

D'où vient l'électricité ?





« La modernisation du réseau de transport pose les bases d'un avenir énergétique durable »

Rafael Martín Roso Grid Project Manager



« Le réseau de transport suisse n'est pas un réseau électrique isolé. Sur le plan technique et juridique, il convient de penser au-delà des frontières »

Charlotte Rossat Senior Legal Counsel



« Pour une exploitation sûre du réseau, il est indispensable de disposer de modèles de réseau. Cette représentation abstraite du réseau réel soutient les centres de conduite du réseau dans l'exploitation en temps réel ainsi que dans la planification »

Asja Derviskadic Head of Network Modelling and Analysis



« Il y a toujours des risques. Les mesures et les processus appropriés permettent de rendre le réseau de transport plus résistant aux événements négatifs »

Hans Ulrich Künzler Head Enterprise Risk Management

L'électricité est omniprésente. Elle fait partie intégrante de notre quotidien et est indispensable à la vie moderne. Avant de jaillir de la prise de courant comme si cela allait de soi, l'énergie électrique a déjà parcouru un long chemin. Le magazine Swissgrid vous fait découvrir le rôle que joue cette dernière en tant que gestionnaire du réseau de transport sur ce parcours.

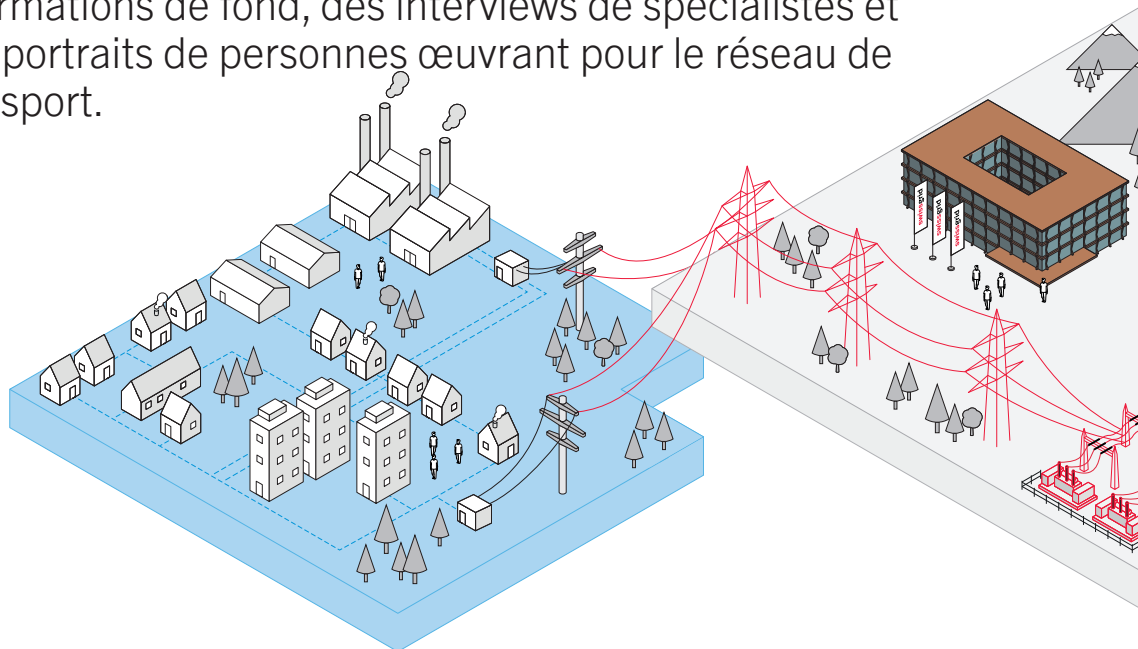
Pour que l'électricité soit disponible à tout moment, le personnel de Swissgrid est à pied d'œuvre 24 heures sur 24. Il surveille les flux d'électricité et veille à ce que l'infrastructure fonctionne sans accroc. Afin de garantir l'approvisionnement à long terme, Swissgrid planifie dès aujourd'hui le réseau du futur et apporte ainsi une contribution importante au virage énergétique.

Découvrez dans notre magazine le chemin que le courant emprunte aujourd'hui et celui qu'il empruntera demain.

Nous vous souhaitons une bonne lecture.

Le parcours de l'électricité

En trois chapitres, nous le mettons en lumière avec des informations de fond, des interviews de spécialistes et des portraits de personnes œuvrant pour le réseau de transport.



6 1 – Comment utilise-t-on l'électricité?

8 **REPORTAGE EN IMAGES** La consommation d'électricité dans la vie quotidienne



12 **DIALOGUE** Le plus grand RCP de Suisse – entretien avec Urs Buomberger

16 **LE B.A.-BA DE L'ÉLECTRICITÉ** Ce qu'il faut savoir sur l'énergie électrique et la consommation d'électricité

20 2 – Comment transporte-t-on l'électricité?

22 **REPORTAGE EN IMAGES** Le réseau de transport, artère vitale de la Suisse

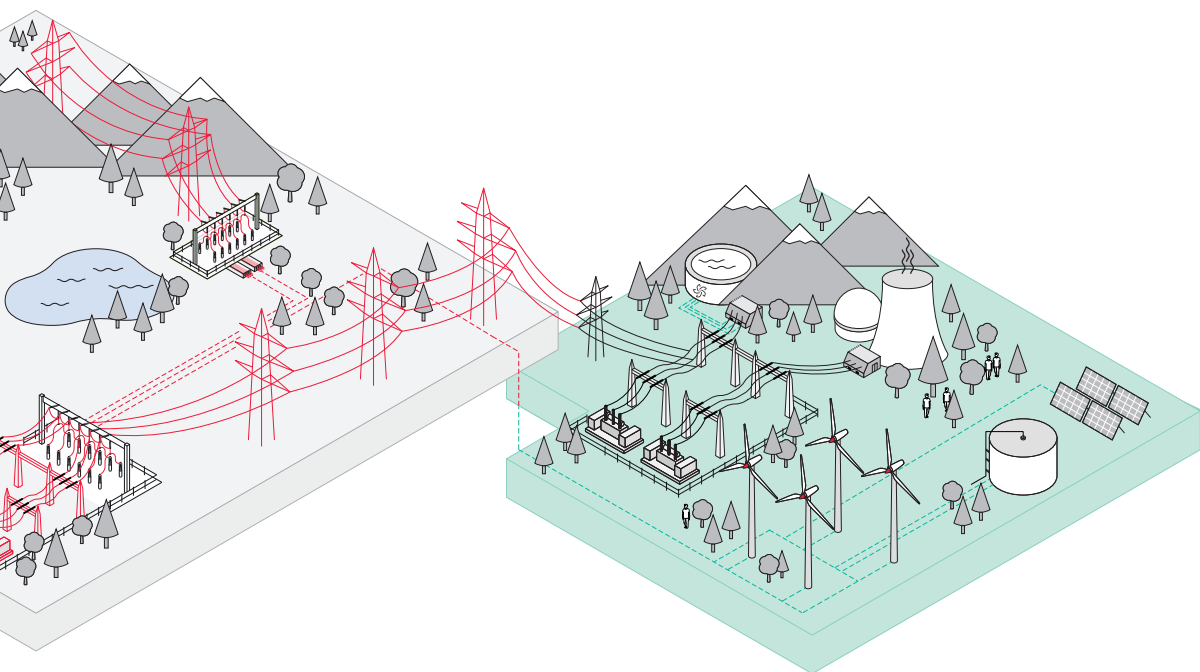
26 **TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ** Sept étapes pour arriver à destination

28 **RÉSEAU DE TRANSPORT** Les installations essentielles au réseau

30 **CENTRE DE CONDUITE DU RÉSEAU** C'est là que tout converge

34 **SÉCURITÉ DE L'APPROVISIONNEMENT** Un développement du réseau orienté vers l'avenir

38 **PROJETS DE RÉSEAU** La ligne à très haute tension Bassecourt – Mühleberg



40 **IMPACT ENVIRONNEMENTAL**
L'électricité n'est pas invisible

42 **DURABILITÉ** Une nouvelle vie dans le bois mort

44 **MARCHÉ DE L'ÉLECTRICITÉ** Parfois, les secondes comptent



46 **DIALOGUE** Un réseau de transport en mutation – entretien avec Nell Reimann

50 **INNOVATION** Amélioration des prévisions en matière d'énergie photovoltaïque

52 **3 – Comment produit-on l'électricité?**

54 **REPORTAGE EN IMAGES** Les diverses méthodes de production d'électricité



58 **DIALOGUE** Focus sur les technologies de stockage de l'électricité – entretien avec Stefan Oberholzer

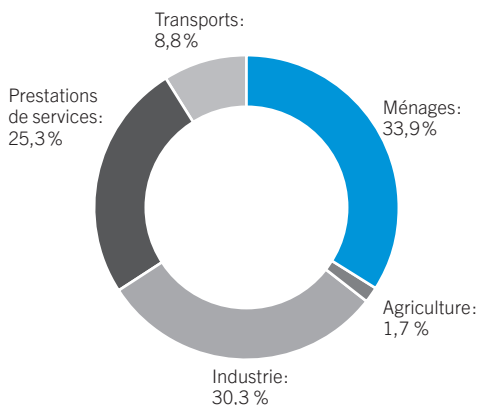
62 **LE B.A.-BA DE L'ÉLECTRICITÉ** Les sources d'énergie d'aujourd'hui et de demain

L'ère du courant électrique

On ne la voit pas, mais elle est pourtant présente en permanence dans notre société: il s'agit de l'électricité. La consommation d'énergie électrique ne cesse de croître depuis des années et continuera à le faire dans le cadre des mesures de lutte contre le changement climatique. Pour répondre à cette demande croissante, nous devons augmenter l'efficacité et introduire de nouvelles technologies dans les ménages, les transports et l'industrie.

33,9%

C'est la part de l'électricité consommée par les **ménages** suisses en 2022, la plus grande de toutes.



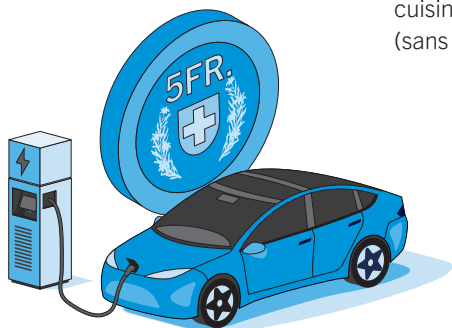
~40%

d'électricité en plus est nécessaire pendant les mois froids de l'hiver par rapport à l'été. Comme les journées sont plus courtes, on recourt davantage à la lumière artificielle. Les appareils ménagers et l'électronique de divertissement sont utilisés plus souvent, et le chauffage augmente aussi la consommation.

Près de CHF 1500



C'est ce que dépensera en 2024 pour l'électricité une famille vivant dans un appartement de 5 pièces équipé d'une cuisinière électrique et d'un sèche-linge (sans chauffe-eau électrique).



Recharger une voiture électrique coûte **environ 5 francs** pour 100 km, avec un prix moyen de l'électricité de 27,2 centimes/kWh (2023).

20 – 40%

C'est le **potentiel d'économie d'énergie** atteignable dans les entreprises, selon la branche. Le passage systématique à l'éclairage LED et à des appareils économes ainsi que l'optimisation énergétique des salles de serveurs permettent de réduire considérablement la consommation.



Produit localement, consommé localement. La plus grande communauté d'autoconsommatrices et d'autoconsommateurs de Suisse se trouve à Erlenmatt Ost à Bâle.



Fidèle compagnon. L'électricité fait partie intégrante de notre quotidien, que ce soit à la maison, en déplacement ou au travail.



Mobilité et transport. L'électrification des transports ne cesse de se développer.



Économie et commerce. Sans électricité, tout s'arrête.



Une flexibilité maximale.
De l'individu à l'État en passant par l'économie, tout le monde compte sur la disponibilité constante de l'électricité.



New Work. Les nouvelles façons de travailler ne sont pas envisageables sans électricité.

A portrait of Urs Buomberger, a middle-aged man with a receding hairline, wearing a dark blue patterned button-down shirt. He is sitting at a table with a white cup and saucer, looking directly at the camera. The background is a blurred interior with a large circular window.

« Un éventail de projets durables aux multiples facettes »

Urs Buomberger

Développeur de projet chez Stiftung Habitat à Bâle

Le site d'Erlenmatt Ost à Bâle abrite l'une des plus importantes communautés d'autoconsommatrices et d'autoconsommateurs de Suisse. Plus de 500 personnes y consomment de l'électricité renouvelable produite essentiellement au niveau local. Ce projet, récompensé par le Watt d'Or, est représentatif de la tendance à l'échelle nationale en faveur d'un système électrique plus décentralisé.

Monsieur Buomberger, la Stiftung Habitat a créé en 2010 sur le site d'Erlenmatt Ost un regroupement dans le cadre de la consommation propre, également appelé RCP. Selon vous, quel est le potentiel de ces RCP ?

Erlenmatt Ost est le premier grand site que nous avons développé de A à Z en notre qualité de fondation pour le logement et que nous avons construit avec différents promoteurs immobiliers. Cela nous a permis de concrétiser nos idées, avec notamment la création de logements à prix abordables pour les personnes de toutes conditions, mais aussi la possibilité d'habiter et de travailler dans le même quartier. Nous avons également ouvert la voie en matière d'approvisionnement énergétique en décidant de créer un RCP. On peut s'attendre à ce que le modèle RCP continue de gagner en importance. Ces dernières années, les consommatrices et consommateurs ont été davantage sensibilisé(e)s aux questions de production d'énergie, notamment en raison du changement climatique et de la guerre en

Ukraine. Les locataires sont de plus en plus nombreux à vouloir savoir d'où provient l'énergie qu'ils consomment.

Comment est née cette idée de RCP et quel est le savoir-faire en la matière ?

L'impulsion pour la mise en œuvre du RCP équipé de sa propre centrale énergétique sur le site d'Erlenmatt Ost a été donnée par des ateliers internes avec la participation de spécialistes externes. Des entretiens et des discussions ont été menés pendant une longue période sur des questions liées à la mise en œuvre des questions énergétiques, à la logistique de construction, aux délais, etc. Nous nous sommes penchés à plusieurs reprises sur une question apparemment simple, mais pourtant fondamentale: quels objectifs souhaitions-nous atteindre avec ce site et quels signaux désirions-nous envoyer? Ces considérations ont conduit à une approche non conventionnelle. Sur la base du plan d'aménagement résultant du concours de droit public, nous avons lancé un concours d'urbanisme de droit privé. Notre intention était de permettre une construction à petite échelle. En ce qui concerne l'approvisionnement énergétique, nous avons délibérément opté pour une solution écologique plutôt que pour une solution standard avec un fournisseur d'électricité local.

Quels étaient les objectifs de la Stiftung Habitat pour le projet Erlenmatt Ost en matière d'énergie ?

Les questions énergétiques ont été l'un des aspects centraux du développement du site. L'accent a également été mis sur la petite taille du site ainsi que sur d'autres aspects écologiques. À partir de ce constat, nous avons essayé de trouver la solution la plus appropriée, et nous l'avons finalement trouvée avec le RCP. Notre fondation s'engage en priorité en faveur des loyers abordables et d'une qualité de vie dans les quartiers. Exploiter notre propre centrale énergétique n'était donc pas de notre ressort. Nous avons donc cherché un partenaire approprié et l'avons trouvé avec la coopérative énergétique ADEV. Avec l'entreprise Roche, installée à proximité,

nous avons également mis en place un circuit écologique d'eaux souterraines. En effet, sur le site d'Erlenmatt Ost, la chaleur est extraite des eaux souterraines à des fins de chauffage. L'eau refroidie est ensuite transmise à Roche qui l'utilise pour refroidir ses installations.

Quelles sont les formes de consommation propre actuellement disponibles sur le site ?

Tous les toits sont équipés de panneaux photovoltaïques. C'est obligatoire pour que la centrale énergétique puisse fonctionner de manière optimale. En été, le site couvre généralement l'intégralité de ses besoins en électricité pendant la journée. Trois pompes à chaleur équipées d'un accumulateur de chauffage de 70 m³ ont également été installées. Cette configuration permet de produire de la chaleur lorsque l'électricité solaire est disponible. Les excédents remplissent les ballons tampons d'eau chaude. Le surplus est injecté dans le réseau. Au total, la consommation propre s'élève à plus de 80 %.

Que se passe-t-il s'il n'est pas possible de produire suffisamment d'énergie pour la consommation propre ?

Durant l'hiver, notamment, l'énergie nécessaire est fournie par la petite centrale hydroélectrique de Moosbrunnen via la coopérative énergétique ADEV. Cela permet de garantir que la totalité de l'énergie est produite en Suisse de manière 100 % écologique.



Portrait
Urs Buomberger

Urs Buomberger est économiste d'entreprise HES et développeur de projets au sein de la Stiftung Habitat depuis plus de dix ans. Il a consacré, et consacre toujours, l'essentiel de son activité au développement du site d'Erlenmatt Ost à Bâle, qui a été récompensé en 2019 par le Watt d'Or dans la catégorie « Bâtiments et espace » décerné par l'Office fédéral de l'énergie. Il est également président bénévole d'une importante organisation de personnes souffrant de handicap à Bâle.



La plus importante communauté d'autoconsommatrices et d'autoconsommateurs de Suisse

Depuis 2021, le site d'Erlenmatt Ost, en plein cœur de Bâle, accueille la plus grande communauté d'autoconsommatrices et d'autoconsommateurs d'électricité solaire de Suisse. Les quelque 500 habitantes et habitants ainsi que près de 25 entreprises commerciales sont approvisionnés en chaleur et en électricité renouvelables, majoritairement produites sur place. Ces regroupements dans le cadre de la consommation propre, également appelés RCP, sont une tendance qui s'étend à toute la Suisse.

Dans quelle mesure l'autosuffisance énergétique, c'est-à-dire un approvisionnement énergétique autonome, a-t-elle été un sujet de préoccupation ?

Au tout début du projet, nous avons formulé l'objectif de parvenir à un approvisionnement énergétique entièrement autonome. En témoigne la construction d'un local spécifique pour les batteries destiné au stockage d'électricité que nous avons mis en place dès le départ. Avec l'aide de spécialistes externes, nous avons toutefois dû reconnaître à l'époque qu'un tel projet n'était ni judicieux sur le plan écologique ni rentable pour un site de cette taille. L'objectif d'Erlenmatt Ost n'est pas d'être un quartier parmi d'autres, mais de faire partie de la ville. Il fait désormais partie d'un approvisionnement énergétique global, mais équipé de sa propre centrale énergétique.

Est-ce que vous évaluez la consommation de chaque ménage ? Si c'est le cas, est-ce que vous arrivez un tant soit peu à la réguler ?

Notre concept de durabilité obligatoire pour tous les bâtiments prévoit l'utilisation d'appareils électroménagers et d'ampoules performants. La consommation d'énergie effective est calculée et facturée par la coopérative énergétique ADEV. En principe,

« Erlenmatt Ost est le contraire d'une monoculture uniquement axée sur l'économie »

l'approvisionnement en électricité du site est régi par un règlement spécialement conçu à cet effet. Celui-ci n'est pas seulement valable pour nos locataires, il fait également partie intégrante des contrats de droit de superficie et régit les conditions auxquelles l'ADEV fournit l'électricité aux personnes qui la consomment. Lorsque les coûts de l'électricité sont inférieurs de 5 % à ceux des petits consommateurs, la différence est utilisée afin d'alimenter un fonds pour des investissements durables.

Qu'en est-il du couplage de secteurs à Erlenmatt Ost ?

L'ADEV nous a soumis l'idée d'une recharge bidirectionnelle avec des véhicules. Nous avons trouvé ce concept intéressant et adapté à Erlenmatt Ost. Nous avons fortement encouragé cette initiative. Là encore, il était clair pour nous, qu'en tant que fondation pour le logement, nous ne serions pas les exploitants des véhicules. Cela nécessite une infrastructure et une technologie spécifiques, ainsi que des modèles de voitures adaptés. Le projet pilote a fait l'objet d'un suivi scientifique et a permis par la suite de tirer des conclusions importantes concernant sa mise à l'échelle. Il est réjouissant de constater qu'Erlenmatt Ost a été le premier site en Suisse à mettre en place une recharge bidirectionnelle. Il illustre parfaitement les nombreux projets innovants qui ont été réalisés sur place.

Que signifie le fait d'avoir remporté le Watt d'Or ?

Le Watt d'Or est l'un des prix les plus prestigieux qui existent en Suisse en matière de durabilité. Nous sommes ravis d'avoir remporté ce prix dans la catégorie « Bâtiments et espace ». Le jury a été impressionné non seulement par la solution technique, mais aussi par la manière dont la durabilité est ex-

périmentée à Erlenmatt Ost. En témoignent par exemple les poules, qui couvent leurs poussins dans le jardin d'enfants du quartier. Comme nous l'avons mentionné, Erlenmatt Ost se présente comme un éventail de projets durables aux multiples facettes.

La Stiftung Habitat a-t-elle défini des objectifs de développement durable globaux pour ses projets de construction à la suite du développement d'Erlenmatt Ost ?

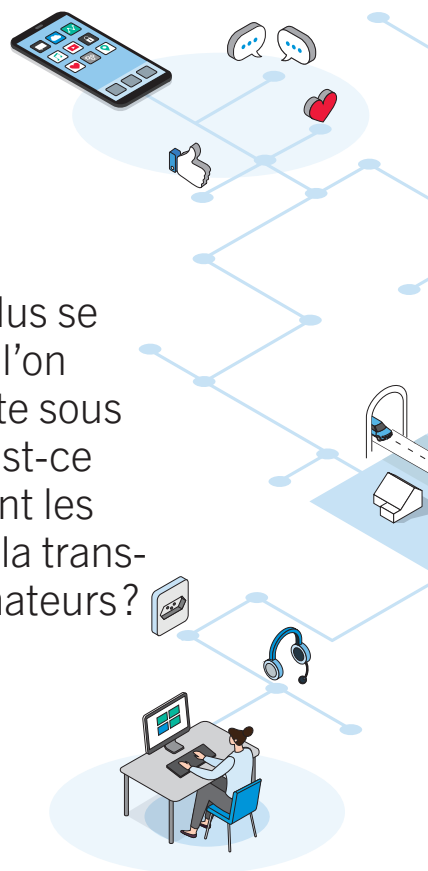
Actuellement, la Stiftung Habitat n'a aucune politique générale en matière de durabilité. Cependant, chaque projet fait l'objet d'un examen approfondi afin de déterminer les mesures envisageables et utiles en matière de durabilité. Ainsi, le thème de la réutilisation est au cœur du projet de construction en cours à Lysbüchel Sud. Les cuisines existantes ainsi que d'autres matériaux de construction sont réutilisés. Dans le cadre d'un autre projet, nous avons construit des logements à prix abordables pour les familles nombreuses. Les questions relatives à un approvisionnement énergétique écologique sont bien entendu toujours au centre des préoccupations.

Quels enseignements tirez-vous du projet Erlenmatt Ost ?

Il est évident que nous continuons à tirer des enseignements des projets passés afin d'intégrer les connaissances acquises dans les projets à venir. Pour chaque projet, nous examinons attentivement les mesures envisageables et utiles en termes de durabilité. Un RCP a également été créé sur le site de Lysbüchel Sud, faisant suite à celui d'Erlenmatt Ost. Par rapport à Erlenmatt Ost, nous avons simplifié les structures contractuelles en faisant en sorte que chaque preneuse ou preneur de droits de superficie devienne un partenaire contractuel direct de l'ADEV.

Le monde sous tension

Aujourd'hui, on ne peut pratiquement plus se passer d'électricité. Presque partout où l'on regarde, l'énergie électrique se manifeste sous l'une de ses multiples formes. Mais qu'est-ce qui fait circuler l'électricité et quelles sont les conditions techniques nécessaires pour la transporter efficacement jusqu'aux consommateurs ?



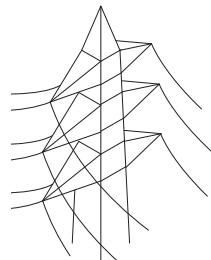
Sans tension, rien ne va

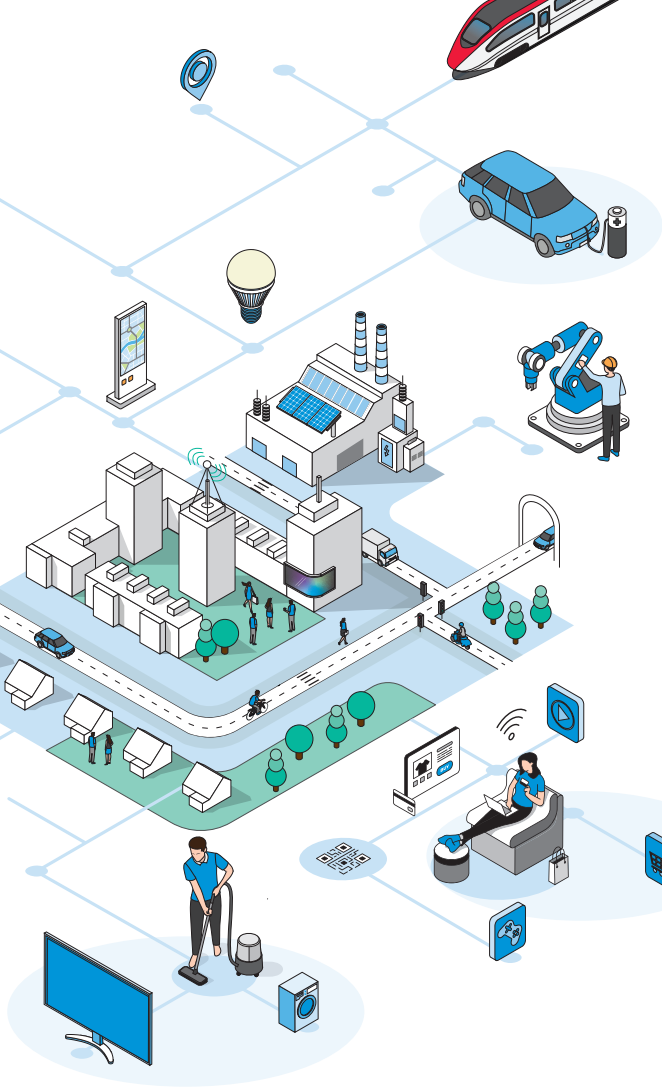
Pour que le courant circule, il faut une tension. Du réseau de transport jusqu'à l'appareil électrique à la maison, elle met les électrons en mouvement et permet de transporter l'électricité sur de grandes distances.

Le fonctionnement du courant électrique repose sur la propriété qu'ont les électrons – les particules à charge négative d'un atome – de toujours tendre vers un état neutre. Si l'on enlève les électrons d'un atome, par exemple au moyen d'une réaction chimique, il reste une particule chargée positivement, le cation. Mais ni l'électron ni le cation n'acceptent cette séparation sans réagir. Ils essaient constamment de revenir à leur état d'équilibre initial. C'est la tension entre ces particules chargées négativement et positivement, le pôle positif et le pôle négatif, qui met les électrons en mouvement et fait ainsi circuler l'électricité.

Bon à savoir

Plus la section d'un conducteur est grande, plus la résistance et donc les pertes lors du transport d'électricité sont faibles. Si l'on diminue le diamètre d'un conducteur, il faut augmenter la tension pour pouvoir transporter la même quantité d'électricité sans subir de grandes pertes. C'est pour cette raison que les lignes à très haute tension fonctionnent à 220 000 ou 380 000 volts.





Courant continu vs courant alternatif

Selon la direction du mouvement des électrons, le courant électrique peut prendre la forme d'un courant continu ou d'un courant alternatif. Si les électrons se déplacent uniformément dans un sens, on parle de courant continu. Les appareils à piles, comme les lampes de poche, sont basés sur ce principe. Si le sens du mouvement change périodiquement, il s'agit de courant alternatif. La fréquence de ce changement est indiquée en hertz. Le réseau électrique européen, par exemple, fonctionne en 50 hertz, ce qui signifie que le sens du flux change 100 fois par seconde, 50 fois dans chaque direction.

Les multiples effets de l'électricité

Les principales unités de mesure électriques

La **tension** se mesure en **volts (V)**; c'est une « force » qui permet au courant de circuler. Plus la différence entre le pôle positif et le pôle négatif est grande, plus la tension est élevée.

L'**intensité du courant** se mesure en **ampères (A)** et indique le nombre de particules qui se déplacent simultanément dans un conducteur. À noter: plus le nombre d'électrons qui circulent en une seconde est élevé, plus l'intensité du courant est importante.

La **résistance électrique** se mesure en **ohms (Ω)**. La résistance ohmique détermine la tension nécessaire pour faire passer une certaine quantité de courant électrique dans un conducteur.

La **puissance** du courant électrique est mesurée en **watts (W)**. On l'obtient en multipliant le courant par la tension. À noter: plus la tension est élevée et plus l'intensité du courant est grande, plus la puissance est importante.



Effet thermique

Lorsque le courant circule dans un conducteur, par exemple un fil, celui-ci chauffe. Les bouilloires, fers à repasser et cuisinières électriques sont basés sur cet effet thermique de l'électricité.



Effet lumineux

Chauffés par le courant à un certain point, certains conducteurs émettent de la lumière. Les lampes à incandescence ou halogènes fonctionnent grâce à cet effet lumineux.



Effet magnétique

L'effet magnétique repose sur le fait qu'un champ électromagnétique est créé autour d'un conducteur lorsqu'il est traversé par du courant. Les moteurs électriques et les électro-aimants sont des applications de cet effet.

Que se passe-t-il avec le prix de l'électricité ?

Depuis quelques années, le prix de l'électricité a considérablement augmenté, et va continuer d'augmenter en 2024. Les marchés de l'électricité toujours instables et les coûts de la réserve d'électricité expliquent en grande partie cette situation.

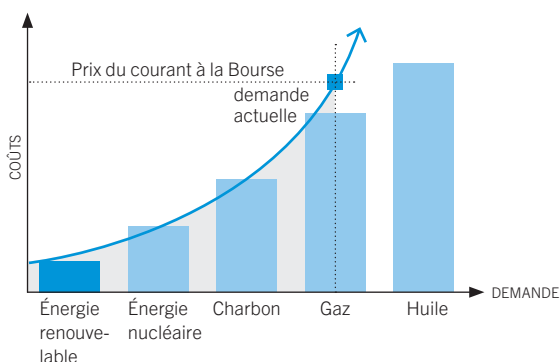
La Commission fédérale de l'électricité estime que le prix de l'électricité augmentera encore pour de nombreuses consommatrices et de nombreux consommateurs finaux en 2024. Cela s'explique en grande partie par le niveau toujours élevé du prix de l'électricité sur les marchés de l'énergie au cours de l'année écoulée qui évolue en fonction de la situation économique et géopolitique mondiale. Les coûts de la réserve d'électricité, qui seront facturés pour la première fois aux consommatrices et consommateurs finaux en 2024, entraînent également une augmentation du prix de l'électricité.

 **En savoir plus sur le prix de l'électricité :** [swissgrid.ch/prix-de-electricite](https://www.swissgrid.ch/prix-de-electricite)

Les marchés de l'électricité en bref

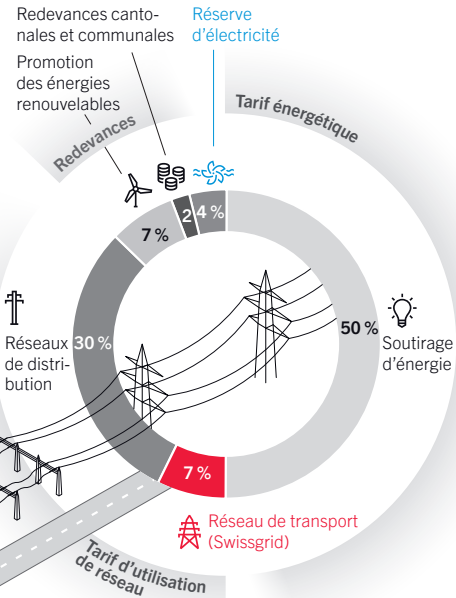
L'électricité est négociée sur différentes bourses du marché européen de l'électricité ou de gré à gré. Le prix de l'électricité étant étroitement lié à celui des autres agents énergétiques, il convient de considérer l'ensemble du marché de l'énergie pour comprendre les variations de prix. En principe, les centrales électriques sont utilisées dans l'ordre de leurs coûts variables. Ce que l'on appelle « l'ordre de mérite » commence par la centrale la moins chère et se poursuit jusqu'à ce que la demande soit couverte. C'est donc la plus chère des centrales utilisées qui détermine le prix.

Ordre du mérite



Voici comment est calculé le prix de l'électricité

Le prix de l'électricité pour la population suisse se compose grosso modo de trois éléments: le tarif énergétique, le tarif d'utilisation de réseau et les redevances versées aux collectivités publiques, y compris le supplément réseau pour la promotion des énergies renouvelables. En raison de la situation tendue sur le marché de l'électricité, le tarif énergétique a en partie fortement augmenté. L'ampleur de l'augmentation dépend de la capacité d'une entreprise d'approvisionnement en énergie à couvrir la majorité de la demande par sa propre production ou à s'approvisionner sur le marché. Les fournisseurs qui n'ont pas ou peu de production propre paient parfois des prix élevés sur le marché, une situation que la clientèle finale subit depuis un certain temps. Les fournisseurs ayant une production propre élevée doivent facturer les coûts de revient de leurs propres centrales électriques et n'affichent donc pas de hausse de prix ou affichent seulement des hausses modérées.



Nouvelle composante de prix en 2024

En 2024, le prix de l'électricité intégrera pour la première fois le nouveau tarif « Réserve d'électricité ». Ce montant permettra de couvrir les coûts liés aux mesures prises par la Confédération pour renforcer la sécurité de l'approvisionnement en hiver. Parmi ces mesures figurent notamment la réserve d'énergie hydraulique ainsi que les centrales de réserve. Conformément à l'ordonnance sur l'approvisionnement en électricité, ces coûts doivent être facturés par Swissgrid.

Les tarifs de Swissgrid

Swissgrid perçoit différents tarifs pour couvrir ses coûts: les tarifs pour l'utilisation du réseau, le tarif pour les services-système généraux, les tarifs pour les services-système individuels et, désormais, le tarif pour la réserve d'électricité. La structure tarifaire est strictement définie par la loi sur l'approvisionnement en électricité. Le niveau des tarifs est quant à lui communiqué avant la fin du mois de mars, sur la base d'hypothèses concernant les recettes et coûts attendus pour l'année suivante. Swissgrid s'appuie notamment sur des prévisions concernant l'évolution des

prix sur les marchés internationaux de l'électricité. Les écarts par rapport aux hypothèses doivent être compensés par Swissgrid dans les tarifs suivants.

En 2024, les coûts du réseau de transport de Swissgrid devraient représenter environ 7% du prix total de l'électricité facturé aux consommatrices et consommateurs finaux. Un ménage suisse avec une consommation annuelle de 4500 kWh paie environ 92 francs pour les coûts du réseau de transport exploité par Swissgrid. Les coûts liés à la nouvelle composante « Réserve d'électricité » s'élèvent quant à eux à près de 54 francs.

Les trajets sont longs

La majorité de l'électricité n'est pas utilisée là où elle est produite. Pour que l'énergie électrique parvienne aux consommatrices et consommateurs, il faut un réseau électrique. Derrière la production, il y a en premier lieu le réseau de transport. Grâce à la très haute tension, il transporte l'électricité sur de grandes distances jusqu'au niveau de réseau suivant ou au-delà de la Suisse. Pour que cela fonctionne sans heurts il faut du savoir-faire, un certain nombre d'infrastructures et une collaboration avec l'Europe.



260 000

boulons ont été installés par les monteurs sur les pylônes de la ligne de 50 kilomètres entre Pradella et La Punt lors de son extension.

1000

C'est le nombre par lequel il faut diviser la tension de l'électricité acheminée dans le réseau de transport avant que nous puissions l'utiliser à 220 volts chez nous.

D'Aarau à New York

C'est entre ces deux villes, distantes à vol d'oiseau de 6286 kilomètres, que les **6700 kilomètres** de lignes du réseau de transport pourraient être tendus.



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.



800

collaboratrices et collaborateurs de 39 nationalités différentes œuvrent chez Swissgrid pour trouver les meilleures solutions pour le réseau de transport.



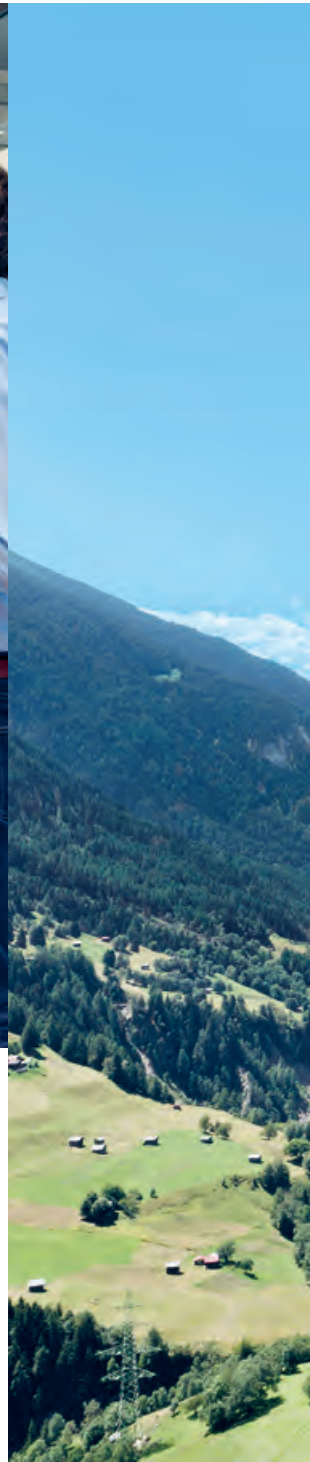
À la vitesse d'un escargot

Les électrons circulent dans les câbles conducteurs d'une ligne à une vitesse de **0,0018 km/h** et à une tension de 230 V.



Culture d'entreprise. Réservés aux collaboratrices et aux collaborateurs, les Innovation Days donnent une impulsion essentielle à la transformation numérique globale de Swissgrid.

L'électricité doit évoluer. Le système énergétique est en pleine mutation. Afin de garantir la disponibilité permanente du réseau de transport à l'avenir, Swissgrid mise sur le savoir-faire de ses collaboratrices et collaborateurs ainsi que sur la numérisation et les nouvelles technologies.





Un approvisionnement sécurisé. Pour assurer une exploitation sûre et fiable, le réseau de transport fait l'objet de modernisations constantes.



24 **Tout est sous contrôle.** Dans l'exploitation du réseau, les femmes et les hommes jouent un rôle central grâce au soutien de la technologie.



Une artère vitale à très haute tension.

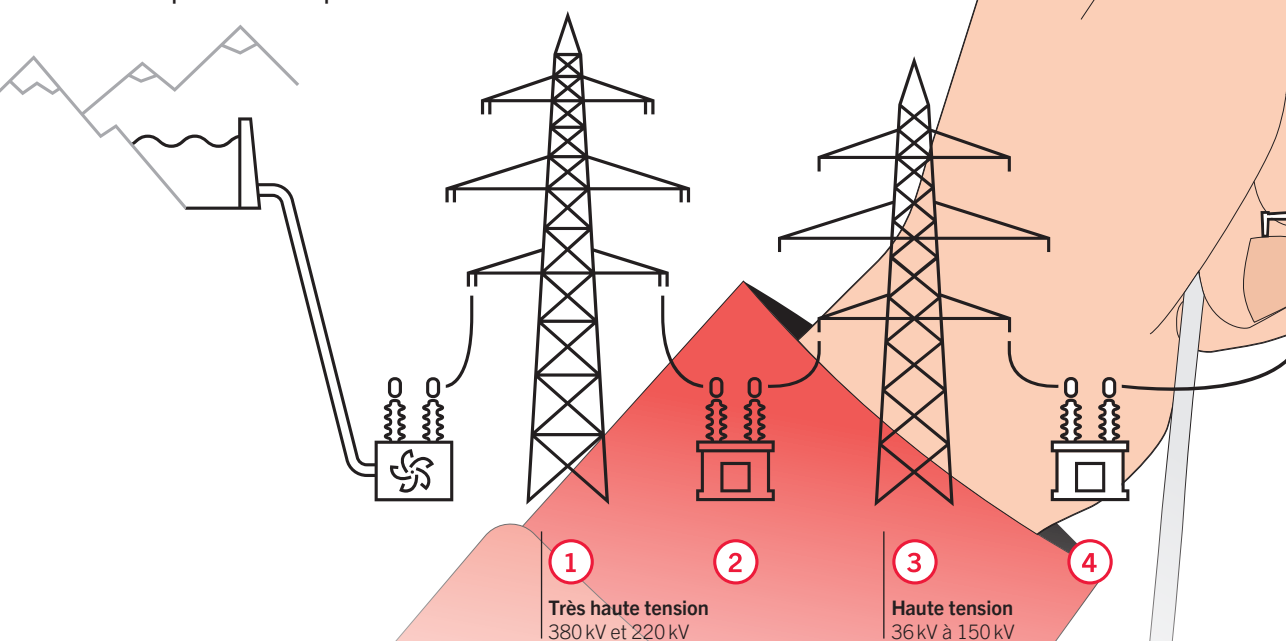
Les pylônes, les lignes électriques et les sous-stations sont des éléments visibles du réseau de transport. En coulisses, ce sont plus de 800 collaboratrices et collaborateurs qui en assurent l'exploitation fiable.



Le dialogue en ligne de mire. Lors de la construction d'une ligne, la population de la région est informée de manière détaillée.

Sept étapes pour arriver à destination

L'électricité à très haute tension arrive dans le réseau de transport par le biais des centrales électriques et des importations de l'étranger. Pour qu'elle puisse être utilisée à la maison, la tension doit être réduite plusieurs fois en passant par différents niveaux de réseau.



1
Très haute tension
380 kV et 220 kV

2

3
Haute tension
36 kV à 150 kV

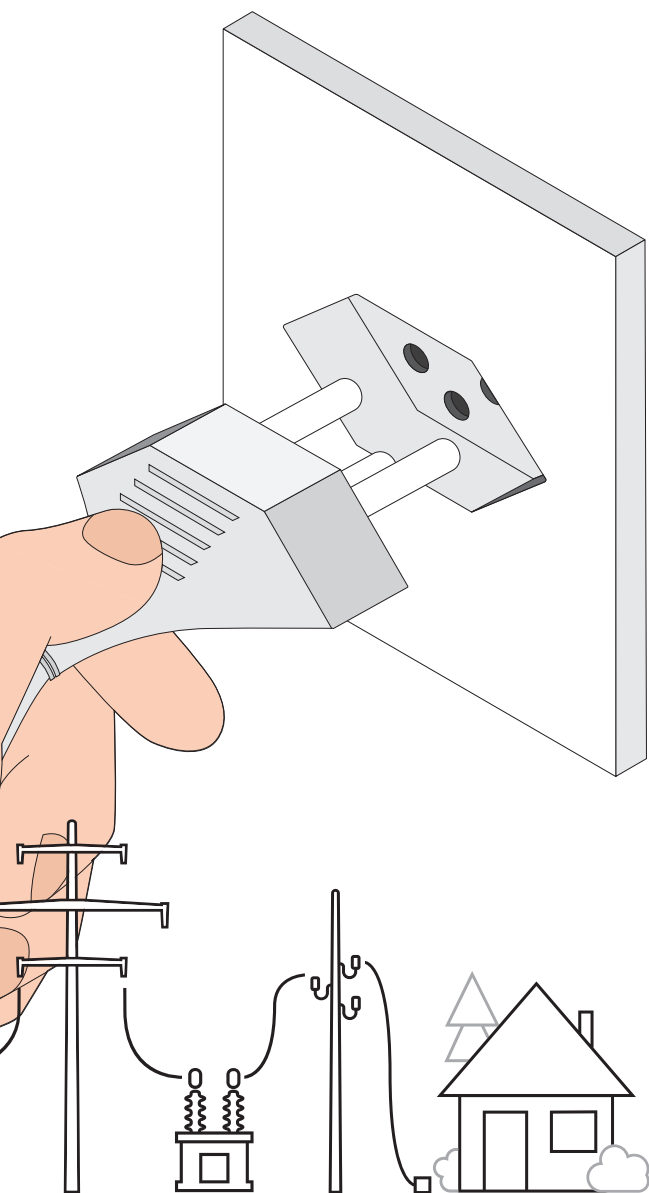
4

Production/importation

L'électricité à très haute tension (380 000 volts = 380 kV ou 220 000 volts = 220 kV) arrive dans le réseau de transport par le biais des centrales électriques et des importations de l'étranger.

Le réseau électrique

On distingue sept niveaux dans le réseau électrique: quatre (très haute tension, haute tension, moyenne tension, basse tension) servent au transport; la modification de la tension par le biais de transformateurs s'effectue sur les trois autres.



Le chemin est long

En Suisse, le réseau électrique s'étend sur plus de 250 000 kilomètres – avec toutes ses lignes, on pourrait faire environ six fois le tour de la Terre. Il est structuré en 7 niveaux qui assurent l'acheminement de l'électricité des centrales électriques jusqu'au consommateur. Les niveaux ①, ③, ⑤ et ⑦ servent au transport de l'énergie électrique. Sur les niveaux ②, ④ et ⑥, le courant est transformé à chaque fois à un niveau de tension inférieur. Le schéma est donc simple: distribution, transformation, distribution, etc.

Immédiatement après la production dans les grandes centrales, l'électricité est injectée dans le premier niveau de réseau, le réseau à très haute tension. Celui-ci est conçu pour le transport de grandes quantités d'énergie sur de longues distances. Outre le transport national, il permet également d'exporter et d'importer de l'énergie. Parallèlement, le réseau de transport joue un rôle important dans le transport transfrontalier du courant en Europe.

Les niveaux de réseau 2 à 7 qui suivent se chargent de la distribution suprarégionale, régionale et locale de l'électricité jusqu'à la prise de courant ainsi que de la transformation nécessaire. Jusqu'à ce que l'électricité parvienne aux consommatrices et consommateurs, divers gestionnaires de réseau travaillent main dans la main à tous les niveaux.

⑤

Moyenne tension
1 kV à 36 kV

⑥

⑦

Basse tension
jusqu'à 1 kV

Consommation

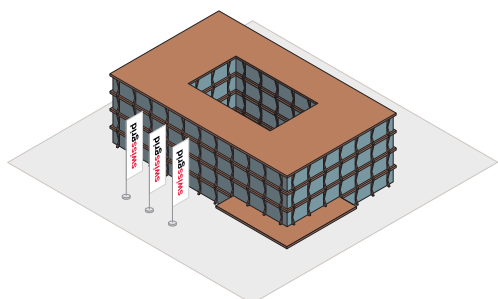
Pour que le courant parvienne jusqu'à notre prise électrique, il faut diviser la tension par 1000 (de 380 000 volts ou 220 000 volts à 400 ou 230 volts).

Outre la distribution et la transformation de l'énergie électrique, le réseau joue un autre rôle important, en rapport avec la transition énergétique. Il constitue le lien avec des réservoirs d'énergie de différents types. Ces derniers servent à amortir les fluctuations engendrées par la production d'énergies renouvelables.

sg En savoir plus: [swissgrid.ch/niveauxdereseau](https://www.swissgrid.ch/niveauxdereseau)

Les installations essentielles au réseau

Pour que le réseau de transport fonctionne sans problème, il faut une infrastructure sophistiquée et parfaitement adaptée, composée de différents éléments centraux.



Centres de conduite du réseau

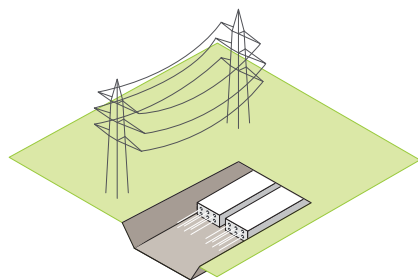
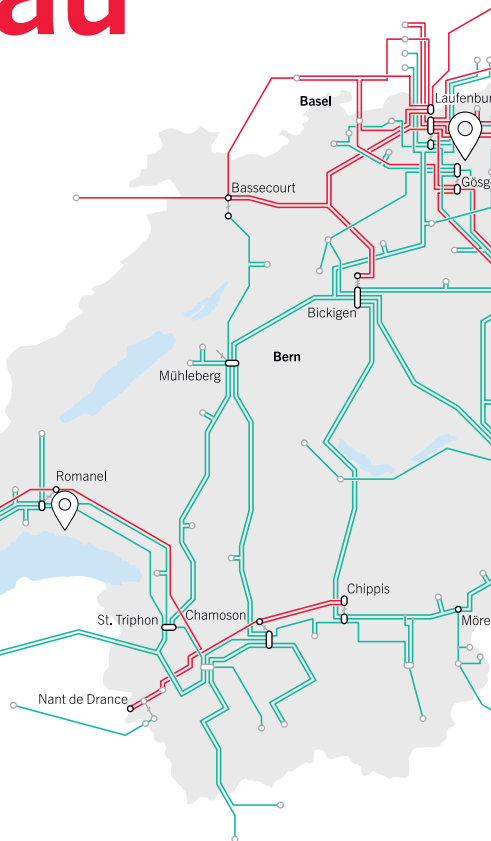
Centres de conduite d'Aarau et de Prilly

Les deux centres de conduite du réseau de Swissgrid situés à Aarau et à Prilly constituent le cœur du réseau de transport suisse. Le personnel y surveille le réseau 24 heures sur 24. Il veille à ce que l'équilibre entre la production et la consommation soit conservé en permanence et à ce que l'électricité soit transportée en toute sécurité.

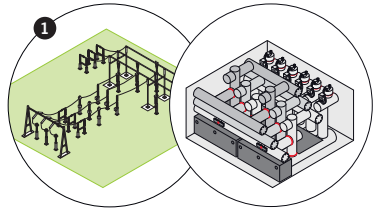
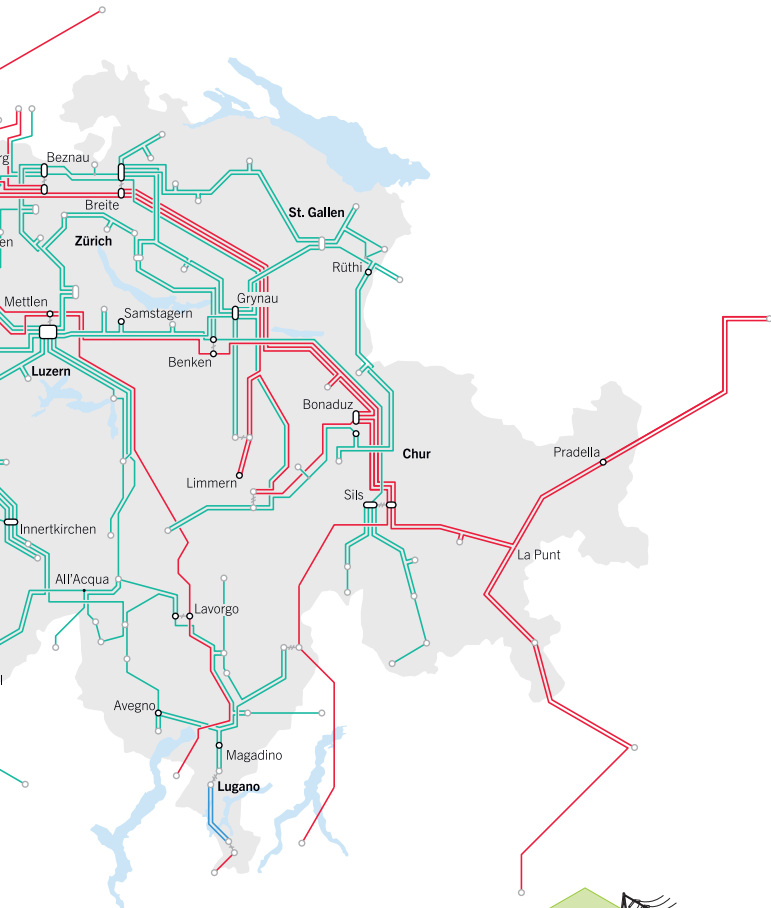
Lignes à très haute tension

- Lignes de 220 kV
- Lignes de 380 kV
- Lignes de 150 kV

Le réseau de transport se compose de lignes de 380 et 220 kV, d'une longueur de 6700 kilomètres. Il comprend en outre 12 000 pylônes électriques et est relié au réseau interconnecté européen par 41 lignes. Les lignes de 380 kV servent à l'importation et à l'exportation, tandis que les grandes centrales suisses



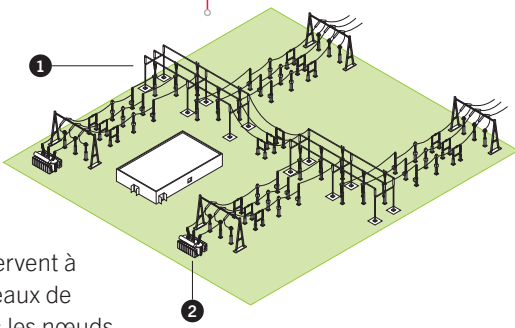
injectent leur énergie dans le réseau de 220 kV. Au niveau de la très haute tension, l'électricité est en grande partie transportée par des lignes aériennes. À chaque extension du réseau, Swissgrid examine la possibilité d'utiliser des lignes câblées souterraines.



Postes de couplage

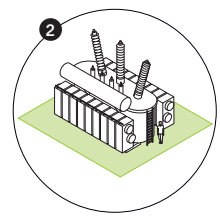
— Postes de couplage

Les lignes sont reliées entre elles dans les 147 postes de couplage de Swissgrid. En effectuant des manœuvres, le personnel du centre de conduite du réseau déconnecte ou connecte des lignes et influence ainsi les flux d'énergie. Cela permet d'éviter les surcharges et de déconnecter des lignes pour les travaux de révision. Outre les vastes postes de couplage en plein air, il existe des postes isolés au gaz qui n'occupent qu'une surface minimale.



Sous-stations

Les sous-stations servent à relier différents niveaux de réseau et sont donc les nœuds du réseau de transport. Les 125 sous-stations de Swissgrid abritent des postes de couplage, et parfois des transformateurs et la technique de protection et de contrôle-commande des installations.



Transformateurs

○ Transformateurs

Les 25 transformateurs de Swissgrid relient le réseau de 380 kV au réseau de 220 kV. Ils permettent de réduire ou d'augmenter la tension du réseau.

C'est là que tout converge



Les centres de conduite du réseau d'Aarau et de Prilly constituent le cœur du réseau de transport suisse. Le personnel y travaille 24 heures sur 24 afin d'assurer la stabilité et la disponibilité du réseau.

Les centres de conduite du réseau de Swissgrid sont les centres de pilotage du réseau de transport. En bref, leur tâche consiste à veiller à ce que l'électricité soit transportée et distribuée dans toutes les régions du pays et au-delà des frontières nationales. Pour cela, c'est un ensemble complexe de rouages parfaitement imbriqués qui se met en branle.

Tout se déroule comme prévu

Une planification prévoyante est la condition la plus importante pour une exploitation sans faille du réseau. C'est plus d'un an à l'avance que les spécialistes du centre de conduite établissent les premières prévisions. Pour simuler la charge attendue pour le réseau de transport, ils utilisent un modèle de réseau. Celui-ci prend par exemple en compte les réparations de centrales électriques ou les révisions de lignes. La planification de l'exploitation du réseau est alors affinée en continu. La situation de réseau attendue est régulièrement recalculée, à savoir un mois, une semaine et deux jours avant l'exploitation en temps réel. Les programmes prévi-

sionnels des centrales et des négociants sont intégrés la veille. Ils prennent en compte toutes les fournitures d'électricité nationales et transfrontalières. La gestion des programmes prévisionnels assure en outre l'équilibre entre la production et la consommation. C'est la condition préalable pour garantir l'exploitation sûre et stable du réseau à une fréquence constante de 50 hertz.

Quand il le faut

Lors de l'exploitation du réseau en temps réel, la tâche principale du personnel est de veiller à ce que la fréquence soit toujours à 50 hertz. Si des fluctuations imprévues surviennent, ils ont recours à l'énergie de réglage. Il s'agit d'une réserve qui, en fonction de la situation, permet d'injecter de l'électricité dans le réseau ou d'en prélever.

Swissgrid se charge de la planification prévisionnelle et de la surveillance du réseau en collaboration avec les gestionnaires de réseau à l'étranger.

Les spécialistes protègent également le réseau contre les charges excessives. Les lignes et les transformateurs ne peuvent transporter qu'une quantité limitée d'énergie. Des événements imprévus, tels qu'une coupure de ligne limitant la capacité de transport du réseau, peuvent entraîner des surcharges. Pour éviter cela, Swissgrid applique la règle du n-1. Celle-ci prévoit qu'en cas d'aléa d'un élément de réseau, tous les autres éléments du réseau de transport doivent disposer d'une capacité suffisante pour transmettre l'énergie supplémentaire.

Un coup d'œil dans le **centre de conduite du réseau** permet de constater que l'exploitation du réseau de transport est hautement technicisée.

Le système de conduite du réseau vérifie toutes les cinq minutes que la règle du n-1 est respectée. S'il y a un risque de dépassement de la valeur limite entraînant une surcharge des lignes ou des transformateurs, les opératrices et opérateurs du centre de conduite du réseau interviennent.

Les femmes et les hommes prennent le relais

S'il y a un risque de surcharge sur une ligne, le personnel influence les flux de charge dans le réseau en effectuant ce que l'on appelle des « manœuvres ». Pour ce faire, les lignes sont déconnectées dans les postes de couplage, ou le flux d'électricité est adapté grâce aux transformateurs. De telles manœuvres ont également lieu lorsque des travaux

planifiés doivent être réalisés sur une ligne ou un transformateur. Le personnel des centres de conduite a également la possibilité d'effectuer un redispach en cas de risque de surcharge. Pour ce faire, on ordonne à certaines centrales électriques de réduire leur production et à d'autres d'augmenter leur injection. Globalement, la même quantité d'énergie est injectée dans le réseau, mais sa répartition géographique est différente. La charge de la ligne compromise est ainsi réduite.

Interconnexion avec l'Europe

Avec 41 lignes transfrontalières, la Suisse est étroitement liée au réseau interconnecté européen. L'exploitation sûre du réseau en Suisse comme en

Que faire en cas d'urgence?

Lorsqu'il est question de menaces pour l'approvisionnement en électricité, on entend souvent parler de black-out. Or, les pénuries d'électricité peuvent aussi avoir des conséquences graves.

Un black-out est généralement la conséquence d'une cascade ou d'un effondrement de la fréquence. Si, par exemple, une sous-station ou une ligne à très haute tension tombe en panne en raison d'un phénomène naturel, cela peut entraîner la surcharge d'autres éléments et déclencher une réaction en chaîne, appelée « cascade ». Par des manœuvres, les gestionnaires de réseau tentent d'isoler le réseau concerné par la perturbation et de stopper la cascade.

Si la défaillance touche une très grande centrale électrique, il y a un risque d'effondrement de la fréquence. Dans un tel cas, il y a de grands écarts par rapport à la fréquence standard du réseau électrique (50 hertz). Dans le pire des cas, le réseau risque de s'effondrer complètement, raison pour laquelle les gestionnaires de réseau tentent de stabiliser la fréquence à

temps en recourant à l'énergie de réglage. Pour éviter les black-out, Swissgrid mise sur la prévention. Il s'agit par exemple de surveiller et d'analyser en permanence le réseau électrique, ou encore d'établir un concept de gestion de crise et des plans d'urgence.

Une pénurie d'électricité

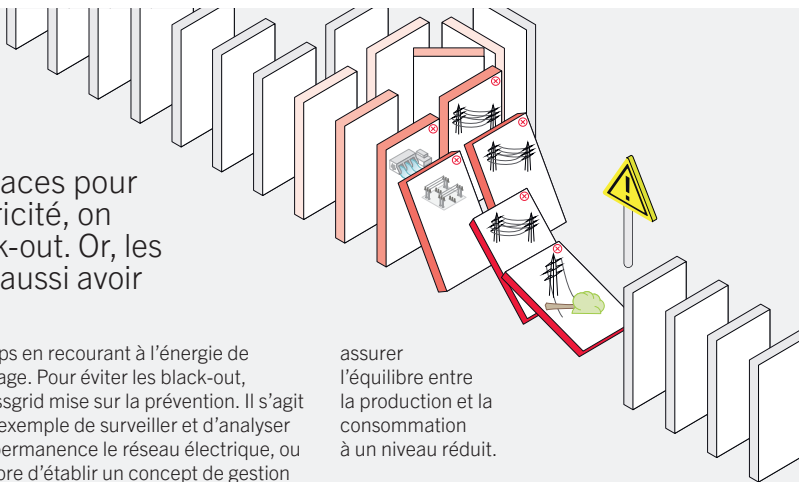
En cas de black-out, il y a donc suffisamment de courant dans le système, mais le transport est interrompu. Il n'en va pas de même pour une pénurie d'électricité : dans ce cas, la demande en électricité ne peut plus être satisfaite. En été, le risque est faible, car la Suisse peut couvrir ses besoins. Mais en hiver, le risque augmente, la Suisse étant généralement dépendante des importations pendant la saison froide.

Si une situation de pénurie d'électricité se produit effectivement, la Confédération ordonne des mesures visant à

assurer l'équilibre entre la production et la consommation à un niveau réduit.

Développer le réseau et l'interconnexion

Pour que l'approvisionnement en électricité soit garanti tout au long de l'année, différentes mesures sont nécessaires. Il s'agit notamment de procédures d'autorisation plus rapides pour l'extension et la construction de l'infrastructure de réseau, ainsi que d'incitations à développer la production d'électricité nationale. Un accord sur l'électricité avec l'UE est tout aussi nécessaire. L'interconnexion avec l'Europe est un facteur important de la sécurité de l'approvisionnement en électricité de la Suisse.



Europe est donc une tâche que Swissgrid ne peut garantir qu'en collaborant avec les gestionnaires de réseau étrangers.

En prévision, on planifie par exemple les capacités de transport nécessaires pouvant être mises à disposition sur les lignes transfrontalières pour le commerce international de l'électricité. Cette concertation est importante pour éviter les surcharges dans le réseau. En temps réel, Swissgrid surveille la fréquence du réseau européen à très haute tension en sa qualité de Coordination Center South en collaboration avec le gestionnaire du réseau de transport allemand Amprion, qui forme le Coordination Center North.

Bon à savoir



Elle commande l'horloge des fours

De nombreuses horloges d'appareils électriques ne génèrent pas elles-mêmes d'impulsions. C'est la fréquence standard du réseau électrique qui leur indique quand une seconde est écoulée. Si cette fréquence reste par exemple sous la barre des 50 hertz définis pendant une période prolongée, les horloges prennent du retard.



De nombreux processus sont automatisés dans l'exploitation du réseau. Cependant, dans les situations critiques, ce sont les collaboratrices et les collaborateurs de Swissgrid qui sont aux commandes.

Le cœur du réseau de transport

Découvrez dans ces vidéos la planification à long terme de l'exploitation du réseau de transport et les tâches des opératrices et opérateurs en temps réel.



Un développement du réseau orienté vers l'avenir

Un réseau de transport moderne et fonctionnel est essentiel pour la stratégie énergétique de la Confédération. Swissgrid est responsable de la planification, du remplacement, du développement, de l'entretien et de la maintenance de toute l'infrastructure de ce réseau.



Les besoins

Énergies renouvelables, sécurité d'approvisionnement, progrès technologiques, croissance démographique, efficacité énergétique: les exigences posées au réseau électrique suisse évoluent en permanence. Pour que le réseau de transport fonctionne parfaitement, les travaux nécessaires sont planifiés à l'avance.

Pour assurer le développement à long terme du réseau de transport, Swissgrid s'appuie sur un plan pluriannuel. Ce plan, baptisé « Réseau stratégique », définit les mesures de construction qui seront nécessaires au cours des prochaines an-

nées. Le « Réseau stratégique 2025 », par exemple, comprend dix projets. Il s'agit notamment de nouvelles constructions ou de constructions de remplacement visant à augmenter la tension pour le transport d'énergie sur certaines lignes.

Le « Réseau stratégique 2040 » est d'ores et déjà défini. Cette planification périodique permet de s'assurer que le réseau de transport dispose des capacités nécessaires aujourd'hui et à l'avenir et qu'il est en mesure de faire face aux évolutions du système énergétique.



Variantes. Au cours de la phase préliminaire, Swissgrid vérifie dans quels corridors spatiaux des lignes câblées souterraines ou des lignes aériennes sont susceptibles de passer.

- Ligne actuelle de 145 kV
- Lignes à très haute tension
- Zone de planification
- Corridor « ligne aérienne »
- Corridor « ligne câblée souterraine »
- Tronçon câblé souterrain pour les corridors « ligne câblée souterraine » et « combinaison »
- Sous-stations

Planification

Lorsque les responsables de Swissgrid planifient des mesures de construction, ils pensent en termes d'années et de décennies. Les infrastructures et la technologie utilisée doivent perdurer pendant des générations.

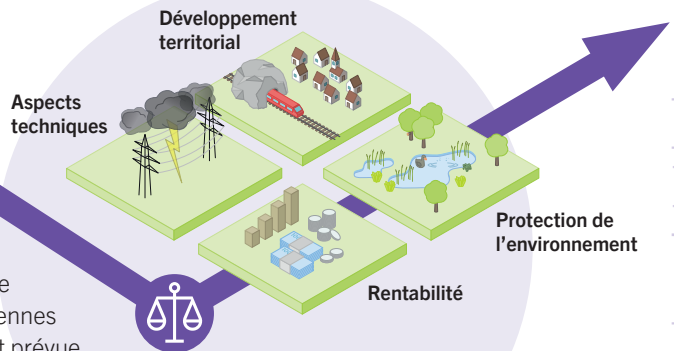
Le déroulement des projets de construction dans le réseau de transport est régi par la loi. La procédure d'autorisation et d'approbation de la Confédération comprend six phases à respecter impérativement. Cela permet de s'assurer, étape par étape, que toutes les questions importantes ont été traitées. Les arbitrages minutieux, mais aussi les oppositions, expliquent qu'il peut s'écouler entre quinze et trente ans entre la planification et la construction.



Les bases de décision

Pour chaque projet, Swissgrid examine, lors de la préparation, les différentes variantes de lignes câblées souterraines et de lignes aériennes pour la zone de planification où une ligne est prévue. Swissgrid soumet ces propositions à l'Office fédéral de l'énergie et lui demande de les intégrer dans le « plan sectoriel des lignes de transport d'électricité » (PSE). Ensuite, la procédure dite « de plan sectoriel » débute.

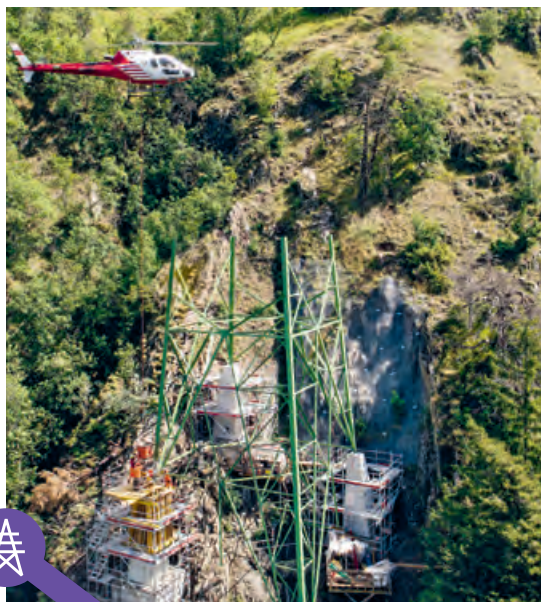
Les propositions relatives aux zones de planification sont discutées par un groupe d'accompagnement mis en place par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et composé de représentantes et de représentants de la Confédération, des cantons, d'organisations de protection de l'environnement et de Swissgrid. Ce groupe d'accompagnement émet des recommandations à l'attention du Conseil fédéral qui se prononce sur la zone de planification, le corridor de planification et la technologie (ligne aérienne ou ligne câblée souterraine).



Les bases d'évaluation

Le modèle d'évaluation pour lignes de transport de la Confédération est déterminant pour les recommandations. Les facteurs pris en compte sont **la technologie, le développement territorial, l'environnement et la rentabilité**. Avant que le Conseil fédéral ne prenne sa décision, les personnes concernées par le projet de construction peuvent donner leur avis lors d'une audition publique.

L'étude de projet et la demande de permis de construire



Une fois que le Conseil fédéral a pris sa décision, Swissgrid peut élaborer un projet de construction dans le corridor de planification défini.

Lors du tracé de la ligne, il convient de s'assurer que la mise en œuvre respecte autant que possible l'habitat et le paysage. Dans la mesure du possible, il est recommandé de regrouper la ligne prévue avec d'autres infrastructures, comme des routes nationales ou des voies ferrées, ou d'utiliser des tracés existants.

Une fois l'étude de projet terminée, Swissgrid dépose la demande de permis de construire auprès de l'Inspection fédérale des installations à courant fort (ESTI). Le projet est ensuite mis à l'enquête publique. Les personnes participantes et concernées peuvent alors faire opposition auprès de l'ESTI. Si les divergences ne peuvent pas être éliminées par l'ESTI, l'OFEN poursuit les négociations. À l'issue de cette phase, les autorités accordent à Swissgrid le permis de construire ou imposent des conditions supplémentaires qui doivent être intégrées. Cette décision peut être contestée auprès du Tribunal administratif fédéral ou du Tribunal fédéral.



La mise en œuvre

Après l'obtention du permis de construire définitif, la planification peut commencer. En fonction de la technologie choisie, Swissgrid élabore un projet de construction pour une ligne aérienne, une ligne câblée souterraine ou une combinaison des deux.

Lors de la construction d'une ligne aérienne, la première chose à faire est de réaliser les fondations du pylône et de fixer les éléments inférieurs en acier dans le béton. Ensuite, le pylône est construit à l'aide d'une grue, d'un hélicoptère ou d'une tour de montage. Lorsqu'il est terminé, les conducteurs sont installés.

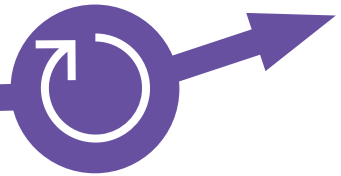
Dans le cas d'une ligne câblée souterraine, les travaux de construction peuvent être relativement complexes. Le plus simple est de poser des batteries de tubes en béton dans des tranchées ouvertes. Le forage dirigé est utilisé lorsqu'il faut, par exemple, creuser sous des obstacles superficiels, comme

◀ **Construction de pylône.** La continuité de l’approvisionnement en électricité nécessite également la construction de pylônes sur des terrains peu praticables.

▶ **Traitement anti-corrosion.** Les infrastructures sont souvent exposées aux intempéries sans aucune protection. Un traitement anticorrosion est appliqué à la main afin de protéger les 12 000 pylônes.



◀ **Tirage des conducteurs.** Une fois les pylônes en place, les conducteurs pour le transport de l’électricité sont tirés et tendus jusqu’à ce qu’ils atteignent la bonne hauteur.



L’entretien

une rivière. Une fois les chambres à câbles construites, les lignes câblées souterraines sont tirées.

La construction de lignes n’implique pas à chaque fois de nouvelles constructions. On utilise dans la mesure du possible l’infrastructure existante. Par ailleurs, les infrastructures qui ne sont plus nécessaires sont démantelées, ce qui permet de libérer de la place pour de nouvelles installations.

Pour que le réseau de transport soit disponible et fonctionne à tout moment, il ne fait pas uniquement l’objet de transformations et de développements. Dans le cadre de travaux d’entretien, Swissgrid effectue chaque année près de 12 000 inspections en collaboration avec des partenaires. Les travaux d’entretien planifiés comprennent le débroussaillage à proximité des lignes, le traitement anticorrosion, le remplacement des isolateurs ou la rénovation des pylônes et de leurs socles. La planification des travaux d’entretien est une tâche complexe qui commence environ un an à l’avance. Les travaux d’entretien non planifiés sont nécessaires lorsque les installations sont endommagées ou si leur fonctionnement est perturbé par des influences extérieures. Les influences environnementales, comme la foudre, le vent, la chaleur, les avalanches ou les coulées de boue font partie des causes les plus fréquentes. Si une ligne est endommagée, les équipements de protection installés dans les sous-stations coupent automatiquement la ligne concernée. Un service de piquet recherche sur place l’endroit endommagé et lance les travaux de réparation.

Modernisation de l'infrastructure de réseau existante

La liaison nord-sud Bassecourt – Mühleberg joue un rôle important dans le transport de l'énergie renouvelable en provenance des Alpes suisses et dans le transport international de l'électricité.



En savoir plus:
[swissgrid.ch/bassecourt-muehleberg](https://www.swissgrid.ch/bassecourt-muehleberg)



Une tension plus élevée

La ligne à très haute tension Bassecourt – Mühleberg est en service depuis quarante-cinq ans et transportait de l'électricité à une tension de 220 kV jusqu'au milieu de l'année 2023. Cette tension n'était plus suffisante pour assurer la sécurité d'approvisionnement à long terme du Plateau et le transport international d'électricité. C'est pourquoi, en fin d'année, après des travaux de transformation, Swissgrid a augmenté la tension à 380 kV ainsi que la capacité de transport de la ligne.

Une sécurité accrue

La transformation nécessaire a débuté en août 2022 par des travaux de génie civil sans interrompre l'exploitation du tronçon de ligne. Certains pylônes et leurs fondations en béton ont été renforcés. À l'automne 2023, la ligne a été déconnectée du réseau sur environ 45 kilomètres.

Pendant les trois mois de consignation, des travaux de montage ont été effectués sur les pylônes afin de moderniser la ligne. Des chaînes porteuses doubles ont notamment été installées afin de renforcer la sécurité, et les conducteurs ont été tendus davantage pour gagner de la distance par rapport au sol. Il s'agit de l'une des nombreuses mesures prises pour respecter les ordonnances et les valeurs limites relatives aux champs électromagnétiques et aux bruits, qui ont été renforcées depuis la mise en service de la ligne.

Un paysage intact

Lors de la modernisation de la ligne, les pylônes électriques existants ainsi que d'autres composants ont été adaptés. Au total, des travaux ont été effectués sur 56 des 142 pylônes ainsi que sur les portiques d'ancrage des deux sous-stations de Perles et de Bassecourt.

Au terme d'environ quinze mois de travaux, c'est avec succès que Swissgrid a mis en service cette ligne à une tension de 380 kV le 21 novembre 2023. Cela a permis de supprimer une congestion dans le réseau de transport suisse. Désormais, cette liaison nord-sud essentielle permet de transporter deux fois plus d'énergie électrique qu'auparavant.

L'électricité n'est pas invisible

Pour que l'électricité parvienne jusqu'aux consommateurs, il faut une infrastructure. Pour Swissgrid, la priorité est d'en limiter l'impact sur l'homme et l'environnement.

Champs et valeurs limites

Des champs électriques et magnétiques apparaissent partout où l'électricité est produite, transportée et utilisée; seule leur ampleur varie. On parle familièrement d'« électrosmog ».

La portée des **champs électriques** est assez faible pour que les vêtements et la peau les empêchent en grande partie de pénétrer dans le corps. Les champs magnétiques créés par le courant alternatif, lors du transport de l'électricité par exemple, peuvent par contre provoquer des tensions électriques dans

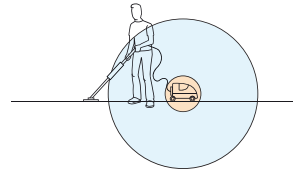
notre corps et affecter ses processus. Pour éviter tout risque pour la santé, la Suisse applique des valeurs limites parmi les plus strictes au monde.

Champs magnétiques

La valeur limite d'immission pour les champs magnétiques protège contre tous les problèmes de santé scientifiquement reconnus et s'applique partout où des personnes pourraient se trouver. La loi sur la protection de l'environnement exige en outre de protéger la population contre les risques encore non prouvés, mais envisageables. C'est le but de la valeur limite de l'installation.

Elle s'applique partout où les personnes restent longtemps, que ce soit dans une chambre, un salon, une école, une aire de jeux ou à proximité des lignes de transport.

Bon à savoir

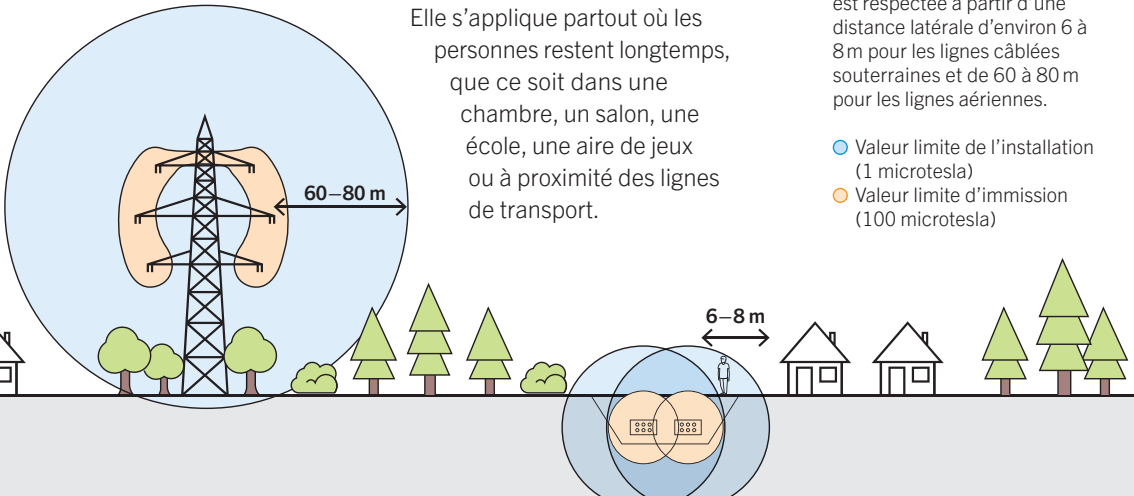


Un appareil est sous tension dès qu'il est branché à la prise de courant. Le champ électrique existe même si l'appareil reste éteint et qu'aucun courant ne circule.

Champs magnétiques

La valeur limite de l'installation est respectée à partir d'une distance latérale d'environ 6 à 8 m pour les lignes câblées souterraines et de 60 à 80 m pour les lignes aériennes.

- Valeur limite de l'installation (1 microtesla)
- Valeur limite d'immission (100 microtesla)



Un grésillement dans l'air

Dans le cas des lignes aériennes, de petites décharges électriques se produisent en permanence dans l'air, ce qui génère des bruits. L'oreille humaine les perçoit comme un grésillement ou un bourdonnement. 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.

L'ordonnance suisse sur la protection contre le bruit définit différentes valeurs limites en décibels (dB) afin de protéger la population contre tout bruit incommode, voire néfaste. Celles-ci se basent sur quatre degrés de sensibilité et sur l'heure de la journée.

Bon à savoir

Une **ligne aérienne** génère, selon l'humidité de l'air, un niveau sonore de

40 à 50 dB.

Cela correspond au bruit de fond dans une bibliothèque calme.

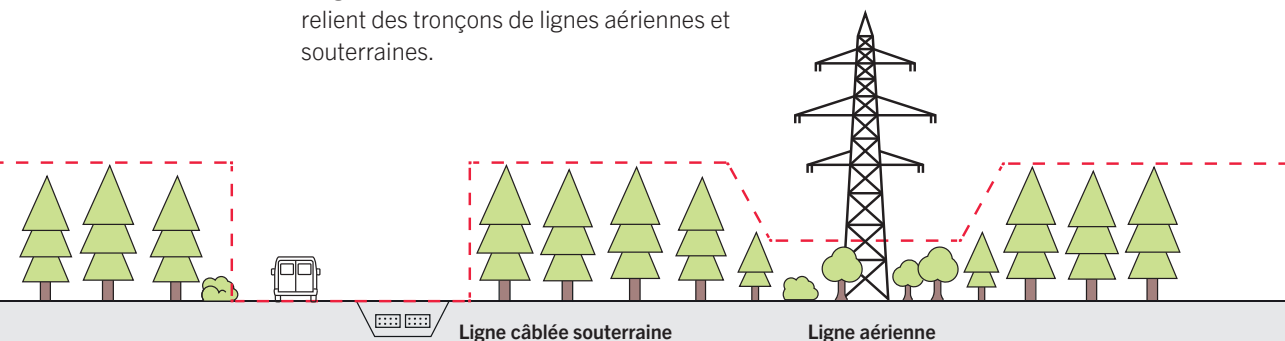
Valeurs limites de jour et de nuit en décibels (dB)

I Zones de détente	☀️ 55 🌙 45
II Zones résidentielles	☀️ 60 🌙 50
III Zones mixtes habitation/ commerce, zones agricoles	☀️ 65 🌙 55
IV Zones industrielles	☀️ 70 🌙 60

Un paysage modifié

L'infrastructure du réseau de transport doit perturber le moins possible le paysage. C'est un défi pour les pylônes des lignes aériennes. Le terrain limite les possibilités et n'offre souvent qu'un faible potentiel d'optimisation. Dans le cas des lignes câblées souterraines, l'infrastructure est certes enfouie en grande partie, mais elle n'est pas totalement invisible. Par exemple, de grandes stations aéro-souterraines relient des tronçons de lignes aériennes et souterraines.

Les routes d'accès et les tranchées en forêt sont des atteintes visibles au paysage. Les zones défrichées lors de leur construction peuvent être reboisées après la fin des travaux. Toutefois, pour des raisons de sécurité, il est nécessaire de maintenir des zones libres où seuls des arbres à basse tige peuvent être plantés.



Une nouvelle vie dans le bois mort

Le bois mort présent dans les forêts favorise la biodiversité. Il en va de même sur les tracés des lignes aériennes. Depuis que du bois mort y est de plus en plus souvent abandonné, on voit apparaître une espèce de coléoptère rare, appelée Rosalie des Alpes.



En savoir plus:
[swissgrid.ch/blog](https://www.swissgrid.ch/blog)

Pour l'apercevoir, il faut être attentif. De plus près, ce coléoptère bleu clair et noir est une vraie beauté. C'est également un insecte très rare. Il passe la majeure partie de sa vie à l'état de larve dans du bois de hêtre mort. La Rosalie des Alpes peut y vivre jusqu'à cinq ans avant de sortir de sa chrysalide et de ronger le bois pour atteindre l'extérieur. Une fois à l'extérieur, sa vie de coléoptère est relativement courte (trois à quatre semaines). Pendant cette période, tout tourne autour de la reproduction chez la Rosalie des Alpes.

Le bois de hêtre mort, une denrée rare

La Rosalie des Alpes est confrontée à une situation difficile depuis longtemps, car le bois de hêtre mort exposé au soleil nécessaire au développement de ses larves fait défaut. Dans nos forêts, souvent exploitées de manière intensive et entretenues avec soin, ce type de bois est devenu une denrée rare. Les troncs morts et les branches cassées sont généralement déblayés avec beaucoup trop d'assiduité. Souvent, les coléoptères trouvent l'habitat dont ils ont besoin pour leurs larves uniquement en lisière de forêt, dans les tas de bois de chauffage. Les conséquences sont fatales, car le bois est généralement évacué et brûlé avant l'éclosion des insectes. Les larves de la Rosalie des Alpes finissent par mourir dans les poêles.

La patience est source de diversité

Étant donné qu'il faut plusieurs années après la ponte pour voir éclore ces magnifiques coléoptères, la patience reste de mise dans l'exploitation du bois mort. Celle-ci s'avère payante à moyen et long terme, non seulement pour la Rosalie des Alpes, mais aussi pour toute une série d'insectes et de champignons qui trouvent dans le bois mort un habitat approprié.

Tout est dans l'entretien

Les tracés des lignes aériennes pourraient s'avérer être un espace de reproduction



Jeannine Suremann
Grid Project Engineer

« Même si la gestion écologique des tracés n'en est qu'à ses débuts chez Swissgrid, l'exemple de la Rosalie des Alpes montre que des mesures simples suffisent souvent à favoriser une espèce spécifique et donc la biodiversité en général »

idéal pour la Rosalie des Alpes. Dans le cadre d'un projet pilote de Swissgrid, le garde forestier responsable d'un secteur où la Rosalie des Alpes avait été repérée a adapté l'exploitation de la ligne à très haute tension en limitant la hauteur de la végétation. Il laisse des souches de hêtres d'environ deux mètres de haut et les entretient de manière à ce qu'elles ne soient pas endommagées par des chutes d'arbres ou alentours. Dans la mesure où cela n'entrave pas la sécurité, il veille à conserver ou à favoriser le bois mort sur pied et au sol.

L'objectif de Swissgrid est maintenant d'intégrer dans son système interne d'information géographique les données relatives à l'ensemble de la Suisse où la Rosalie des Alpes est encore présente. De cette manière, on pourra également tenir compte d'autres tronçons. Ce projet est actuellement encore à l'étude et nécessite de plus amples investigations.

La Rosalie des Alpes (*Rosalia alpina*) atteint une taille de 15 à 38 millimètres.



Parfois, les secondes comptent

S'il y a un déséquilibre dans le réseau de transport, des mesures compensatoires deviennent nécessaires. Comme Swissgrid ne produit pas elle-même d'électricité, celle-ci est achetée sur différents marchés.

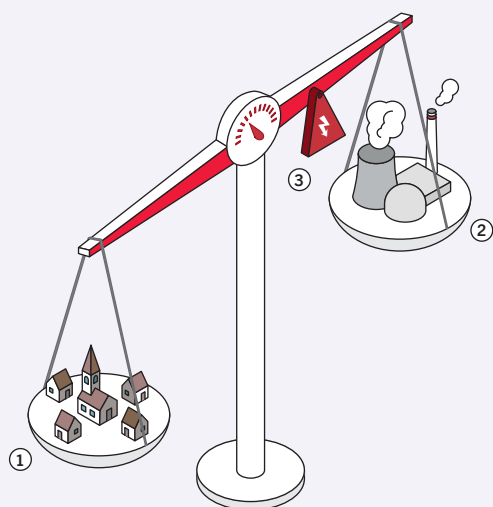
Pour que le réseau de transport soit stable, la quantité d'électricité produite et consommée doit être identique. Ce n'est qu'ainsi que l'approvisionnement peut avoir lieu à une fréquence de 50 hertz. Mais cette fréquence fluctue. Si la consommation est supérieure à la production, la fréquence descend en dessous de 50 hertz. Dans le cas inverse, la fréquence passe au-dessus.

Il est normal d'avoir des écarts

Les fluctuations entre la production et les besoins font partie du quotidien: les conditions météorologiques peuvent accroître ou réduire la demande, et la consommation du secteur économique peut baisser le week-end. Swissgrid tient compte de ces changements dans sa planification courante de l'exploitation du réseau. En cas de déséquilibres imprévus, comme une défaillance de centrale électrique ou de ligne, il faut agir rapidement. En quelques secondes, il faut injecter plus d'énergie électrique dans le réseau ou réduire la production. Pour que cela soit possible, on a recours à l'énergie de réglage. Il s'agit d'une réserve que les centrales électriques nationales et étrangères maintiennent pour une utilisation à court terme en cas de besoin.

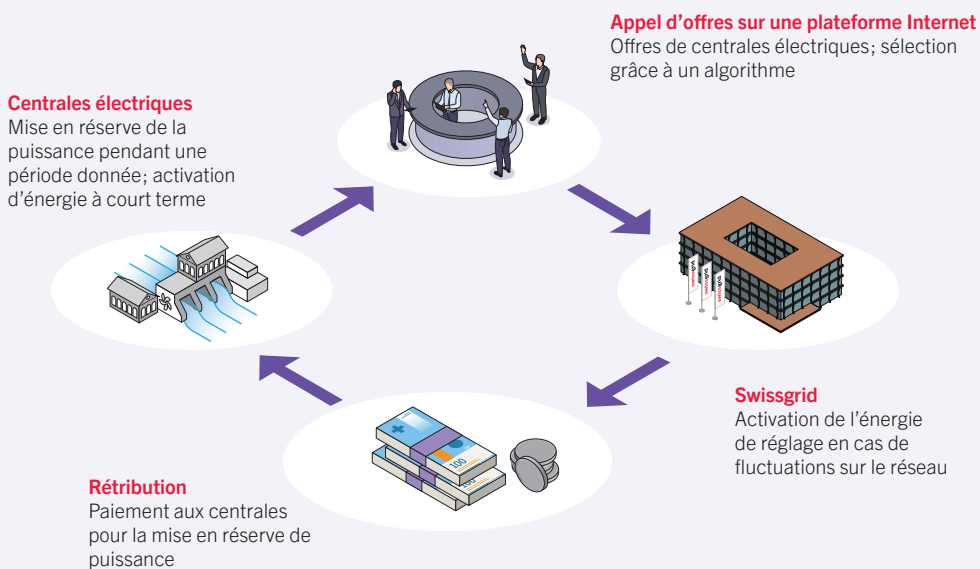
Pour utiliser l'énergie de réglage, les gestionnaires de réseau de transport européens procèdent en trois étapes: quelques secondes après un incident, comme la défaillance d'une centrale électrique, on sollicite d'abord automatiquement les réserves de réglage primaires. Au bout de

Créer un équilibre



La fréquence du réseau peut être inférieure à 50 hertz si la consommation (1) est supérieure à la production (2). Grâce à l'énergie de réglage (3), l'équilibre est rétabli.

Acquisition de réserves de réglage et rétribution



quelques minutes, elles sont remplacées – également automatiquement – par les réserves de réglage secondaires. Si le déséquilibre entre production et consommation n'est pas résolu au bout de quinze minutes, le centre de conduite du réseau peut activer manuellement des réserves tertiaires.

Marchés propres pour les réserves de réglage

Swissgrid demande aux centrales électriques de constituer une réserve de réglage afin qu'elle soit disponible à tout moment. Swissgrid achète ces trois produits de réglage de la fréquence sur des marchés mis en place précisément à cette fin: la puissance nécessaire fait l'objet d'appels d'offres sur des plateformes Internet. Les centrales électriques y proposent leur offre à un certain prix. Si l'une d'entre elles reçoit l'adjudication, elle doit mettre

en réserve la puissance proposée pendant une période donnée. Swissgrid l'indemnise pour ce service. Les centrales électriques reçoivent une autre indemnisation s'il faut utiliser de l'énergie de réglage secondaire et tertiaire.


Contribuer à façonner le marché

Swissgrid participe activement au développement des marchés concernés, par exemple en rendant plus efficaces les appels d'offres pour l'acquisition de l'énergie de réglage en Suisse et à l'étranger. Ou en proposant des solutions de produits et des mécanismes de prix qui permettent aux centrales hydroélectriques de mieux commercialiser leur grande flexibilité dans la production d'électricité.



En savoir plus:

[swissgrid.ch/puissancedereglage](https://www.swissgrid.ch/puissancedereglage)

A portrait of Nell Reimann, a woman with long dark hair and bangs, wearing a dark blazer over a white top. She is sitting in a blue and yellow striped armchair, smiling at the camera. The background is a warm, wood-paneled wall with a lamp visible on the right.

« Il faut un réseau électrique capable de s'adapter avec souplesse »

Nell Reimann
Head of Market Swissgrid

Le système énergétique, et donc le réseau de transport, est en pleine mutation. Swissgrid fait face à cette complexité croissante par une modernisation stratégique de son réseau et le développement continu de la numérisation de ses activités.

Nell Reimann, le système énergétique est en pleine mutation. Qu'est-ce qui attend la Suisse?

L'objectif de la Suisse est d'atteindre la neutralité carbone. La transformation nécessaire et globale du système énergétique est une tâche colossale. Elle implique un changement de paradigme avec l'essor des nouvelles sources d'énergie renouvelables décentralisées et volatiles (énergie d'origine photovoltaïque, éolienne dans une moindre mesure...). Elle conduit également à une augmentation de l'électrification (du parc automobile par exemple) et donc de la consommation d'électricité. Enfin, elle nécessitera un réseau électrique pour le transport mais aussi pour la distribution qui s'adapte au rythme des transformations. Swissgrid, la société nationale pour le transport d'électricité, sera une actrice de ce changement et continuera à faire du réseau électrique de transport l'épine dorsale d'un système énergétique plus vert.

Toute l'Europe travaille à la transformation. Y a-t-il une coopération?

Oui, depuis longtemps déjà. En plus du transport national, le réseau de transport suisse permet d'exporter et d'importer de l'énergie. Les échanges d'électricité entre les pays européens sont nombreux. Cela permet de compenser les pénuries d'électricité en hiver ainsi que les défaillances de centrales ou les surproductions.

La transformation du système énergétique rend cette collaboration encore plus importante. La production d'électricité à partir d'énergies renouvelables est décentralisée et n'a pas toujours lieu quand la consommation est suffisante. Cette volatilité accroît la complexité du système. La coopération au

niveau européen est donc indispensable pour faire face à la mutation du système énergétique.

La coopération fonctionne-t-elle bien?

Pendant des années, elle a fonctionné sur un pied d'égalité. Mais faute d'accord sur l'électricité, la Suisse se retrouve de plus en plus exclue des processus, des organes et des coopérations européens. Cela entraîne des risques pour la sécurité et la stabilité du réseau. Par exemple, si les mesures de stabilisation nécessaires ne devaient être réalisées en majorité qu'avec de l'énergie produite en Suisse, la quantité de courant disponible pour l'approvisionnement de la population suisse diminuerait. De telles mesures entraînent aussi une hausse des coûts qui se répercuterait sur les consommatrices et les consommateurs d'électricité.

Swissgrid tente d'y remédier au niveau technique en concluant des contrats de droit privé avec des gestionnaires de réseau de transport européens. Mais cette solution n'est que temporaire, car sur le long terme, ces contrats ne peuvent remplacer un accord sur l'électricité.

Où en est la transformation du système énergétique suisse ?

La transformation est en cours, mais il faut l'accélérer. Les bases légales pour développer la production d'électricité suisse à partir d'énergies renouvelables ont été établies. Cependant, la réalisation de capacités de production, notamment pour l'approvisionnement en électricité en hiver, et le développement de l'infrastructure de réseau sont insuffisants.

Qu'en est-il du réseau de transport ?

Le réseau de transport suisse constitue le lien entre la production et la consommation. Il est donc fortement touché par les mutations du système énergétique. La planification stratégique du développement du réseau de transport tient compte de cela depuis longtemps. La procédure d'autorisation et d'approbation de la Confédération implique une évaluation minutieuse des mesures de construction. Il faut compter entre quinze et trente ans avant



Portrait
Nell Reimann

Nell Reimann est Head of Business Unit Market et membre de la Direction depuis 2023. Elle travaille chez Swissgrid depuis 2016 où elle a d'abord été responsable du département System Development. En 2019, elle a pris la responsabilité du département System Operations tout en assurant la suppléance du Head of Business Unit Market.

Nell Reimann est membre et présidente de nombreux comités nationaux et internationaux. Elle est titulaire d'un doctorat en ingénierie électrique EPFL et d'un Executive MBA in Management and Corporate Finance de l'Université de Lausanne.

Stratégie énergétique 2050

La Stratégie énergétique 2050 prévoit la transformation progressive du système énergétique afin d'atteindre l'objectif de zéro émission nette d'ici à 2050. Cette transformation est encadrée par la loi sur l'énergie, dont les mesures visent les objectifs suivants:

-43% Réduire la consommation d'énergie par personne de 43% d'ici 2035 par rapport au niveau de l'an 2000



Développer les énergies renouvelables



Abandonner progressivement l'énergie nucléaire

qu'une ligne de transport soit mise en service. Par conséquent, l'infrastructure du réseau risque de ne pas suivre le rythme des ambitions de la transition énergétique.

Swissgrid doit-elle relever d'autres défis ?

Pour répondre, il faut tout d'abord préciser que la production et la consommation d'électricité doivent être équilibrées pour garantir une exploitation sûre et stable du réseau de transport. Comme évoqué, les énergies renouvelables produisent de manière peu planifiable et fluctuante, selon que le vent souffle ou que le soleil brille. Nous devons compenser ces fluctuations. Autrement, l'équilibre est rompu.

La numérisation peut-elle aider à maîtriser cette volatilité ?

Elle peut effectivement aider à gérer la complexité accrue du système énergétique. Nous recherchons des solutions appropriées. Des approches telles que la plateforme de Crowd Balancing Equigy offrent la possibilité d'intégrer de manière simplifiée et

« La coopération européenne est essentielle pour la sécurité de l’approvisionnement en Suisse et en Europe »

évolutive des ressources de flexibilité décentralisées comme les unités de stockage, les voitures électriques, les accumulateurs à batterie ou les pompes à chaleur dans le système électrique. Pour cela, Equigy mise sur la technologie blockchain.

Equigy est également la base d’un autre projet de numérisation. Les énergies renouvelables et les ressources de flexibilité nécessitent une coordination encore plus étroite entre les gestionnaires de réseaux de transport et de distribution. Dans le cadre d’un projet pilote commun avec le fournisseur d’énergie ewz, nous testons comment il est possible de mieux coordonner la compensation des fluctuations au sein du réseau électrique.

Existe-t-il d’autres projets de numérisation ?

Toutes les divisions de Swissgrid travaillent sur des projets de numérisation. Si l’on s’intéresse par exemple à l’énergie photovoltaïque, on sait que la quantité d’électricité produite à partir de cette source d’énergie va fortement augmenter. Cela entraînera des défis pour l’exploitation du système. Un projet pilote vise à améliorer la base de données sur l’injection d’énergie photovoltaïque. Ces données sont notamment utilisées pour mieux évaluer l’impact de l’injection d’énergie photovoltaïque sur les flux de charge et l’équilibrage.

Un autre projet s’intéresse à l’optimisation et l’automatisation de la mise hors service d’éléments de réseau, notamment pour des travaux de révision. Afin d’évaluer le meilleur créneau pour de telles consignations, leurs effets sont simulés. Les mesures nécessaires sont alors planifiées en fonction des résultats.

Les choses évoluent. Comment Swissgrid sera-t-elle positionnée dans dix ans ?

La numérisation constitue le catalyseur de la transition énergétique. Nous faisons le nécessaire pour que Swissgrid devienne une entreprise numérisée. Mais la mise en œuvre des conditions techniques et des solutions correspondantes ne nous sert à rien si Swissgrid ne peut pas réunir les compétences pertinentes au sein de l’entreprise. Ces compétences sont à présent identifiées et leur développement est favorisé dans le cadre de formations continues. Dans la perspective de la transformation numérique, la culture d’entreprise doit elle aussi évoluer. Comme dans d’autres entreprises, Swissgrid a besoin d’un état d’esprit ouvert pour intégrer les changements induits par la numérisation dans sa manière de travailler et de penser.

Amélioration des prévisions en matière d'énergie photovoltaïque pour l'exploitation du réseau

La transition énergétique des prochaines décennies va nécessiter un développement considérable de l'énergie photovoltaïque. Parallèlement, les fluctuations quotidiennes et saisonnières importantes de l'énergie solaire exigent une adaptation de l'infrastructure de réseau ainsi que de meilleures prévisions en matière d'injection.

Les perspectives énergétiques 2050+ de la Confédération prévoient un développement important de l'énergie photovoltaïque en Suisse: la production annuelle d'énergie solaire devrait passer d'environ 2 TWh en 2020 à près de 34 TWh en 2050. Si cette forte augmentation est nécessaire pour atteindre l'objectif zéro émission nette, elle est aussi synonyme de défis considérables pour la branche de l'électricité. Il est impossible de maîtriser la production issue des installations photovoltaïques qui est soumise à des fluctuations liées aux conditions météorologiques.



Erreurs de prévision et haut degré de fragmentation

Ces fluctuations dues aux conditions météorologiques variables entraînent régulièrement des erreurs de prévision. En outre, l'énergie solaire présente un degré de fragmentation élevé, puisque près de 40 % de la puissance installée provient de petites installations ayant une puissance inférieure à 30 kW.

Cette situation ne facilite pas l'élaboration de prévisions fiables et l'accès aux données de mesure. La plupart des installations sont raccordées au réseau de distribution, c'est pourquoi les gestionnaires de réseau de distribution sont les premiers concernés par ces changements. Il faut toutefois s'attendre à moyen terme à des répercussions sur l'exploitation du réseau de transport de Swissgrid. Il est donc essentiel d'améliorer les prévisions concernant l'injection d'énergie photovoltaïque afin de faire face à l'évolution de la situation en matière d'exploitation du réseau. Jusqu'à présent, les prévisions concernant la production d'énergie photovoltaïque n'étaient disponibles que sous une forme agrégée pour l'ensemble de la Suisse. Cependant, ces données ne peuvent pas être ventilées par région ou attribuées à des zones de desserte.



Lancement du projet «Prévisions énergie photovoltaïque»

Afin d'améliorer de manière significative sa base de données interne sur l'injection d'énergie photovoltaïque, Swissgrid a lancé en 2023 le projet «Pré-

visions énergie photovoltaïque». Comparé à ses voisins, la Suisse dispose d'un avantage considérable: les coordonnées, les puissances et les orientations d'une grande partie des installations photovoltaïques suisses sont déjà enregistrées depuis de nombreuses années dans la base de données de Pronovo AG – une filiale de Swissgrid responsable de la gestion des programmes de promotion des énergies renouvelables. Ces données sont récupérées de manière automatisée dans le cadre du projet et transférées sur la plateforme de données de Swissgrid. Elles sont ensuite combinées aux prévisions météorologiques qui sont désormais intégrées en temps réel dans la plateforme de données de Swissgrid. À partir de ces données, il est possible d'établir et d'historiser des prévisions heure par heure de l'injection d'énergie photovoltaïque avec une haute résolution régionale et temporelle.



Utilité et usages multiples

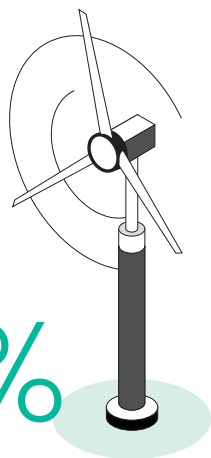
La haute résolution des prévisions établies dans le cadre du projet «Prévisions énergie photovoltaïque» permet une agrégation et un traitement appropriés des données pour diverses utilisations internes. Il est notamment prévu d'améliorer la prévision des flux de charge et des pertes actives dans l'exploitation du réseau. Il est également envisagé de l'utiliser dans la salle de commande de Swissgrid. Ainsi, les changements soudains et inattendus en matière d'injection dus aux conditions météorologiques variables pourront être détectés à temps. La haute résolution permet également une analyse plus approfondie de l'influence des phénomènes météorologiques locaux sur la production d'énergie photovoltaïque et l'exploitation du réseau.

Après la mise en œuvre d'un premier prototype au printemps 2023, les bases de l'environnement de production sont en cours de réalisation sur la plateforme de données de Swissgrid. Sur cette base, le projet sera ensuite affiné progressivement avant d'être connecté à diverses applications internes.

Plus d'une possibilité

La Suisse est le château d'eau de l'Europe. Il n'est donc pas étonnant que l'énergie hydraulique représente la plus grande part de la production nationale d'électricité. Elle occupe encore une place centrale à quelques endroits, mais avec le virage énergétique, la production d'électricité deviendra plus diversifiée et plus décentralisée. Cela présente des avantages, mais requiert des moyens de stockage d'électricité supplémentaires et des adaptations dans l'infrastructure du réseau en vue de garantir l'approvisionnement en électricité.

80%



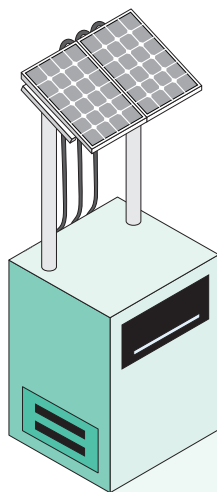
de l'électricité fournie aux prises suisses a été produite en 2022 à partir d'énergies renouvelables.

Plus de 80%

des entreprises électriques appartiennent au **secteur public**. Les électricités et électeurs peuvent donc exercer une influence dans ce domaine grâce à leurs droits de codécision politique.

Durant 9

des 10 derniers hivers, la production nationale n'a pas suffi à couvrir les besoins en électricité de la Suisse.



20 ans

C'est la durée de vie des batteries lithium-ion utilisées pour stocker l'électricité solaire.

35

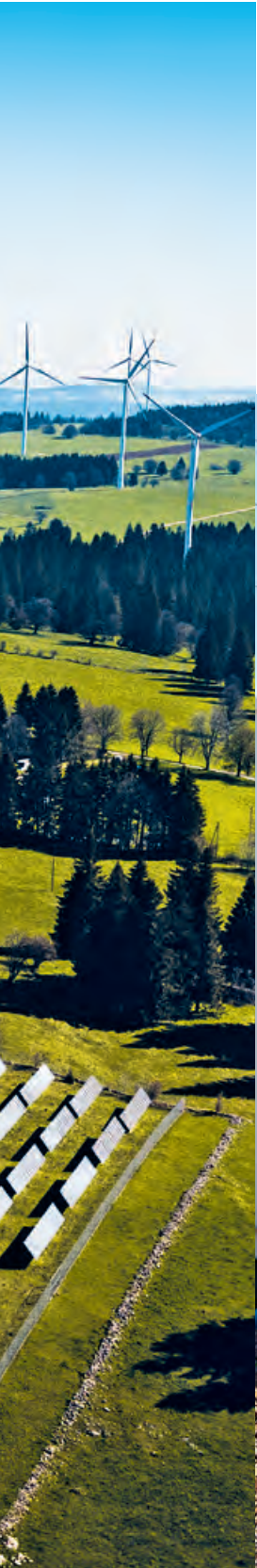
glaciers valaisans alimentent le lac de retenue créé par le barrage de la Grande Dixence. Avec ses 285 mètres, c'est le plus haut barrage-poids du monde. À sa base, ce réservoir d'énergie a une épaisseur d'environ 200 mètres, ce qui correspond à la longueur de deux terrains de football.

Plus de 650

entreprises approvisionnent la Suisse en électricité hydraulique, photovoltaïque, éolienne et nucléaire, ainsi qu'en électricité provenant de l'incinération des déchets et d'autres sources d'énergie. En outre, elles assument des tâches telles que le stockage d'électricité, l'exploitation de parties du réseau ou la fourniture d'électricité à la clientèle finale.



Les énergies renouvelables ont le vent en poupe. Depuis les années 1990, le Mont-Soleil produit de l'électricité à partir de l'énergie photovoltaïque et éolienne.



Le mix énergétique en Suisse. La Suisse mise sur les énergies renouvelables depuis des décennies. Au début, l'accent était surtout mis sur l'énergie hydraulique, mais l'importance de l'énergie solaire augmente désormais d'année en année.



Développement des technologies de stockage. Un accumulateur de grande taille: insignifiant à l'extérieur, high-tech à l'intérieur.



Source d'énergie principale. L'énergie hydraulique reste la principale source d'énergie renouvelable en Suisse.

Depuis la Suisse et l'étranger. Il est fréquent que la production de courant électrique soit assurée sur le lieu de consommation plutôt que de manière centralisée, ou que le courant vienne de loin sous forme d'énergie renouvelable.





La mutation de la production d'énergie. La Stratégie énergétique 2050 modifie le parc de centrales électriques en Suisse.

A portrait of Stefan Oberholzer, a middle-aged man with glasses, wearing a blue blazer over a light blue shirt. He is smiling and leaning on a light-colored wooden desk. The background is a modern office or laboratory setting with blue walls and a large circular light fixture hanging from the ceiling.

« Les besoins en stockage dépendent de plusieurs facteurs »

Stefan Oberholzer

Directeur du programme de recherche sur l'énergie photovoltaïque à l'OFEN

Absence de vent, pénurie d'eau ou faible ensoleillement en hiver: même après la transition énergétique, la demande en électricité doit pouvoir être satisfaite à tout moment. Pour cela, il existe diverses technologies de stockage qui jouent différents rôles dans le système énergétique.

Monsieur Oberholzer, pourquoi l'offre en électricité doit-elle s'adapter de manière flexible à la demande?

D'une manière générale, l'offre en électricité doit toujours être équivalente à la demande afin d'assurer la stabilité du réseau électrique. La transition énergétique nous confronte à de nouveaux défis dans ce domaine, puisque le vent et le soleil ne fournissent pas toujours de l'électricité quand on en a besoin. Cette variabilité se traduit par un besoin accru en termes de flexibilité. Autrement dit, nous devons être capables de réagir afin de maintenir l'équilibre du système en cas de fluctuation de la consommation ou de la production d'électricité.

Peut-on prévoir cette variabilité?

Seulement jusqu'à un certain point. S'il n'y a pas de soleil malgré des prévisions météorologiques contraires, il n'est pas possible d'augmenter la production d'électricité en cas de hausse de la demande. Il est plus facile de compenser les effets saisonniers en raison des différents profils de production des énergies renouvelables. L'énergie hydraulique et solaire est plutôt disponible au printemps et en été, tandis que le vent souffle plus fort en automne.

Peut-on compenser les inconvénients des énergies renouvelables?

Le réseau électrique suisse joue un rôle central dans la compensation de ces inconvénients. Si les possibilités de raccordement au réseau pour transporter l'électricité produite par les énergies renouvelables font défaut, il est inutile d'augmenter les capacités de production du pays. Il suffit de regarder ce qui se passe au-delà de nos frontières pour comprendre ce qu'il faut faire. Dans un rapport publié fin 2023, l'Agence internationale de l'énergie indique que la transformation et le développement des réseaux de distribution et de transport devront doubler d'ici 2040 partout dans le monde. Dans le cas contraire, l'électrification visée par les énergies renouvelables – et donc les objectifs climatiques – ne pourront pas être atteints. La situation est similaire en Suisse.

Existe-t-il d'autres options?

Il faut créer des solutions de stockage pour stocker le courant lorsqu'il peut être produit. Si la demande en électricité augmente alors qu'il n'est plus possible de produire, on pourra recourir à ces réserves. Ces accumulateurs peuvent être installés chez des particuliers, des professionnels ou des entreprises d'approvisionnement en énergie.

Combien d'accumulateurs de ce type faudrait-il?

Le besoin effectif d'accumulateurs, ou de capacité de stockage, dépend du développement du réseau, du type et de la quantité d'électricité produite et de la gestion de la demande. En Suisse, certaines mesures ont déjà été prises dans ce sens. En ce qui concerne le développement du réseau, la loi fédérale « Stratégie Réseaux électriques » a permis d'améliorer dès 2019 les conditions générales pour la transformation et le développement, ainsi que les conditions préalables à l'optimisation et au développement des réseaux électriques.

La loi sur l’approvisionnement en électricité a établi les fondements permettant d’utiliser des accumulateurs appropriés dans l’ensemble du système électrique. Les gestionnaires d’accumulateurs sont, en vertu de la loi, propriétaires de leurs flexibilités. Par conséquent, ils sont en mesure de les proposer là où elles sont le plus utiles au système. Ce sont notamment les autoconsommatrices et autoconsommateurs qui sont incité(e)s à exploiter leur important potentiel de flexibilité et à générer ainsi des revenus supplémentaires.

Lorsque l’on évoque le stockage d’électricité, les profanes pensent généralement aux batteries. Quelles sont les autres technologies existantes ?

Il est vrai que les batteries jouent un rôle majeur dans le stockage de l’électricité et qu’elles joueront un rôle encore plus important à l’avenir, et ce, qu’il s’agisse de batteries mobiles, comme celles des véhicules électriques, ou de batteries stationnaires. En se basant sur le scénario d’une production d’électricité reposant à 100 % sur les énergies renouvelables, l’université finlandaise LUT estime qu’en 2050, 60 % du stockage d’énergie en Europe sera assuré par des batteries.

Il existe en principe différents types d’accumulateurs pour le stockage d’électricité. Il existe des accumulateurs mécaniques comme les accumula-



Portrait
Stefan Oberholzer

Stefan Oberholzer est docteur en physique. Il est responsable depuis 2008 des domaines de recherche sur l’énergie que sont l’énergie photovoltaïque, l’hydrogène et les batteries à l’Office fédéral de l’énergie (OFEN) et dirige les programmes correspondants de l’OFEN.

Aperçu des technologies de stockage

Pour le stockage, l’énergie est convertie d’une forme à une autre. Une nouvelle conversion libère l’énergie stockée sous forme de courant.

Les types de réservoirs d’énergie sont par exemple :



Les réservoirs mécaniques,
comme les centrales de pompage-turbinage



Les réservoirs chimiques,
comme le power-to-hydrogen



Les réservoirs électrochimiques,
comme les batteries

teurs à pompe ou à gravité. Les batteries font partie des accumulateurs électrochimiques. Les condensateurs sont des accumulateurs électriques qui stockent des charges et l’énergie électrique associée plutôt à court terme sous la forme d’un champ électrique. Le power-to-gas ou le power-to-hydrogen sont des accumulateurs chimiques qui permettent de stocker l’énergie sur de longues périodes. Quant au power-to-heat, il s’agit d’un stockage thermique.

Ces technologies jouent-elles des rôles différents dans le système électrique ?

Le principal défi est de pouvoir répondre à la demande en énergie tous les jours. Les technologies de stockage doivent donc être en mesure de couvrir les périodes sans vent, les journées hivernales peu ensoleillées ou les épisodes de pénuries d’eau. Il est donc logique de miser sur différentes technologies. Les centrales hydroélectriques à accumulation jouent un rôle central dans l’équilibre saisonnier. Les accumulateurs décentralisés, eux, sont plutôt destinés à la stabilisation du réseau et à l’équilibrage journalier. Les électrolyseurs, qui convertissent l’électricité renouvelable en hydrogène pour le stockage, peuvent également exercer une fonction de compensation dans le système électrique.

« Quelles que soient les technologies de stockage, un niveau élevé d'électrification est le moyen le plus simple et le plus efficace d'abandonner les combustibles fossiles »

Quel est le rôle des accumulateurs dans le réseau de transport ?

Au niveau de réseau le plus élevé, les réservoirs d'eau sont et restent d'une grande importance. Selon le rapport « Stockage d'énergie en Suisse », l'énergie stockée dans les accumulateurs par pompage, c'est-à-dire l'énergie récupérée par ces accumulateurs, va plus que doubler d'ici à 2050. Mais d'autres types de stockage, combinés au couplage de secteurs, peuvent également jouer un rôle dans le réseau de transport. Le couplage de secteurs désigne d'une manière générale l'association des « secteurs énergétiques » de l'électricité, du gaz, de la chaleur et des transports. Les installations techniques, les infrastructures et les marchés des différents secteurs doivent être mieux coordonnés afin d'établir un système énergétique intelligent à grande échelle. Les possibilités de stockage dans les secteurs peuvent également jouer un rôle dans le réseau de transport, par exemple dans la fourniture de services-système.

Le couplage des secteurs permet de penser à grande échelle. Qu'en est-il du stockage au sein des ménages ?

En 2022, près d'une maison individuelle sur trois équipée d'une installation photovoltaïque disposait d'un accumulateur. Il ne sera toutefois pas nécessaire à l'avenir d'installer des accumulateurs dans chaque foyer pour garantir une flexibilité suffisante.

Par ailleurs, l'objectif des gestionnaires de réseau est de permettre une exploitation du stockage décentralisé la plus « conviviale » possible pour le réseau. L'utilisation de la recharge bidirectionnelle avec des véhicules électriques ou des communautés électriques locales raccordées au réseau de distribution offrent certainement une plus grande marge de manœuvre pour l'utilisation de possibilités de stockage.

Quelles sont les technologies de stockage qui gagneront en importance à l'avenir ?

Je pense que les batteries seront d'une importance capitale. Cela ne signifie pas pour autant que d'autres formes de stockage, comme les accumulateurs thermiques saisonniers associés à l'approvisionnement en chaleur par le réseau, n'auront pas un rôle important à jouer. Quelles que soient les technologies de stockage, un niveau élevé d'électrification est le moyen le plus simple et le plus efficace d'abandonner les combustibles fossiles.

Sources d'énergie actuelles

L'énergie électrique ne se forme pas toute seule. Elle est transformée à partir d'une forme d'énergie en une autre. Les possibilités à cet égard sont multiples.

Énergie thermique

Énergie stockée dans le mouvement désordonné des atomes ou des molécules d'une substance. Dans les centrales à vapeur, l'énergie thermique de la vapeur d'eau est convertie en énergie cinétique par un mouvement rotatif.

Énergie cinétique

Énergie de mouvement, comme le vent ou l'eau qui coule. La transformation a lieu dans les centrales hydroélectriques et éoliennes.

Énergie électrique

Énergie transmise par l'électricité ou stockée dans des champs électriques. Il s'agit notamment de la foudre ou des charges électriques qui « circulent ». La conversion s'effectue à l'aide de moteurs électriques ou de générateurs.

Énergie de rayonnement

La lumière ou la chaleur sont de l'énergie transportée par des ondes électromagnétiques. Le rayonnement solaire est par exemple converti en énergie par le photovoltaïque.

Énergie chimique

Énergie stockée sous des formes chimiques comme le bois ou le pétrole. Elle est libérée lors de réactions chimiques telles que la combustion de carburants dans les moteurs.



Énergie potentielle

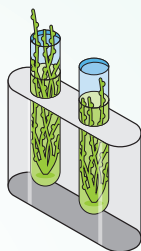
Énergie de position, comme l'eau accumulée ou un objet placé en hauteur. La transformation a lieu dans les centrales de pompage-turbinage, par exemple.

Énergie nucléaire

Énergie contenue dans les noyaux atomiques. La fission nucléaire permet de produire de l'énergie secondaire comme l'électricité. On utilise le rayonnement thermique généré pour transformer de l'eau en vapeur. Celle-ci entraîne à son tour des turbines produisant de l'électricité.

Quatre sources d'énergie potentielles du futur

La demande en sources d'énergie renouvelables et durables va fortement augmenter dans les années et les décennies à venir. C'est pourquoi les chercheurs et les entreprises du monde entier cherchent des alternatives aux énergies éolienne, solaire et hydraulique.



Algues — le carburant de la mer

Le sucre d'un kilo de macroalgues permet de produire 40 à 60% de bioéthanol et, en plus, 10% de biogaz. Comme les algues absorbent de grandes quantités de CO₂ de la mer et de l'atmosphère lors de leur croissance, il s'agit d'une source d'énergie très efficace. Les restes d'algues peuvent en outre être utilisés comme engrais ou comme ingrédient dans des aliments et des médicaments.



Champignons — des artistes de la métamorphose

Les champignons et leur mycélium sont des champions du recyclage et de la transformation des matières. Ils transforment la biomasse de manière extrêmement efficace en matières neutres pour le climat et utilisables de manière polyvalente. Certaines espèces de champignons peuvent transformer les déchets de production de l'industrie du bois et de l'agriculture en bioéthanol.



Chanvre — un bio-aspirateur polyvalent

Le chanvre est utilisé depuis des millénaires comme matériau d'isolation et de construction, ou pour produire des huiles essentielles, des textiles, du papier, de la toile à voile et des cordages. Un autre superpouvoir de cette plante robuste est sa capacité à dépolluer les sols. Et son potentiel ne s'arrête pas là, car le chanvre peut même être utilisé pour produire de l'énergie. Il existe déjà des procédés permettant de convertir le chanvre en méthane et en hydrogène pratiquement sans résidus.



Bois — un carburant pour les bateaux

Dans le secteur de la construction, le bois est considéré depuis longtemps comme l'un des matériaux les plus respectueux du climat. Les résidus de bois peuvent être transformés en électricité et en chaleur dans des centrales de chauffage au bois. Grâce à un procédé spécial, on peut également en obtenir du carburant pour la navigation. Le secret réside dans le principal composant des parois cellulaires des plantes, la lignine. Ce biopolymère peut être utilisé comme agent énergétique ou pour la fabrication de médicaments ou de matériaux comme le cuir synthétique.



« En tant que gestionnaire du réseau de transport, nous apportons une contribution essentielle à un approvisionnement en électricité écologique et socialement durable, fiable et efficace pour la Suisse »

Kathrin Hofer Head of Sustainability



« L'exploitation courante du réseau de transport requiert de l'attention jour et nuit. Nous établissons déjà des prévisions sur la charge du réseau douze mois à l'avance »

Valentin Bürgler Senior Specialist Operational Planning

Swissgrid offre la possibilité de faire un travail intéressant et utile.

swissgrid.ch/emplois

Sources

- Borderstep Institut (7)
- Office fédéral de l'énergie (7, 48, 51, 53)
- Office fédéral de la statistique (51, 53)
- energieexperten.ch (53)
- suisseenergie.ch (7)
- Meteomatics.com (51)
- Pro Natura (42, 43)
- Stiftung Habitat (14, 15)
- prix-electricite.elcom.admin.ch (18, 19)
- Swissgrid (7, 21)
- Touring Club Schweiz (7)
- Association des entreprises électriques suisses (53, 60)

Impressum

Édité par

Swissgrid SA, www.swissgrid.ch

Conception et réalisation

SOURCE Associates AG, Zurich

Concept de contenu et rédaction

open up AG, Zurich

Photographie & crédits photos

Luxwerk, Stefan Walter, Swissgrid, Getty Images, Keystone, EKZ, Axpo, Daisuke Hirabayashi (pour Buchner Bründler Architekten), Stocksy, Alamy, Foto Werk

Production

Kromer Print AG, Wettingen



©2024 | Printed in Switzerland



« Développer le maintien de la tension dans le réseau à très haute tension en collaboration avec les entreprises et la branche est essentiel pour la sécurité de l'approvisionnement »

Fabian Streiff Senior Specialist Product Development



« Sans infrastructure informatique, rien ne fonctionne dans le réseau de transport. Les solutions et les processus sont étroitement imbriqués entre tous les secteurs et doivent être harmonisés. »

Eva Romanczyk cheffe de projet et Requirements Engineer



« Le réseau de transport n'est jamais achevé; il est renouvelé continuellement. À l'aide de données, nous analysons les domaines dans lesquels des rénovations sont nécessaires »

Martina Rohrer Head of Technical Asset Management



« Le réseau de transport et son exploitation sont simulés grâce à des modèles virtuels. De grandes quantités de données sont alors traitées »

Gianluca Bergami Data Engineer

L'électricité fait bouger le monde et notre pays, l'électricité crée la sécurité, la qualité de vie et la prospérité. Nous exploitons en permanence le réseau de transport de manière fiable, efficace et non discriminatoire au service de l'économie nationale et du secteur électrique suisse. Nous concevons et construisons le réseau de transport du futur.

Ce faisant, nous assumons notre responsabilité envers la société et l'environnement.

En relation avec nos partenaires suisses et étrangers, nous misons sur des solutions basées sur le partenariat et le marché afin de développer le système énergétique.

La sécurité est notre première priorité, dans tout ce que nous faisons.