préservation de l'environnement et la rentabilité. Chaque pilier comporte trois à quatre groupes de critères de deux à sept sous-critères chacun, différemment pondérés. Le groupe d'accompagnement attribue des points et les multiplie avec la pondération, à l'exception des aspects économiques, où les coûts réels sont pris en compte. La comparaison du total des points fournit une base de décision, sans remplacer la balance des intérêts par les membres du groupe d'accompagnement.

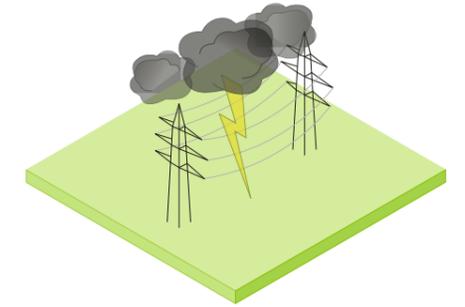


Modèle d'évaluation pour les lignes de transport



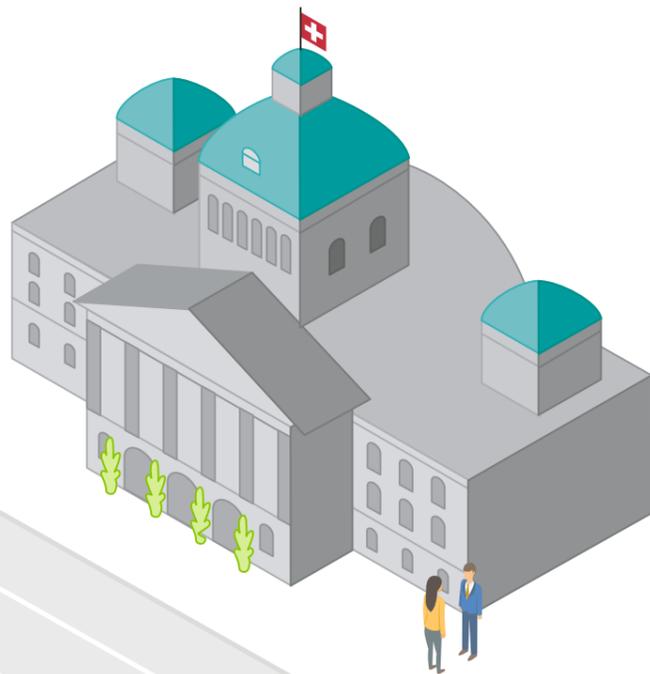
Développement territorial: limiter la surface nécessaire, regrouper les infrastructures

- **Ménager les ressources**
La variante choisie doit utiliser l'espace disponible de la manière la plus économe possible et, si possible, toujours être regroupée avec d'autres infrastructures ou utiliser des tracés existants.
- **Protéger l'espace urbain**
Les terres agricoles de qualité, mais aussi les zones d'habitation doivent être préservées, tandis que les sites et monuments protégés, les zones de détente ou les attractions touristiques doivent être évités.
- **Objectifs de planification**
Les planifications, les projets et les concepts d'ordre supérieur doivent être pris en compte.



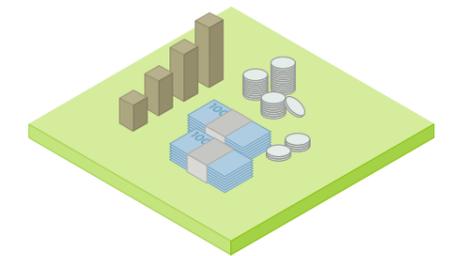
Aspects techniques: garantir la sécurité de l'approvisionnement, minimiser les pertes

- **Exploitation du réseau**
Les variantes doivent satisfaire aux exigences techniques minimales en ce qui concerne la capacité de charge, la sensibilité aux perturbations ou la durée nécessaire des réparations.
- **Fiabilité et sécurité**
Il faut également évaluer les risques liés aux dangers naturels ou aux effets des intempéries.
- **Cycle de vie**
Les pertes énergétiques et l'écobilan sont calculés pendant tout le cycle de vie des différentes variantes.



Environnement: respecter les valeurs limites, protéger les ressources naturelles

- **Protection contre les immissions**
Il existe des valeurs limites claires et mesurables qui doivent être respectées afin de protéger les personnes et la nature contre les effets d'un rayonnement électromagnétique et les bruits trop importants.
- **Protection du paysage**
En matière de protection du paysage, la consigne est de «préserver le plus possible». Il convient de réévaluer chaque tronçon de paysage. Les réserves naturelles d'importance nationale doivent uniquement être impactées s'il n'existe pas d'autres options et si un intérêt national prépondérant est en jeu. De plus, il faut tenir compte des biotopes, des réserves d'oiseaux migrateurs, des zones de protection des eaux souterraines ou des espaces réservés aux cours d'eau.



Aspects économiques: calculer les coûts de manière exhaustive, garantir l'efficacité

- **Coûts d'investissement et d'exploitation et revenus**
Pour ce pilier, on estime les coûts, réels ou standardisés (coûts au kilomètre). Ils comprennent d'une part les investissements et les investissements de remplacement pendant toute la durée d'utilisation et, d'autre part, les investissements concernant les mesures d'accompagnement.
- **Coûts imputables**
Les coûts étant répercutés sur la facture d'électricité des consommatrices et consommateurs, chaque projet de réseau est évalué par le régulateur du point de vue économique.

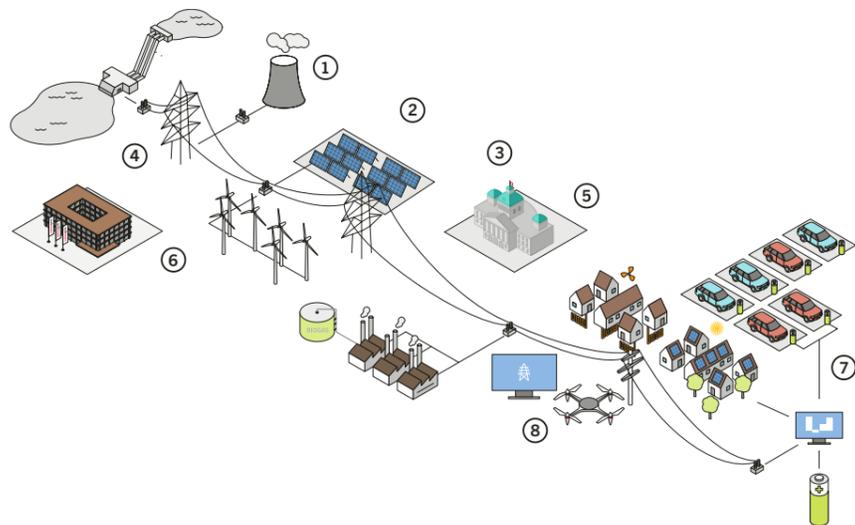
Le réseau de demain

Le système électrique suisse traverse la plus grande mutation de son histoire: la production d'électricité devient en effet de plus en plus volatile en raison des centrales électriques et des nouvelles sources d'énergie décentralisées ainsi que de la production croissante d'électricité à partir d'énergies renouvelables. Les technologies de batteries et les centrales de pompage-turbinage créent de nouvelles possibilités de stockage. À cela s'ajoutent des consommateurs supplémentaires, tels que les véhicules électriques, les pompes à chaleur et les centres de données. Cela place le réseau électrique face à de nouvelles exigences et constitue un défi pour la sécurité de l'exploitation du réseau. De plus, une grande partie des lignes du réseau de transport suisse atteindront la fin de leur durée de vie technique dans les prochaines décennies et devront donc être renouvelées. Pour que le réseau de transport puisse répondre aux besoins futurs, il doit être développé à long terme. Pour ce faire, Swissgrid établit périodiquement un plan pluriannuel, appelé «Réseau stratégique».

Le monde énergétique de demain

Le secteur de l'électricité est en pleine mutation. Le tournant énergétique, les technologies intelligentes et l'évolution du contexte politique et économique placent les entreprises énergétiques

devant de nouveaux défis. En tant que lien entre la production et la consommation d'électricité, Swissgrid, l'exploitant du réseau, joue aujourd'hui et continuera de jouer un rôle central à l'avenir.



- ① Décarbonisation, suppression des centrales électriques à puissance assurée
- ② Développement de la production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables
- ③ Un environnement énergétique et réglementaire volatil
- ④ Lenteur de l'extension des réseaux électriques
- ⑤ Exclusion croissante des mécanismes de réseau et de marché ainsi que des comités de l'UE
- ⑥ Risques découlant des évolutions mondiales telles que le changement climatique, les pandémies et la cybercriminalité
- ⑦ Forte croissance de ressources décentralisées et flexibles grâce à l'électrification
- ⑧ Belles opportunités grâce à la numérisation et à l'automatisation



Recherche au laboratoire à haute tension de l'EPF Zurich

Prêts pour la transition énergétique grâce à la numérisation

Comment transporter le courant à une très haute tension de la manière la plus fiable possible, sans pertes, de manière rentable et dans le respect du paysage et de l'environnement? Pour que le réseau de transport soit à la hauteur des exigences de demain, Swissgrid mise sur des technologies testées et éprouvées, observe le marché des technologies et participe à des processus d'innovation et des projets pilotes.

Pour plus d'informations: Recherche et développement chez Swissgrid



La transition énergétique pose de nouveaux défis au réseau électrique suisse. Le réseau de transport doit être à la hauteur des exigences du futur, d'où la nécessité de la recherche et du développement. En coopération avec les hautes écoles, Swissgrid développe de nouvelles technologies et méthodes nécessaires au transport efficace et sûr de l'énergie.



Câble souterrain ou ligne aérienne?

Parlons-en ensemble!

Réservez maintenant une visite guidée dans notre centre de visite à Niederwil (AG) et discutez avec nous des opportunités et des défis des câbles souterrains et des lignes aériennes dans le réseau à très haute tension.