

Interpellation 23.3942

Pour un réseau suisse à très haute tension sûr, efficace et respectueux de l'environnement. Intégrer dans la planification la nouvelle technologie de câbles à air comprimé

Le 7 septembre 2023

Le 16 juin 2023, le conseiller aux États Erich Ettlin (Le Centre) a déposé une interpellation intitulée «Pour un réseau suisse à très haute tension sûr, efficace et respectueux de l'environnement. Intégrer dans la planification la nouvelle technologie de câbles à air comprimé».

Texte déposé: «Plusieurs lignes à très haute tension sont arrivées en fin de vie et doivent être renouvelées ou développées pour que puisse être assuré l'approvisionnement en électricité. Cela suppose un processus complexe qui, comme l'expérience l'a montré, peut prendre des années, voire des décennies, en raison des nombreux intérêts en présence et de la raréfaction des terrains disponibles. Ces difficultés pourraient être surmontées au moyen d'une nouvelle technologie de câbles à air comprimé, développée et brevetée en Suisse. Celle-ci permet une capacité de transport d'électricité jusqu'à 420 kV avec des pertes d'énergie en partie bien moins importantes. Cette technologie permet en outre une mise sous terre nettement plus simple et donc, pour de nombreux projets, plus économique que les câbles PER (ou «VPE» en allemand). Comparée aux lignes aériennes, elle ne porte pas atteinte au paysage, elle est beaucoup plus sûre face à la fois aux phénomènes naturels et aux attaques ciblées et elle est bien mieux acceptée par l'opinion publique. Enfin, contrairement aux technologies traditionnelles, les câbles à air comprimé ne contiennent pas de gaz à effet de serre nocifs pour l'environnement (comme dans les câbles à isolation gazeuse [CIG, ou «GIL» en allemand] à SF6), ils ne nécessitent ni blocs de tubes en béton ni manchons, ils sont silencieux, ininflammables et entièrement recyclables. Non seulement la technologie innovante suisse des câbles à air comprimé est prête à être commercialisée, mais elle a déjà été testée avec succès pendant plus d'un an par les CFF (à 145 kV). Toutes les procédures de certification jusqu'à 145 kV ont été effectuées, et celles pour 220 kV seront achevées en 2023. Pourtant, malgré tous les avantages que présente cette technologie, Swissgrid hésite à l'intégrer à sa planification, faute de données empiriques de long terme – or, celles-ci ne pourront justement être recueillies qu'à la condition que cette technologie soit effectivement mise en œuvre.»

Dans le présent document, Swissgrid présente sa position à ce sujet.

Conformément à l'article 8 de la loi fédérale sur l'approvisionnement en électricité (LApEI; RS 734.7), les gestionnaires de réseau sont tenus de garantir un **réseau sûr, performant et efficace**. Pour chaque projet de construction du réseau, Swissgrid analyse les variantes avec ligne aérienne ou ligne câblée. Les deux technologies présentent des avantages et des inconvénients au regard de la construction, des coûts, de l'exploitation et de la maintenance des lignes ainsi que de l'impact sur l'environnement et le paysage. C'est le Conseil fédéral qui détermine la zone de planification, le corridor et la technologie utilisée (ligne aérienne ou ligne câblée souterraine) pour les lignes. Swissgrid, elle, met en œuvre les projets selon les modalités définies par les autorités.

Les câbles à air comprimé ne sont pas encore certifiés pour le réseau à très haute tension (380/220 kV)

En tant qu'entreprise innovante, Swissgrid est ouverte aux nouvelles technologies, qu'elle ne cesse d'étudier en collaboration avec des offices fédéraux et des partenaires. Pour le réseau à très haute tension, les câbles à air comprimé ne font actuellement **pas l'objet d'une licence et ne sont donc pas autorisés**. Cette technologie n'est pas encore assez mûre pour être planifiée avec des câbles à air comprimé.

Cette technologie récemment mise au point est actuellement testée dans le cadre d'un projet pilote au niveau de tension de 145 kV sur le site des CFF à Zurich-Seebach. L'achèvement du projet et le rapport correspondant sont prévus pour le 3^e trimestre 2023. Swissgrid clarifie actuellement la possibilité d'un essai pilote dans le domaine de la très haute tension (220/380 kV).

Lors de nouveaux projets de lignes, qui décide si une ligne aérienne ou une variante de ligne câblée souterraine doit être réalisée, et sur la base de quels critères de décision?

Pour chaque projet, Swissgrid analyse les variantes avec ligne aérienne ou ligne câblée souterraine. Ces variantes sont étudiées par le groupe d'accompagnement mis en place par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). Cela permet de tenir compte des aspects techniques, mais également du développement territorial, de l'environnement et de la rentabilité. La décision est donc le résultat d'une pesée globale des intérêts. Enfin, c'est le Conseil fédéral qui décide de la zone de planification, du corridor et de la technologie (ligne aérienne ou ligne câblée souterraine) utilisée pour la future ligne. Les frais de construction d'une ligne à très haute tension peuvent varier considérablement d'un cas à l'autre, en fonction de la topographie, du terrain, des risques naturels potentiels et de la technologie choisie. En règle générale, dans le réseau de transport, un kilomètre de ligne câblée souterraine coûte entre 1,5 et 10 fois plus cher qu'un kilomètre de ligne aérienne. Lorsqu'elle évalue la rentabilité, Swissgrid prend en compte les frais de construction, mais aussi les coûts du cycle de vie des différentes variantes de lignes.

Norme actuelle: câbles avec polyéthylène (XLPE) comme matériau isolant

À ce jour, les câbles dont l'isolant est du polyéthylène sont la **norme pour les câbles à très haute tension**. Swissgrid y a par exemple eu recours pour les projets de lignes câblées souterraines Beznau – Birr et entre La Bâtiâz et Le Verney pour le raccordement au réseau de la centrale de pompage-turbinage de Nant de Drance. Ils sont très polyvalents, car ils peuvent être utilisés dans des caissons de câbles en béton, des tunnels et même sous l'eau. La partie centrale des câbles, appelée âme, est constituée d'un conducteur en cuivre ou en aluminium. Ces câbles sont recouverts de plusieurs couches d'isolation en polyéthylène. Des couches supplémentaires servent à l'étanchéité, à la protection mécanique ou à la mise à terre de courants capacitifs et de court-circuit. L'inconvénient de cette technologie est son poids. Les câbles doivent être enroulés sur plusieurs bobines et transportés par des véhicules lourds. Des manchons sont nécessaires pour relier ces câbles. Il faut s'attendre à devoir remplacer les câbles au bout d'environ **40 ans**. Après avoir examiné toutes les possibilités, Swissgrid a opté en 2022 pour des câbles en XLPE pour le projet de pose de câbles dans le deuxième tube du tunnel du Saint-Gothard.

Aperçu de différentes technologies

Les lignes aériennes et les lignes câblées souterraines présentent des avantages et des inconvénients lors de l'exploitation et de la maintenance du réseau. L'expérience en matière d'exploitation de lignes câblées à très haute tension est minime dans le monde entier. Au niveau de la très haute tension (220 kV et 380 kV), le courant était jusqu'à présent en grande partie transporté par des lignes aériennes. L'air fait alors office d'isolant optimal. La durée de vie d'une ligne aérienne est d'environ 80 ans, contre 40 pour une ligne câblée souterraine.

Les différences entre les technologies (de câbles) se situent au niveau du matériau isolant qui recouvre les conducteurs, de l'entretien et des coûts. Ces matériaux isolants peuvent être constitués de gaz, d'air comprimé ou de polyéthylène. Chacune de ces technologies a ses avantages et ses inconvénients.

Câble à air comprimé

Les câbles à air comprimé ont une structure similaire à celle des lignes isolées au gaz. L'isolation n'est pas constituée de gaz SF6 ou d'autres gaz spéciaux, mais d'air comprimé (à une pression pouvant atteindre 10 bars). Il s'agit d'une nouvelle technologie (2020) pour laquelle l'**expérience** et la **certification** font

encore défaut dans le domaine de la très haute tension. Les conducteurs sont en aluminium. L'un des plus grands avantages est celui des émissions, car la conception des câbles à air comprimé implique un faible champ magnétique. Cependant, l'inconvénient est qu'il s'agit d'une nouvelle technologie qui n'a pas encore été certifiée et testée pour le réseau à très haute tension et qui nécessite un entretien supplémentaire.

Câbles isolés au gaz

Pour les lignes isolées au gaz, on utilise la même technologie que pour les postes de couplage isolés au gaz. Le conducteur est introduit dans des tubes métalliques remplis de gaz. Actuellement, le gaz isolant utilisé est l'hexafluorure de soufre (SF₆), un gaz à effet de serre 26 000 fois plus nocif que le CO₂. Des alternatives plus écologiques au gaz SF₆ sont actuellement utilisées dans certaines sous-stations suisses de moyenne tension. Il n'existe pas encore d'autre solution pour la très haute tension. Par rapport aux câbles en XLPE, les câbles des lignes isolées au gaz présentent une capacité de transport plus élevée pour un champ magnétique plus faible.

Supraconductivité

Les supraconducteurs sont des matériaux qui présentent une conductivité électrique très élevée à basse température. Ces matériaux peuvent être utilisés pour fabriquer des câbles similaires aux câbles en XLPE en ajoutant un fluide de refroidissement. Ce produit permet également une capacité de ligne élevée. Les champs magnétiques sont limités. L'inconvénient est qu'un système de refroidissement est nécessaire, ce qui entraîne des coûts d'exploitation et nécessite un entretien. L'utilisation de supraconducteurs à basse tension dans un réseau de transport de l'électricité nécessite des transformateurs, ce qui augmente les coûts d'investissement. Bien que cette technologie soit connue depuis un certain temps déjà, sa mise en œuvre est encore en phase de développement. Jusqu'à présent, elle n'a été utilisée que sur de courts tronçons.

Plus le câblage est important, plus le système est complexe

Les câblages augmentent la complexité du système. En raison de leurs caractéristiques physiques, les lignes câblées souterraines augmentent plus la tension que les lignes aériennes. Swissgrid doit veiller à ce que la tension ne soit jamais trop élevée dans l'ensemble du réseau de transport. À cet égard, elle peut demander aux centrales électriques de réduire la tension, ou bien construire des installations de compensation qui réduisent la tension. Toutefois, ces dernières prennent beaucoup de place, sont coûteuses et génèrent du bruit. En plus de l'absence de certification et de l'immaturation de la technologie, les câbles à air comprimé deviennent une technologie supplémentaire, coûteuse et entièrement nouvelle dans le réseau, qui doit être entretenue, ce qui implique des charges de matériel considérables.

Lors de l'exploitation, les lignes câblées présentent également toujours plus de **puissance réactive que les lignes aériennes**. La puissance réactive est un courant inutile qui «bouche» la ligne et qui ne peut pas être utilisé ou transformé en une autre forme d'énergie. Ainsi, cette puissance charge non seulement le réseau d'approvisionnement en électricité, sur lequel le courant réactif doit être transporté en plus du courant actif, mais aussi les générateurs ou le transformateur, où la puissance réactive est produite. Physiquement, on distingue la puissance réactive capacitive et 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. Pour le projet de câbles de 17 km du tunnel routier du Gothard, Swissgrid doit par exemple construire une installation de compensation dans la sous-station d'Airolo afin de compenser la puissance réactive.