

Réseaux et accumulateurs intelligents

Les réseaux d'énergie se rapprochent



La transition énergétique ne se fait pas seulement dans les centrales avec lesquelles nous produisons du courant et de la chaleur. Elle se fait aussi sur la chaîne qui va des centrales aux prises électriques dans chaque maison. Les réseaux d'électricité dotés de techniques de commande intelligentes et d'accumulateurs performants contribuent à ce que les énergies renouvelables puissent percer. La clé d'une alimentation énergétique durable réside dans la convergence des réseaux d'énergie.

En collaboration avec

• Les réseaux d'énergie croissent pour former ensemble un nouveau système énergétique.	4
• La production décentralisée crée un approvisionnement énergétique sûr, fiable et largement réparti entre petits producteurs.	6
• La convergence des réseaux relie les réseaux d'énergie des agglomérations pour en faire un ensemble intégré.	8
• Les réseaux intelligents locaux sont le complément idéal de la production d'énergie décentralisée.	10
• Le pilotage intelligent des réseaux fait d'un entrepôt frigorifique un accumulateur d'énergie.	12
• Les compteurs d'électricité intelligents aident à économiser l'énergie et à mieux utiliser le courant renouvelable.	14
• La transformation d'électricité en gaz combustible rend le courant d'origine éolienne et solaire tout le temps disponible.	16
• Les réseaux de chaleur à distance assurent l'approvisionnement en chaleur produite avec des énergies renouvelables.	18
• Les réseaux électriques modernes sont une condition pour la transformation du système énergétique.	20
• Huit projets de modernisation et d'agrandissement qui contribuent à garantir l'approvisionnement électrique suisse.	22
• Les centrales de pompage-turbinage sont des batteries vertes qui peuvent servir de nouveau modèle économique en Europe.	24
• Les batteries d'accumulateurs déchargent les réseaux d'électricité.	26
• Les nouvelles technologies d'accumulateurs conservent l'énergie renouvelable sur de courtes ou de longues durées.	28
• Les réseaux transnationaux sont la clé d'un approvisionnement énergétique durable en Europe.	30
• Les coûts d'agrandissement des réseaux performants diminuent grâce aux technologies innovantes.	32
• Les procédures d'approbation et d'autorisation sont accélérées pour la transformation du système énergétique.	34

Editeur :

AEE SUISSE Organisation faîtière de l'économie des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique,
Falkenplatz 11, case postale, 3001 Berne, www.aeesuisse.ch

Texte et maquette : cR Kommunikation AG, avec la collaboration de Dr. Vogel Kommunikation

Traduction : Julien Perrier, Vevey

Etat : novembre 2013

Photo de couverture : La capacité de transport des lignes à haute tension peut être optimisée en les exploitant en fonction de la météo (température, vent, rayonnement solaire, etc.). Dans le cadre du projet de recherche « Optimisation de l'exploitation des lignes aériennes d'un point de vue météorologique », des monteurs installent des appareils de mesures météo sur la ligne à haute tension du Lukmanier. Photo : U. Steinegger, Meteotest GmbH

Toutes les données ont été traitées et vérifiées avec le plus grand soin. Toutefois, étant donné la complexité du sujet et la rapidité de l'évolution des connaissances, des erreurs ne peuvent être totalement exclues. Si cela devait arriver, nous vous remercions de votre compréhension et vous prions, le cas échéant, de nous le communiquer.

La réalisation de cette brochure a été possible grâce au soutien de suisse énergie, des services industriels bâlois Industrielle Werke Basel IWB, de l'Union des villes suisses, de Swissspower SA et de l'Association Suisse de l'Industrie Gazière (ASIG).

Notre monde devient toujours plus complexe. En même temps, il est de plus en plus en réseau. Il suffit de regarder les transports, la communication et, précisément, l'approvisionnement énergétique. On ne prend en général conscience de ces réseaux et de notre dépendance à leur égard que lorsqu'une panne se produit, ne serait-ce que pendant quelques brefs instants.

Avec la décision de transformer notre système énergétique, ce sont maintenant aussi les réseaux et les accumulateurs d'énergie qui seront en ligne de mire. Pour répondre aux exigences du futur, ils doivent devenir plus performants et plus adaptables et cela ne se fera pas sans le recours à de nouvelles technologies et sans investissements conséquents.

L'une de ces exigences, qui n'est de loin pas la seule, est l'adaptation à la part croissante des énergies renouvelables, produites de manière décentralisée et de plus en plus souvent aussi consommées sur place. Les avis divergent sur le coût que représentera la modernisation des réseaux. Le défi majeur qui attend la Suisse, toute l'Europe et l'ensemble du monde industrialisé sera de rendre le système énergétique compatible avec l'homme et l'environnement.

Pour le relever, il ne faut pas seulement transformer les réseaux mais aussi les modes de pensée. Aujourd'hui déjà, nous possédons les technologies et le savoir permettant, d'une part, d'utiliser l'énergie plus intelligemment sur toute la chaîne qui va de la production à la consommation et, d'autre part,

de réduire massivement la part des agents d'origine fossile ou nucléaire. De nouveaux procédés sont régulièrement découverts. Pour en tirer parti, nous avons besoin d'un approvisionnement énergétique qui soit véritablement un « système ». Celui-ci n'est cependant pas encore pleinement opérationnel : il manque à la chaîne de nombreux maillons. Mais la transformation de l'approvisionnement en un système cohérent et intelligent a commencé. En témoignent les nombreux projets extrêmement prometteurs qui permettront de faire rapprocher les réseaux d'électricité, de gaz, de chaleur et de télécommunication afin de stocker l'énergie.

Pour franchir cette étape, il ne faut pas seulement beaucoup d'argent et de savoir-faire mais aussi et surtout la compréhension et l'acceptation de cette nécessité. L'une et l'autre seront indispensables pour réaliser rapidement ce nouveau système énergétique tout en tenant compte des intérêts de la population et de l'environnement. Il n'y a pas seulement notre système énergétique qui doit venir intelligent mais aussi notre comportement avec l'énergie. L'AEE SUISSE accompagnera cette transformation de manière constructive.

Runners

Christoph Rutschmann
Président d'AEE SUISSE

Les réseaux d'énergie

croissent pour former ensemble un nouveau système énergétique.

Un approvisionnement énergétique moderne a besoin de réseaux intelligents et de nouveaux accumulateurs. C'est pour cela que les réseaux urbains d'électricité, de chaleur et de gaz sont désormais appelés à se rapprocher. C'est ce que l'on appelle la convergence des réseaux.

Ceux qui ont un vélo électrique connaissent la situation : la route commence à monter, on pédale avec plus d'effort, le moteur intervient et la cote est franchie plus aisément. Tout cela grâce à la batterie montée sur le vélo. Le cycliste sait par expérience qu'un accumulateur fournit exactement l'énergie dont il a besoin. Et c'est l'un des grands principes du futur approvisionnement énergétique. L'arrivée des énergies renouvelables n'est cependant de loin pas la seule raison pour laquelle il faut moderniser les réseaux et les accumulateurs. Mais nous sommes aujourd'hui en train de poser des jalons pour notre futur système énergétique qui requiert des technologies innovantes à un coût supportable.

L'agrandissement de l'infrastructure des réseaux, que ce soit de courant, de chaleur ou de gaz, soulève dans les communes et les agglomérations des questions de politique et d'aménagement du territoire pour le moins explosives. La population concernée veut avoir son mot à dire, elle demande que les intérêts locaux ne soient pas piétinés au nom de la solidarité collective. Il faut donc un cadre juridique solide. Toutefois, seul un vaste débat politique permettra de faire accepter les projets d'agrandissement nécessaires à la mise en œuvre de la transition énergétique.

Les communes et les agglomérations sont appelées à jouer un rôle essentiel dans la transforma-

tion des réseaux. D'habitude, leurs services industriels exploitent des réseaux d'électricité, de gaz et de chaleur. Quelques-uns distribuent aussi l'eau et assurent son épuration. De nombreuses villes sont en outre en train de mettre en place des réseaux de fibres optiques grâce auxquels leurs services industriels pourront contrôler les réseaux d'énergie. En général, les différents réseaux d'énergie et de communication se sont développés indépendamment les uns des autres. Aujourd'hui, on constate que la convergence des réseaux locaux d'énergie recèle un énorme potentiel pour mettre en œuvre une politique énergétique durable.

La convergence, c'est le fait de croître ensemble. Elle comporte trois volets :

- **La convergence par les centrales d'énergie :** jusqu'à présent, on parlait de centrales électriques, désormais, on les appelle des centrales énergétiques. Les centrales énergétiques réunissent plusieurs types d'énergie. Aujourd'hui, la plupart des usines d'incinération d'ordures alimentent des réseaux de chaleur locaux ou à distance tout en produisant de l'électricité. Elles sont le modèle des installations de couplage chaleur-force de tous types et tailles auxquels on recourra de plus en plus souvent pour produire de l'énergie. Il y a aussi des stations d'épuration qui produisent de l'électricité et de la chaleur avec le gaz d'épuration. L'exemple type de cette tendance, c'est la centrale énergétique de Berne-Forsthaus qui est à la fois usine d'incinération d'ordures, centrale à bois et centrale à gaz. Avec des déchets, du bois et du gaz naturel, cette centrale produit du courant, de la vapeur et de la chaleur.



Les utilisateurs de vélos électriques connaissent bien l'utilité des accumulateurs d'électricité. Et pour cause ! L'accumulateur placé sous la selle met à disposition l'énergie supplémentaire requise.

- **La convergence par les interfaces de réseaux :** au sens étroit du terme, la convergence signifie que les réseaux d'énergie sont à ce point imbriqués que l'énergie de l'un peut être transformée dans un autre. Un exemple : grâce à la technologie qui permet de transformer l'énergie en gaz combustible, l'électricité d'un réseau peut être convertie en gaz qui est ensuite injecté dans l'autre réseau. Un grand nombre de technologies sont aujourd'hui disponibles pour de tels passages entre les réseaux d'électricité, de gaz et de chaleur et offrent un vaste potentiel. Leur utilisation conséquente rend les réseaux plus souples et crée des possibilités d'accumulation qui permettent à leur tour d'intégrer les énergies renouvelables.
- **La convergence par les techniques de pilotage :** les réseaux de communication (câble, électricité, téléphone, fibre optique) per-

mettent de contrôler les réseaux d'énergie et, par là, les consommateurs et les installations de production décentralisées qui leur sont raccordés. Combinés à des techniques de communication modernes, des compteurs d'énergie intelligents mettent en réseau producteurs et consommateurs d'énergie. Ces réseaux dits intelligents offrent des perspectives pour de nouveaux modèles d'affaires dans le domaine de l'énergie (smart markets).

C'est ainsi que les villes suisses et leurs fournisseurs d'énergie sont amenés à devoir considérer leurs réseaux d'énergie comme un système global. Avec sa stratégie énergétique « EnK³ », par exemple, la ville de St-Gall mise désormais non plus seulement sur la chaleur et l'électricité mais également sur la mobilité. La convergence des réseaux est l'un des piliers de l'approvisionnement futur en énergie.

La production décentralisée

crée un approvisionnement énergétique sûr, fiable et largement réparti entre petits producteurs.

La décentralisation est à la fois la caractéristique et la force de la transition énergétique. Au lieu de grandes centrales, on a un grand nombre de petites et moyennes installations pour alimenter le futur système énergétique.

Il y a quelques années encore, près de 100 % de l'électricité suisse était produite dans de grandes centrales, notamment hydrauliques et nucléaires. Des producteurs étrangers fournissaient le pétrole et le gaz. Avec le renouvelable, cette dépendance peut diminuer. Que ce soit avec le soleil, le vent ou la biomasse, de plus en plus de particuliers et de collectivités vont produire leur énergie pour chauffer ou faire marcher des appareils, pour leur consommation propre ou pour l'injecter dans les réseaux.

Un nouveau système énergétique décentralisé

Un système énergétique décentralisé présente nombre d'avantages : les risques de mauvais investissement, d'accident ou d'engorgement dans l'approvisionnement diminuent. Au lieu d'avoir d'énormes installations à très longue durée de vie et difficiles à amortir, le parc national de centrales électriques sera optimisé en permanence. En outre, les petites et moyennes installations permettent à beaucoup d'investir dans la modernisation du système. En Allemagne, seuls 5% de la puissance installée pour la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables sont aux mains des quatre grandes sociétés du pays. La grande majorité des installations appartient à des particuliers, des PME, des paysans, des fonds, etc. En Suisse aussi, la transition énergétique ouvre la voie vers la décentralisation de l'approvisionnement énergétique. Les coopératives énergétiques et les centrales citoyennes se popularisent. Toutes créent

des places de travail et des revenus dans les régions et témoignent de l'énorme capital de sympathie envers le renouvelable.

La décentralisation crée de meilleures structures

La transformation du système énergétique apparaît la plus évidente dans le cas de l'électricité. Les installations décentralisées impliquent de nouvelles exigences pour les réseaux, les centrales et l'infrastructure d'accumulation. Le marché de l'énergie est aussi en pleine mutation. La décentralisation est donc l'occasion de faire sauter des structures obsolètes. Le coût de cette transformation n'est pas entièrement imputable à la transition énergétique. L'entretien des réseaux d'électricité a été négligé pendant des années et doit maintenant être rattrapé pour garantir le fonctionnement du système actuel dans les échanges internationaux et le passage à un système décentralisé. Cela dit, la décentralisation ne signifie pas nécessairement qu'il faudra plus de lignes électriques. Lorsque l'énergie est consommée là où elle est produite, les réseaux sont moins sollicités. Les nouveaux procédés de commande de la charge et de l'accumulation d'énergie renforcent cet effet. Des systèmes prévisionnels plus précis permettent aussi de prévoir où et quand le vent et le soleil fourniront telle ou telle quantité de courant et quelle sera la demande.

Chaleur ou courant ? Les deux !

Produire son propre courant et le consommer soi-même est relativement nouveau. En revanche, produire de la chaleur là où on en a besoin est une activité maîtrisée depuis la nuit des temps. Ce qui a changé, ce sont les techniques pour diminuer la consommation d'énergie et remplacer le fossile par le renouvelable. Rien que le soleil pourrait couvrir 30



L'énergie d'en haut – dans toute la Suisse. En 2012, le soleil, le vent et la biomasse dans les installations décentralisées fonctionnant aux énergies renouvelables ont produit environ 2000 GWh de courant. Ce chiffre correspond à 3 % de la production nette d'électricité (sans l'énergie hydraulique). Selon la stratégie énergétique du Conseil fédéral, la fourniture par ce biais devrait être d'au moins 4400 GWh en 2020, 14500 GWh en 2035 et 24 200 GWh en 2050.

à 60 % des besoins de chaleur dans les habitations. Et la couverture serait bien supérieure si l'on y ajoutait le bois, la chaleur de l'environnement et le gaz naturel synthétique. Ces agents pourraient aussi servir dans des processus industriels. C'est là que les réseaux de chaleur trouvent toute leur raison d'être. Il y a des synergies à réaliser en combinant divers procédés. Certes, le Conseil fédéral ne veut plus encourager les centrales à couplage chaleur-force qui produisent l'une et l'autre. Du fait de l'aptitude de ces dernières à stabiliser les réseaux locaux, une libération partielle de la taxe sur le CO₂, une réglementation de la consommation propre et une obligation de reprise et de rémunération de l'électricité pour les exploitants de réseaux sont à envisager.

Quelle est la meilleure solution ?

Le passage aux énergies décentralisées est bien plus qu'une révolution technique. Les services industriels des villes se préparent au nouveau marché en produisant elles-mêmes du courant et de la chaleur à partir d'énergies renouvelables. Mais il faut aussi que les politiques créent des incitations

et veillent à offrir des conditions-cadres stables et fiables pour que chacun joue le jeu. La rétribution à prix coûtant du courant injecté constitue aujourd'hui le moyen le plus efficace pour favoriser la construction et l'exploitation d'installations pour énergies renouvelables. Elle garantit la sécurité pour les investissements, stimule la production, accélère la maturité de nouvelles technologies et s'adapte au progrès technique. La réglementation de la consommation propre et la commercialisation directe sont susceptibles de venir compléter la RPC. Mais ces instruments doivent d'abord être rodés et requièrent de nouvelles technologies ainsi que de nouveaux modèles d'affaires. Le cadre d'investissement doit demeurer simple, intelligible et calculable.

Installations à énergie renouvelable

Le site www.voici-energie.ch permet de se rendre compte de la diversité et du nombre des installations fonctionnant avec des énergies renouvelables.

La convergence des réseaux

relie les réseaux d'énergie des agglomérations pour en faire un ensemble intégré.

Le dernier cri, c'est la convergence des réseaux électriques. En ce moment, les services industriels de la ville de Soleure construisent une installation pilote permettant de faire rapprocher les réseaux d'électricité, de gaz et de chaleur. Un réseau d'énergie intégré est d'une utilité primordiale : il permet par exemple de stocker en cas de besoin du courant vert d'origine photovoltaïque.

Comme beaucoup d'autres services industriels, Regio Energie Solothurn assure la fourniture de plusieurs énergies. Il y a d'abord l'électricité qu'elle distribue à toute la ville de Soleure. Puis un réseau de gaz pour 22 communes de la région. Et enfin depuis quelques années un réseau de chaleur à distance alimenté par une usine d'incinération d'ordures. En 2007, les services industriels soleurois ont entièrement repensé leur réseau de chaleur. Depuis, le raccordement de la ville progresse à grands pas. Une deuxième conduite de chaleur alimentée par la même centrale est en construction.

Les réseaux d'énergie croissent ensemble

Trois réseaux (électricité, gaz et chaleur) parcourent la ville et se rencontrent sur l'Aarmatt. C'est ici que Regio Energie Solothurn va réaliser une installation pilote réunissant plusieurs centrales et accumulateurs pour les tester au quotidien. L'idée est de réunir les trois réseaux précités afin d'en mesurer les avantages et voir en taille réelle l'allure que pourrait avoir un réseau énergétique intégré.

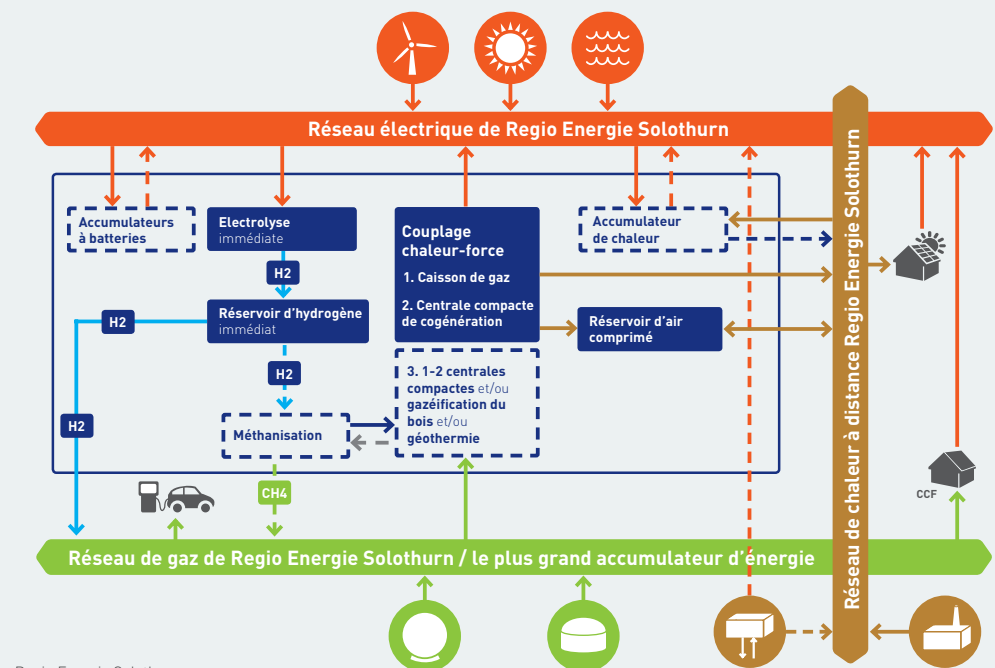
Au cœur de ce projet, il y a d'abord une centrale à gaz naturel avec gazomètre et centrale compacte de cogénération fournissant de la chaleur

et du courant électrique. Regio Energie Solothurn a choisi ce projet afin d'avoir une solution de secours en cas de panne à l'usine d'incinération d'ordures qui alimente le réseau urbain de chaleur à distance. Autre avantage, cette centrale permet de produire sa propre chaleur et son propre courant : moins besoin d'acheter de la chaleur à l'usine d'incinération et de l'électricité à des producteurs externes.

Une interconnexion unique en son genre

Mais la nouveauté, ce sont l'accumulateur de chaleur et l'accumulateur d'hydrogène avec électrolyseur en amont. Ces deux installations, situées tout près de la centrale, permettent de connecter les trois réseaux d'une manière inédite en Suisse :

- **L'accumulateur de chaleur** comporte trois réservoirs d'eau qui accumulent la chaleur produite dans la centrale avant de l'injecter dans le réseau de chaleur à distance. Il conserve ainsi pendant la nuit la chaleur produite tard le soir pour pouvoir en disposer le matin.
- Le deuxième élément d'accumulation d'énergie comprend un électrolyseur et un **réservoir d'hydrogène**. L'électrolyseur sépare l'hydrogène et l'oxygène qui sont les deux composants de l'eau. Par ce traitement, on transforme l'électricité qui n'est pas stockable en hydrogène qui, lui, peut être mis en réserve. Ainsi, le courant photovoltaïque généré aux heures de fort ensoleillement peut être accumulé pour être consommé au moment où on en a besoin, le soir ou le jour suivant si le soleil ne brille pas. L'hydrogène peut aussi être injecté dans le réseau de gaz ou encore brûlé dans la centrale pour produire à nouveau de la chaleur et de l'électricité.



Graphique : Regio Energie Solothurn

Le graphique montre les différents réseaux de Regio Energie Solothurn : électricité (orange), chaleur à distance (rouge) et gaz (vert). Ces trois réseaux sont reliés par différentes installations de production et par des accumulateurs d'énergie qui doivent être construits d'ici fin 2014 à Zuchwil, près de Soleure. D'autres équipements sont prévus qui compléteront l'installation pilote (en traitillé).

- Les accumulateurs de chaleur et d'hydrogène devraient être mis en service à fin 2014. Par la suite, ce projet sera complété de modules supplémentaires :
- La puissance de la centrale peut être augmentée en ajoutant des centrales compactes de cogénération à gaz produisant de la chaleur et de l'électricité. Sinon, on peut encore recourir aux **énergies renouvelables** comme le biogaz, le bois et la géothermie. Une centrale de gazéification du bois transforme l'énergie stockée dans le bois en gaz qui est ensuite injecté dans le réseau.
- Un **accumulateur stationnaire** stocke temporairement du courant excédentaire produit par exemple à des heures de fort ensoleillement mais de faible consommation. Ce courant sera utilisé plus tard lorsque la demande est forte.

- Une installation de méthanisation produit à partir de l'hydrogène du méthane, qui sera ensuite injecté sans restrictions dans le réseau.
- Un **accumulateur d'air comprimé** sert d'abord à stocker du courant : en cas d'excédent d'électricité, de l'air est comprimé dans un caisson. L'air comprimé peut ensuite être utilisé pour entraîner un générateur. La chaleur produite lors de la compression pourrait aussi être exploitée pour le réseau de chaleur à distance.

Les réseaux intelligents locaux

sont le complément idéal de la production d'énergie décentralisée.

Lorsque les embouteillages culminent aux heures de pointe, on ne construit pas tout de suite de nouvelles routes. On cherche plutôt à réguler intelligemment le trafic. Il en va de même avec le réseau électrique : si un quartier produit beaucoup de courant solaire, il n'y a pas forcément besoin d'avoir de nouvelles lignes. Souvent, une technique de régulation intelligente permet de protéger le réseau contre des surcharges.

Leimbach est un quartier de Zurich dont les toits des immeubles situés sur la rive gauche du lac offrent beaucoup de surface pour des panneaux photovoltaïques. Mais si le potentiel de courant solaire est pleinement exploité, le réseau local n'arrive plus à suivre aux heures de fort ensoleillement. Les situations critiques surviennent lorsque les panneaux produisent à plein régime et que les ménages consomment peu. Dans ces cas, le courant solaire doit passer par des lignes et des transformateurs sous-dimensionnés pour un tel flux. Des surcharges menacent.

Des neurones plutôt que des câbles

On pense qu'il suffit de poser des câbles plus épais et d'augmenter la capacité des transformateurs. Mais cette solution est très coûteuse. Il faut trouver autre chose. Swissolar, l'Association suisse des professionnels de l'énergie solaire, propose de contourner les surcharges du réseau en incitant à la consommation propre ou de disposer les panneaux solaires de manière à ce que les pics de production soient différemment répartis dans le temps. On peut aussi envisager des réseaux intelligents qui commandent les panneaux solaires aux heures de pointe en fonction de la demande réelle et de l'état du réseau. A première vue, il peut sembler absurde de vouloir ainsi brider la production des centrales

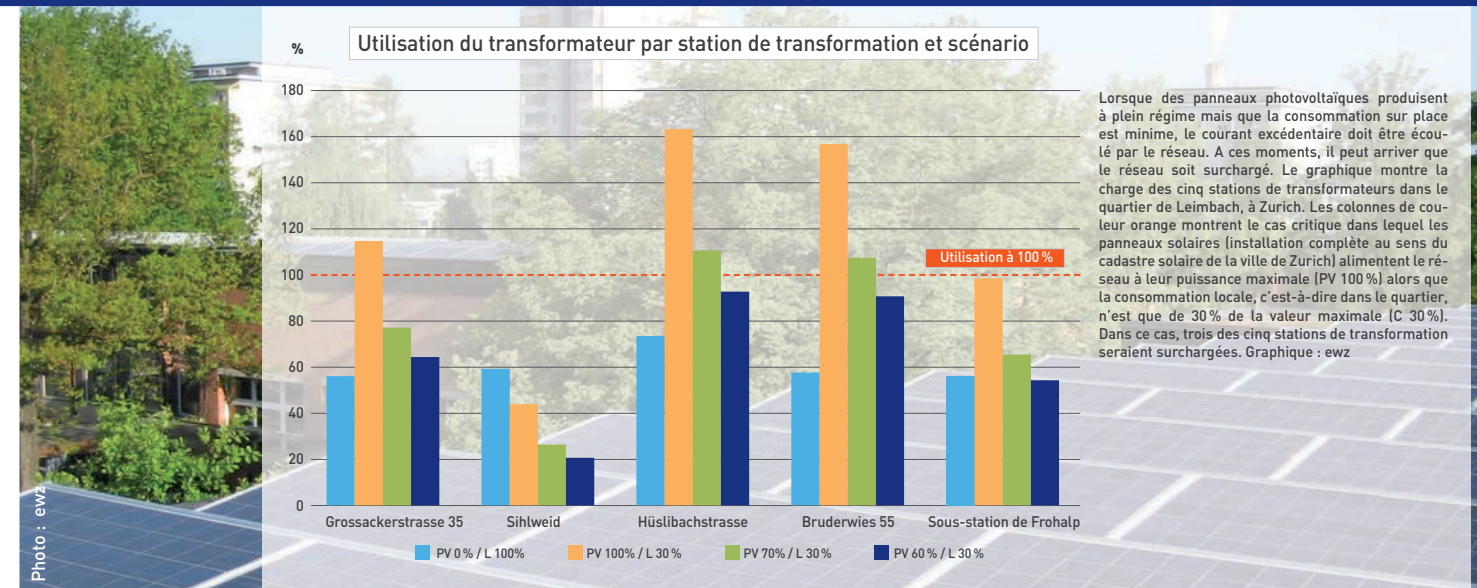
photovoltaïques. Mais des études montrent que cette proposition mérite au moins d'être étudiée. Les centrales solaires atteignent leur pleine puissance autour de midi, surtout si le ciel est dégagé. La période pendant laquelle les réseaux locaux sont surchargés est donc assez courte. Des modélisations faites sur la base de données de production réelles le prouvent : sur l'ensemble de l'année, il n'y a que 0,6 % de courant solaire qui est perdu si les installations photovoltaïques sont bridées à 80 % de leur puissance totale. Si les panneaux solaires ne sont bridés qu'aux heures où une surcharge du réseau menace, les pertes sont encore moindres.

Utilisation optimale

Les réseaux intelligents permettent de piloter installations de production et consommateurs selon des critères de stabilité du réseau, d'utilisation maximale, de courant vert ou de réduction des coûts. Ce qu'il faut, c'est un certain nombre d'appareils de mesure et de commande installés sur les installations de production et chez les consommateurs ainsi qu'aux endroits critiques du réseau local. Grâce aux mesures transmises, on peut évaluer les engorgements en temps réel et calculer les capacités disponibles. Les installations photovoltaïques et autres centrales de production peuvent ainsi être pilotées de manière à ce que le réseau soit exploité de manière fiable et avec une charge optimale.

Du réseau intelligent au marché intelligent

Les réseaux intelligents suscitent des études dans le monde entier. Depuis 2010, une étude d'envergure nationale menée à Rheinfelden (AG) porte sur l'alimentation partagée dans les réseaux basse tension. Il s'agit de voir comment se comporte un réseau local lorsqu'il n'est pas seulement alimenté



Les réseaux intelligents permettent une interaction entre les installations de production et les consommateurs.

par la station de transformateur mais également par des installations de production de courant décentralisées. Ce sont en l'occurrence quatre installations photovoltaïques et deux centrales compactes de cogénération. Un système régulateur contrôle et pilote les six installations de production tandis que des appareils de mesure (capteurs intelligents) surveillent l'état du réseau local.

BeSmart est un réseau national se présentant sous la forme d'une centrale virtuelle travaillant avec des chauffe-eau, des pompes à chaleur et des chauffages électriques de ménages privés. La société qui le construit, Swisscom Energy Solutions SA (SES SA), filiale de Swisscom, peut enclencher ou déclencher ces appareils via le réseau pour les téléphones portables. Le but est de vendre de l'énergie de réserve à Swissgrid. En déconnectant par exemple pendant un quart d'heure les installations « abonnées », elle met du courant à disposition de Swissgrid pour le temps convenu. La filiale de Swisscom commande toutefois les installations

de manière à ce que les ménages aient toujours assez de chauffage et d'eau chaude. Cet exemple montre comment utiliser les réseaux intelligents pour de nouveaux modèles d'affaires (solutions de marchés intelligents).

La feuille de route des réseaux intelligents

Quelque 700 réseaux de distribution urbains ou ruraux alimentent les ménages et les entreprises suisses en électricité. Dans chacun d'eux, il est possible d'imaginer des solutions de réseaux intelligents adaptés plutôt à telle ou telle situation. Ils ouvrent de nouvelles voies tels qu'accumulateurs, gestion de l'injection des énergies renouvelables, éléments de réglage de la tension dans les réseaux afin d'exploiter les réseaux de manière plus souple et de relier plus intelligemment les consommateurs. Sous la houlette de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), un groupe de travail est en train d'élaborer une feuille de route intitulée Smart Grid Road Map. Celle-ci devra montrer les possibilités de développement des réseaux intelligents pour le réseau suisse d'électricité. Dans une première étape, les experts ont identifié 24 technologies existantes ou futures qui seront décisives pour les réseaux intelligents. La protection des données est l'une des pierres d'achoppement de cette feuille de route. En effet, les réseaux intelligents mettent en relation des données de réseaux et des données de clients. Ce n'est qu'en sécurisant ces données que la sphère privée des consommateurs d'électricité pourra être garantie.

Le pilotage intelligent des réseaux

fait d'un entrepôt frigorifique un accumulateur d'énergie.

Ce ne sont pas seulement les ménages mais aussi les industries qui peuvent être pilotées grâce aux réseaux intelligents. Grâce aux techniques de pilotage intelligent, un entrepôt frigorifique de Migros situé à Neuendorf (SO) est davantage refroidi lorsque sa consommation de courant peut contribuer à stabiliser les fluctuations de courant sur le réseau suisse.

Qu'il s'agisse de bâtonnets de poisson, d'épinards ou de glaces, presque tous les produits surgelés vendus dans les succursales Migros viennent de Neuendorf. C'est en effet dans cette petite commune soleuroise que MVN, filiale de Migros, exploite un entrepôt frigorifique. Depuis le début de 2013, cet entrepôt est aussi un vaste réservoir d'énergie. Il ne stocke pas l'énergie sous forme chimique comme le ferait une pile conventionnelle, mais sous forme de froid. Le principe est le suivant : lorsque des centrales, par exemple des panneaux solaires et des éoliennes, produisent plus d'électricité que les consommateurs n'en demandent, cette énergie excédentaire est utilisée pour refroidir l'entrepôt. Grâce à la réserve de froid ainsi constituée, l'entrepôt n'a ensuite plus besoin de consommer du courant lorsque le soleil ne brille plus ou qu'il n'y a plus de vent. Il équilibre ainsi les fluctuations de courant du réseau qui sont liées aux conditions météo.

Deux degrés suffisent pour faire la différence

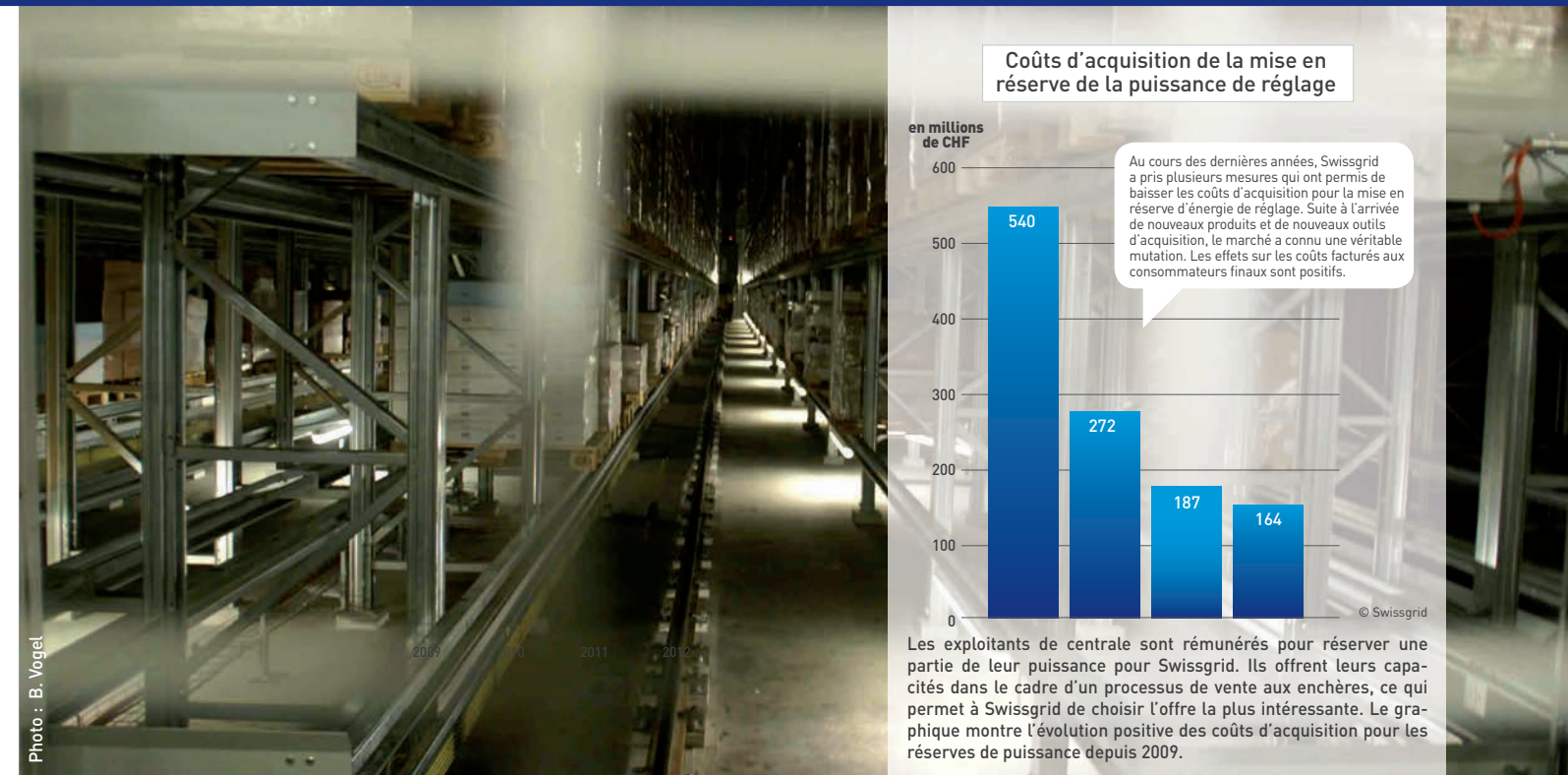
L'entrepôt règle sa consommation d'électricité selon qu'il y a trop ou trop peu de courant disponible sur le réseau. Cette énergie qui est consommée ou pas sert à stabiliser le réseau. Jusqu'à présent, il incombait aux centrales de fournir l'énergie de réglage dont le réseau avait besoin

(voir encadré). Pour cela, elles augmentaient ou réduisaient temporairement leur puissance. Baptisé FlexLast, l'essai pilote mené à Neuendorf par les Forces Motrices Bernoises, IBM, Migros et Swissgrid a permis d'étudier si des entreprises industrielles étaient également en mesure de mettre à disposition de l'énergie de réglage.

L'entrepôt frigorifique de Migros est normalement calé sur $-26,5^{\circ}\text{C}$. S'il consomme du courant « excédentaire ». Sa température peut descendre encore jusqu'à $-28,5^{\circ}\text{C}$. Une différence de deux degrés peut paraître minime mais l'énergie stockée qu'elle représente est considérable. Pour un tel refroidissement, l'entrepôt doit consommer en six heures 1 MW d'électricité, ce qui correspond à une éolienne de taille moyenne.

Un énorme potentiel pour l'énergie de réglage

L'essai pilote, qui est soutenu par l'Office fédéral de l'énergie OFEN, a confirmé que des charges industrielles pouvaient être utilisées pour générer de l'énergie de réglage. De nouvelles perspectives s'ouvrent pour toutes les entreprises dont les processus industriels permettent de stocker temporairement de l'énergie. Selon l'étude qui accompagnait l'essai pilote FlexLast, les entreprises industrielles suisses pourraient ensemble mettre à disposition une importante quantité de puissance de réglage. Pour compenser des variations de réseau de plus longue durée, il faudrait avoir en réserve en Suisse 400 MW susceptibles d'être retenus et 395 MW susceptibles d'être injectés. Entièrement exploité, ce potentiel peut servir à stocker pendant quelques minutes ou quelques heures le courant éolien et solaire jusqu'à ce que les consommateurs l'utilisent.



L'entrepôt frigorifique Migros à Neuendorf (SO). La température y est normalement de $-26,5^{\circ}\text{C}$. L'entrepôt peut réguler des fluctuations de réseau en faisant marcher ses compresseurs lorsqu'il y a un excédent de courant injecté dans le réseau.

Energie de réglage

La quantité d'électricité produite et consommée par toutes les entreprises, tous les ménages et tous les autres consommateurs change continuellement et est impossible à pronostiquer avec précision. Il peut donc y avoir un déséquilibre sur le réseau entre la production et la demande. L'énergie fournie pour équilibrer ces écarts et stabiliser ainsi le réseau s'appelle l'énergie de réglage. On distingue entre l'énergie de réglage primaire, secondaire et tertiaire :

- **L'énergie primaire** est celle avec laquelle les centrales stabilisent la fréquence sur l'ensemble du réseau en augmentant ou en diminuant leur production. Les centrales mettent l'énergie primaire à disposition de manière autonome et selon des règles bien précises dès qu'elles constatent un écart de fréquence. Le délai est de 30 secondes. Les déséquilibres compensés avec l'énergie de réglage primaire peuvent avoir leur cause n'importe où sur l'ensemble du réseau européen.

- Mais si des déséquilibres proviennent d'un écart entre la production et la consommation en Suisse, c'est la société nationale pour l'exploitation du réseau Swissgrid qui intervient. Elle ordonne alors aux centrales d'augmenter ou de diminuer leur puissance à la seconde près de manière à équilibrer les fluctuations sur le réseau suisse. On parle d'**énergie de réglage secondaire**.

- Si ces écarts perdurent, il faut solliciter d'autres réserves, lesquelles sont moins rapidement disponibles (une quinzaine de minutes). On parle dans ce cas d'**énergie de réglage tertiaire**. Les énergies de réglage secondaire et tertiaire ont été jusqu'à présent surtout fournies par les centrales de pompage-turbine. A l'avenir, il pourrait y avoir d'autres fournisseurs tels que des entreprises industrielles, car la mise à disposition de réserves est indemnisée par Swissgrid.

Les compteurs d'électricité intelligents

aident à économiser l'énergie et à mieux utiliser le courant renouvelable.

Les compteurs évolués, comme on les appelle aussi, rendent la consommation d'électricité transparente et aident ainsi à économiser l'énergie. Ils permettent une gestion parfaitement assumée de la consommation : les consommateurs n'utilisent leurs appareils que lorsqu'ils peuvent avoir de l'électricité à bon compte.

Les compteurs intelligents autorisent la mesure à distance de la consommation d'électricité et la communication bidirectionnelle entre le ménage et le fournisseur d'énergie. En Suède, en Finlande ou en Italie, les ménages privés sont très majoritairement équipés de compteurs intelligents. En Suisse en revanche, les compteurs continuent le plus souvent d'être relevés sur place. Or, il existe sur le marché de nombreuses solutions techniques pour transmettre automatiquement par le réseau électrique les données de consommation au fournisseur. Les compteurs modernes ne transmettent d'ailleurs pas seulement les données du consommateur au fournisseur. Ils peuvent aussi recevoir des informations de ce dernier, par exemple sur le prix du courant à tel instant ou sur la disponibilité du courant vert. L'échange de données se fait en général tous les quarts d'heure.

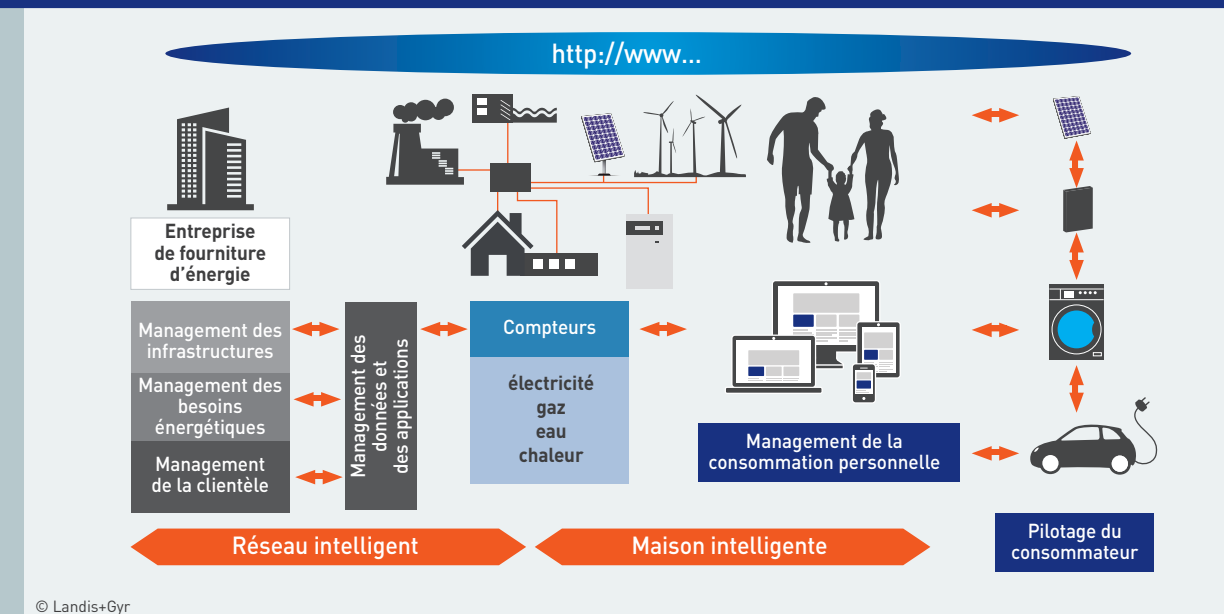
Sensibiliser à la consommation

La communication dans les deux sens transforme le compteur d'électricité en un appareil ménager d'un type tout à fait nouveau, pourvu de toute une gamme d'applications. Il transmet des informations à un écran facilement lisible dans le logement et qui affiche la consommation domestique tout en permettant d'interagir. Sa principale fonction est de montrer la consommation actuelle d'électricité et d'identifier les appareils énergivores. Le simple

fait de rendre ces informations disponibles favorise une utilisation plus efficace de l'énergie. Un projet pilote de compteurs évolués mené à Ittigen (BE) a permis de faire baisser la consommation de 2 à 8 %. Une étude menée à Zurich et publiée en juillet 2013 fait valoir une économie d'énergie de 3 à 5 %. Les valeurs sont toutefois différentes d'un ménage à l'autre et en fonction de l'heure. Une autre étude mandatée en 2012 par l'Office fédéral de l'énergie OFEN a chiffré la diminution à long terme de la demande à 1,8 % dans les différents secteurs.

Les compteurs modernes permettent à chacun de définir lui-même ses dépenses d'électricité, par exemple en ne consommant du courant que lorsqu'il est avantageux. Mais ce n'est là qu'une des nombreuses options. A l'avenir, les compteurs intelligents devraient aussi pouvoir créer les conditions pour une utilisation ciblée du courant vert. Cela permettra par exemple à un lave-linge de s'enclencher aux heures où le courant renouvelable est disponible en abondance. Dans ces cas, le compteur intelligent ne sert plus seulement à indiquer, mais aussi à piloter. Les données nécessaires sont mises en ligne sur Internet. Leur exploitation se fait à l'aide d'écrans affichant la consommation domestique, d'applications pour smartphones ou encore via le PC.

Aujourd'hui déjà, les distributeurs de courant pilotent les chauffe-eau de leurs clients avec des installations de télécommande n'autorisant leur enclenchement qu'à certaines heures. Les compteurs intelligents permettent d'étendre ce procédé à d'autres appareils, avec plus de souplesse dans les horaires d'utilisation et surtout en le taillant sur mesure aux besoins de chacun. Plus il y a de



Le système énergétique de demain sera intelligent. Le compteur électrique évolué est au cœur des réseaux énergétiques du futur. Il met le consommateur en relation avec le fournisseur d'énergie, autorisant ainsi le pilotage de la consommation d'énergie.

compteurs intelligents installés dans les ménages et les entreprises suisses, plus on a d'appareils électriques susceptibles d'être enclenchés ou déclenchés à certaines heures grâce aux systèmes de pilotage évolués.

L'utilité effective de ces dispositifs dépend ensuite principalement des conditions-cadres. Des fabricants comme Landis+Gyr proposent d'introduire des tarifs flexibles (en fonction de l'heure) qui remplaceraient le système actuel assez rigide des heures pleines et des heures creuses ainsi que des prix d'été et d'hiver.

Les fournisseurs d'énergie pilotent la charge du réseau

L'introduction de compteurs intelligents engendre des dépenses considérables. Les transferts de données requièrent des standards uniformes et des mesures de sécurité. Il n'empêche qu'aujourd'hui déjà, plusieurs villes suisses misent sur

les compteurs évolués. Ainsi, les services d'électricité du canton de Zurich (EKZ) ont décidé en été 2013 d'introduire partout des compteurs intelligents. Ces derniers permettront de relever automatiquement et à distance les compteurs des clients, ce qui facilitera la facturation et améliorera le service à la clientèle. Mais les compteurs intelligents présentent pour les fournisseurs une autre utilité : ils permettent de mieux gérer la charge des réseaux, par exemple en adaptant l'enclenchement de pompes à chaleur ou de chargeurs de voitures électriques en fonction de l'état du réseau local. En outre, ils permettent d'offrir de nouveaux services tels que les tarifs flexibles, la mise en réseau d'appareils ménagers (offres pour maisons intelligentes) ou encore des conseils automatisés en matière d'énergie. La stratégie énergétique 2050 prévoit que le Conseil fédéral pourra fixer des directives sur l'introduction de systèmes de mesure intelligents, des exigences techniques minimales ainsi que des règles sur le financement des coûts.

La transformation d'électricité en gaz combustible

rend le courant d'origine éolienne et solaire tout le temps disponible.

La transformation d'électricité en gaz combustible est une idée qui a fait son chemin en seulement quelques années. Elle consiste à convertir l'électricité d'origine renouvelable en gaz de synthèse, énergie facile à conserver et à valoriser. Ce procédé est un élément prometteur du système énergétique du futur.

De plus en plus de villes en viennent à considérer leurs infrastructures énergétiques comme un système intégré. Autrefois, les réseaux d'électricité, de gaz et de chaleur étaient en général exploités indépendamment. Avec l'abandon de la production centralisée et de ses réseaux conçus pour une charge maximale et un flux d'énergie à sens unique, il faut de nouvelles structures plus sophistiquées. L'une des clés de ce défi réside dans la convergence des réseaux. Certains services industriels font déjà converger les réseaux locaux en intégrant plusieurs énergies qu'ils amènent jusque chez le consommateur.

Le maître de ces prouesses, c'est le gaz

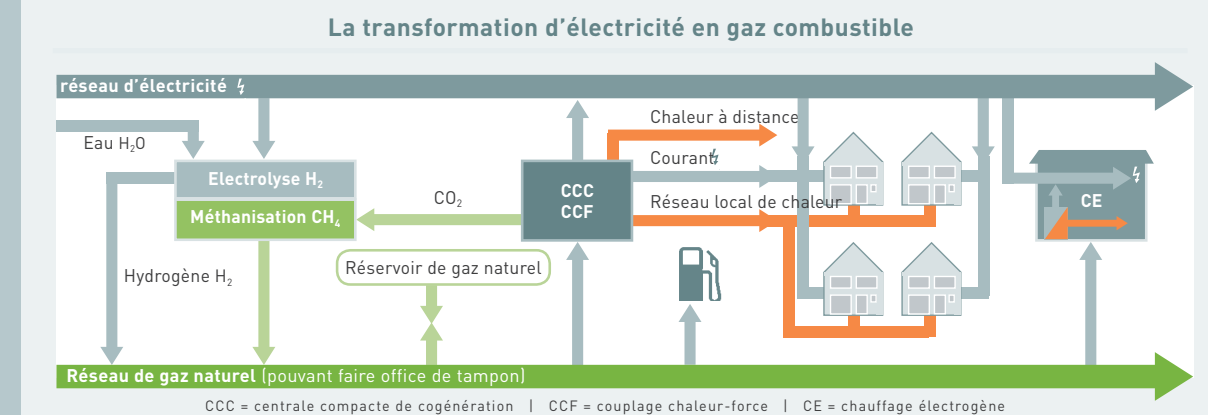
Le gaz est un agent énergétique polyvalent. C'est ce qui rend la transformation d'énergie en gaz combustible si intéressante. Un processus en deux étapes permet de créer du méthane synthétique (SNG) qui correspond au principal composant du gaz naturel et du biogaz. Il peut être directement injecté dans le réseau de gaz naturel et être transporté pour ainsi dire sans pertes sur de grandes distances. Le réseau de gaz naturel peut stocker de l'énergie pour de longues périodes. Et en brûlant, le SNG ne libère que du CO₂, ce qui le rend neutre pour le climat. La transformation et le stockage d'énergie impliquent toujours des pertes et n'ont donc

de sens que si la production et la consommation ne sont pas simultanées. Cette règle vaut tant pour les centrales de pompage-turbinage et les accumulateurs que pour tout autre procédé. Certes, le bridage d'éoliennes ou d'installations photovoltaïques n'est aujourd'hui plus un tabou. Mais la transformation de courant excédentaire en gaz plus facilement utilisable est la meilleure solution.

L'efficacité énergétique est cependant faible lorsque l'on refait de l'électricité avec le gaz. Elle ne représente que la moitié de l'efficacité obtenue avec les centrales de pompage-turbinage ou les accumulateurs. La reconversion en courant n'est donc rentable qu'à certaines conditions, par exemple pour équilibrer des charges à court terme ou pour compenser une sous-couverture locale. Il est bien plus judicieux d'utiliser ensuite le SNG comme combustible ou comme carburant. Les installations modernes de couplage chaleur-force qui utilisent également de la chaleur résiduelle obtiennent des efficacités énergétiques supérieures à 90%. Le constructeur de voitures Audi mise sur des carburants ne laissant pas d'empreinte écologique. Le courant d'une éolienne de la marque permet de produire assez de gaz pour 1500 voitures parcourant chacune 15000 km par an.

Rien ne va sans des décisions politiques

Des utilisations énergétiquement efficaces et rentables du SNG, il en existe des quantités... à condition d'avoir les conditions-cadres légales. Certes, le Conseil fédéral a dit que la transformation d'énergie en gaz combustible était un procédé de stockage prometteur. Pourtant, de même que le biogaz importé est toujours soumis à la



Source : VSG

Pour tirer pleinement parti d'un agent énergétique aussi malléable que le gaz, il faut une infrastructure gazière très polyvalente permettant toutes les applications du procédé de conversion d'électricité en gaz.

taxe CO₂ et qu'il n'est pas pris en compte dans les prescriptions cantonales en matière de bâtiments, le SNG ne peut, dans le cadre juridique actuel, être produit économiquement à partir du courant renouvelable. Autre exemple : l'interaction entre réseaux n'est nulle part encouragée. Au lieu de cela, on assiste parfois à une concurrence à cause de conflits d'intérêts entre propriétaires et politiques d'encouragement. Pour pouvoir stocker l'énergie sous forme de SNG et remplacer les agents énergétiques fossiles, il faut disposer d'une infrastructure pour le gaz naturel qui soit connectée avec d'autres réseaux couvrant de grandes parties de la Suisse. Le fait de réclamer une infrastructure performante pour le gaz naturel ne signifie de loin pas que ce sera alors l'âge d'or de ce dernier. L'Agence internationale de l'Energie (AIE) ne s'y trompe pas lorsqu'elle affirme que le gaz naturel de la mer du Nord ou d'Azerbaïdjan n'empruntera pas ces réseaux pendant des décennies et que les centrales à gaz, le gaz de schiste ou la fracturation hydraulique sont de ce fait désirés.

L'objectif est d'avoir un système global intégré, de la production d'énergie à la mise à disposition du consommateur sous la forme la plus appropriée. Il faudra pour cela tenir compte de critères de rentabilité, de préférences politiques et sociales ainsi que de solutions de rechange possibles comme le bridage d'installations ou des investissements dans le développement du réseau.

Bien sûr, la part encore très faible du courant renouvelable ne requiert pas de nouveaux procédés de stockage. Mais cela n'empêche pas de développer et de tester aujourd'hui déjà des technologies appropriées. Car dès que la part des énergies intermittentes injectées atteint 10 ou 15%, tous les niveaux de réseaux sont concernés. C'est pour cela que le Conseil fédéral inscrit le stockage d'énergie en tête du cahier des charges de la recherche suisse dans l'énergie. Ici aussi, des villes telles que Bâle, St-Gall, Soleure ou Zurich jouent des rôles de pionnières.

Les réseaux de chaleur à distance assurent l'approvisionnement en chaleur produite avec des énergies renouvelables.

Les projets de chaleur à distance de grande envergure ont commencé à faire parler d'eux dans les années soixante et septante, lorsqu'il a été question d'utiliser la chaleur des usines d'incinération d'ordures. Aujourd'hui, avec la chaleur renouvelable, les réseaux de chaleur à distance vivent une renaissance.

Chaleur à distance, réseau local de chaleur, chauffages à distance – il existe des réseaux de chaleur de toutes sortes et de toutes dimensions. Le plus grand réseau de Suisse est celui de Bâle qui mesure 200 km et alimente aussi bien des entreprises artisanales et industrielles que des bâtiments publics, sans oublier quelque 40 000 logements. Il y en a aussi de beaucoup plus petits comme celui de Fläsch (GR), chauffage à distance alimenté par une nouvelle chaufferie à peaux de bois qui alimente une poignée de clients. Entre ces deux extrêmes, on trouve plusieurs centaines de réseaux de chaleur dont le point commun est de permettre une utilisation particulièrement efficace de l'énergie grâce au raccordement de plusieurs consommateurs.

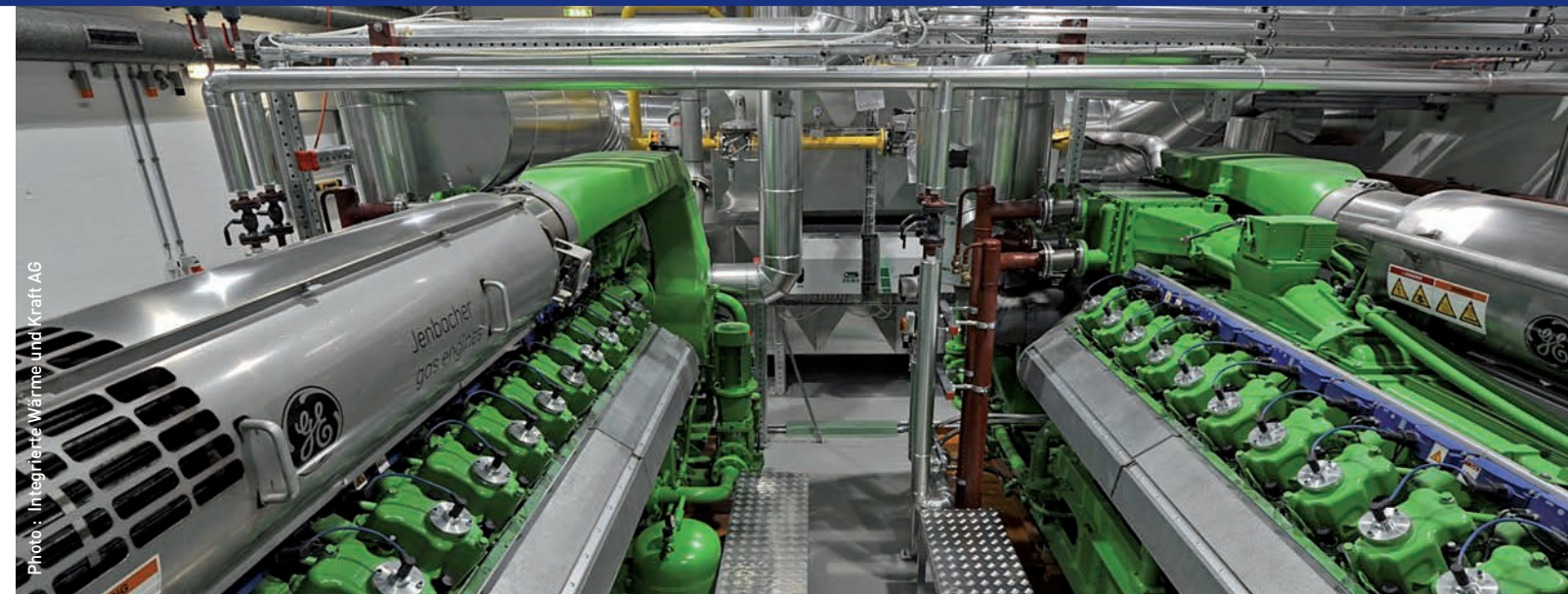
La chaleur d'origine renouvelable est tendance
Les agents énergétiques renouvelables fournissent aussi de la chaleur. Les chauffages à plaquettes de bois et les centrales de chauffage à bois poussent comme des champignons. D'autres réseaux de chaleur misent sur la chaleur de l'environnement en extrayant la chaleur du sol ou de l'eau des rivières et des lacs. Le réseau de chaleur de Riehen (BS) utilise depuis 1994 de l'eau à 65°C extraite d'un puits de 1500 m de profondeur qui permet de couvrir la moitié de ses besoins en chaleur. En 2011, la centrale énergétique

a été flanquée de deux nouveaux moteurs à gaz qui produisent ensemble 3100 kW de courant et 3400 kW de chaleur, lesquels sont injectés dans les réseaux d'électricité et de chaleur à distance. La production pour le réseau de chaleur à distance a pu être augmentée et l'électricité pour les pompes à chaleur qui augmentent la température de l'eau est ainsi produite sur place. Le projet géothermique de St-Gall mise lui aussi sur la chaleur de la croûte terrestre, mais à plus grande échelle et avec des températures plus élevées. A Emmenbrücke (LU), il est prévu qu'une centrale combinée chaleur-force utilise la chaleur résiduelle de l'aciérie Swiss Steel. A Zurich-Altstetten, c'est un nouveau réseau de chaleur qui valorisera la chaleur dégagée par un centre de calcul Swisscom et la chaleur du sol. Le réseau de Morgental, au bord du lac de Constance, a quant à lui trouvé un autre filon. Un réseau de dix kilomètres est en construction dans les communes de Steinach (SG), Arbon et Roggwil (TG) qui chauffera d'ici 2014 l'équivalent d'un millier de villas. Sa chaleur vient de la nouvelle

Haute ou basse température ?

Les réseaux haute température sont des réseaux de chaleur avec une température de service comprise entre 90 et 160°C. La température de l'eau est abaissée au niveau requis dans une station intermédiaire avant d'entrer dans le circuit de chauffage d'une maison. Les grands réseaux de chaleur à distance ainsi que beaucoup de petits et moyens réseaux fonctionnent avec de hautes températures.

Les réseaux basse température sont exploités avec des températures comprises entre 20 et 60°C. Ils sont utilisés pour des constructions bien isolées, par exemple dans un quartier nouvellement bâti. Ils peuvent aussi utiliser des sources de chaleur à faible température comme celles de centres de calcul. Pour des raisons physiques, les conduites des réseaux basse température doivent avoir un diamètre plus grand que celles des réseaux haute température. Les deux réseaux sont donc toujours séparés.



Centrale énergétique du réseau de chaleur de Riehen: deux unités de couplage chaleur-force fournissent ici l'électricité pour les pompes à chaleur de l'installation géothermique et la chaleur pour le réseau de chaleur à distance.

centrale énergétique de la STEP de Morgental. Une fois terminée, elle extraira de la chaleur et produira de l'électricité par quatre moyens : la combustion des gaz d'épuration de la STEP, la chaleur des eaux usées récupérée par une pompe à chaleur, la combustion de bois de construction et de démolition et enfin la combustion du biogaz produit par la fermentation de déchets compostables.

Un potentiel considérable

Les réseaux de chaleur couvrent aujourd'hui 3% des besoins en chaleur de la Suisse. Les spécialistes prédisent toutefois un avenir très prometteur à ces infrastructures. Dans les espaces urbains et les zones industrielles à forte densité énergétique, l'efficacité énergétique pourrait atteindre 90% avec des réseaux de chaleur et le recours au couplage chaleur-force. Dans la perspective de la transition énergétique, les réseaux permettent de stocker l'énergie volatile et intermittente des installations photovoltaïques et des éoliennes. Les réseaux de chaleur sont des investissements à long

terme dont la durée de vie est de 60 à 80 ans. D'ici que l'approvisionnement énergétique soit entièrement renouvelable, les réseaux de chaleur ont un rôle de passerelle à jouer. Ils peuvent par exemple alimenter une centrale de couplage chaleur-force avec d'abord du gaz naturel, puis avec du biogaz, du gaz naturel synthétique ou toute autre énergie primaire neutre du point de vue du CO₂ [ainsi des ordures ou du bois].

Aarau construit un réseau de froid

Le dernier cri, ce sont les réseaux de froid. Ils distribuent de l'eau froide à des hôtels, des bureaux ou des industries afin de refroidir ensuite leurs locaux grâce à des systèmes de ventilation. Un tel réseau est actuellement en construction au centre d'Aarau, en même temps qu'un nouveau réseau local de chaleur. Il est constitué d'un système de conduites indépendant du réseau de chaleur. La température de l'eau dans le circuit aller est de 10°C, celle dans le circuit retour de 16°C. Les deux réseaux de chaleur et de froid sont alimentés par une seule centrale énergétique. Celle-ci extrait du chaud ou du froid de la nappe phréatique à l'aide d'une pompe à chaleur. Lorsque les conditions sont favorables, le froid de la nappe phréatique peut aussi être directement transféré dans le réseau par un échangeur de chaleur, sans consommation d'énergie.

Les réseaux électriques modernes

sont une condition pour la transformation du système énergétique.

Le réseau électrique suisse doit être transformé et agrandi, pas tant à cause de la transition énergétique, mais bien parce qu'il est en partie obsole. Nous avons besoin de nouvelles lignes électriques mais aussi de systèmes de commande intelligents qui seront en mesure de mieux exploiter les capacités disponibles.

En septembre 2003, un court-circuit sur la ligne du Lukmanier a provoqué une gigantesque panne de courant en Italie. En juin 2005, la surcharge d'une ligne a immobilisé tout le réseau CFF pendant trois heures. Ces deux événements sont survenus il y a déjà plusieurs années mais ont mis en évidence l'importance d'avoir un réseau électrique bien dimensionné et fiable. Sur la base de propositions émises par des experts, le Conseil fédéral a défini en 2009 un réseau cible 2015, devenu après divers aménagements le réseau cible 2020. Ce dernier document porte sur 52 projets de transformation et de construction (les huit plus importants figurent sur la double page suivante).

Le système énergétique a besoin de réseaux performants

Le réseau cible 2020 ne tient pas encore compte des nouvelles exigences de la transition énergétique. Celles-ci seront intégrées dans le réseau cible 2035 que Swissgrid est en train de mettre au point. Mais l'orientation de ces changements est aujourd'hui déjà connue. La Confédération a énuméré dans sa stratégie énergétique 2050 les défis les plus importants à relever. Pour le réseau de transport, il s'agit :

- de rénover en profondeur le réseau (conservation de la qualité des infrastructures), car l'essentiel des lignes à très haute tension a été construit il y a plus de 40 ans

- d'agrandir le réseau à certains endroits en raison de sa capacité souvent insuffisante résultant de l'augmentation de la consommation
- d'accélérer les procédures d'autorisation
- de garantir une interconnexion plus étroite avec l'Europe

Au niveau des réseaux de distribution, la Confédération envisage les tâches suivantes :

- intégrer les centrales décentralisées et les producteurs fluctuants à cause d'une utilisation accrue des énergies renouvelables
- développer les réseaux de distribution pour en faire des réseaux intelligents (smart grids) qui permettront une utilisation plus efficace des capacités des lignes existantes
- développer les réseaux de distribution de manière conventionnelle

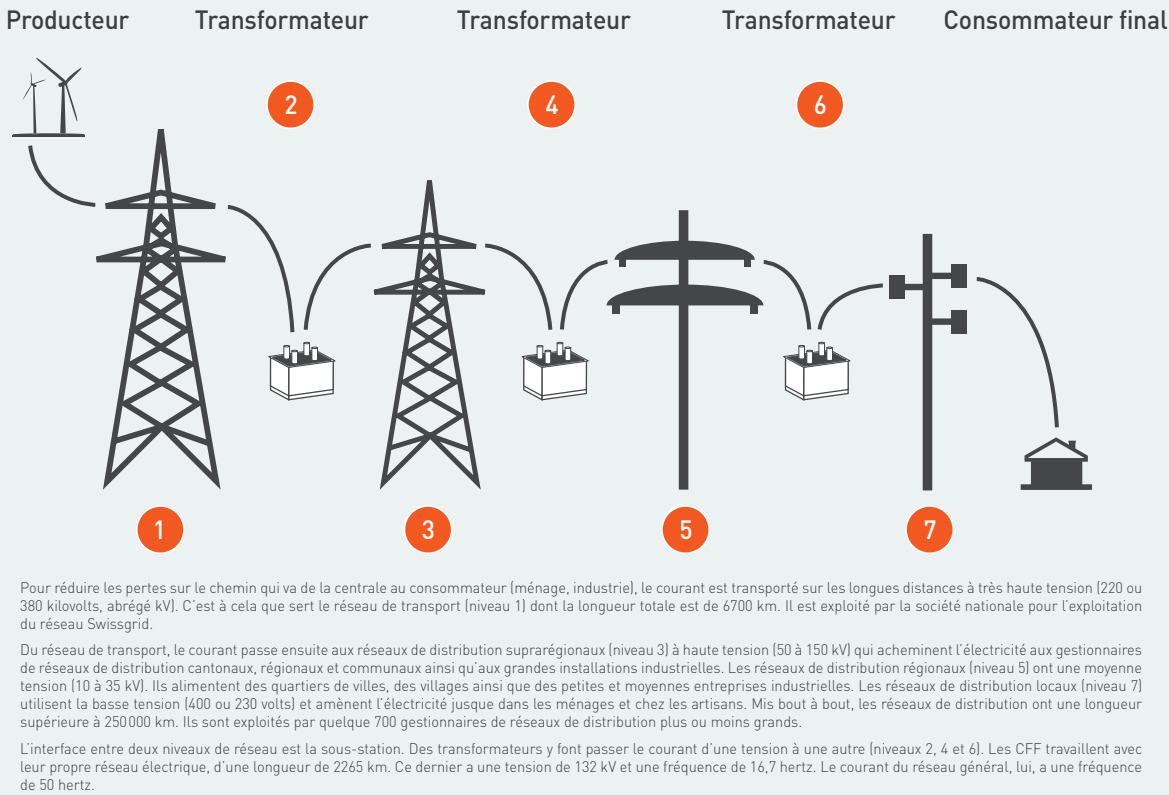
Intégrer de nouveaux accumulateurs dans le réseau

La transformation et l'agrandissement du réseau électrique suisse sont confrontés à des problèmes importants : protection du paysage, procédures d'autorisation, nuisances liées aux champs électromagnétiques, financement, etc. Et puis il ne faut pas oublier la production de plus en plus souvent

!

Stratégie pour les réseaux

En septembre 2013, le Conseil fédéral a publié son message concernant le premier paquet de mesures pour la stratégie énergétique 2050. Il y ordonne la mise en œuvre d'une stratégie propre pour les réseaux d'électricité qui sera partie intégrante de sa stratégie énergétique. Elle contient des lignes directrices pour l'agrandissement et la transformation des réseaux et définit les compétences des parties impliquées dans le processus de planification. Un projet de loi portant sur la mise en œuvre de la stratégie pour les réseaux d'électricité sera présenté d'ici l'automne 2014.



Les sept niveaux du réseau électrique du producteur jusqu'aux consommateurs

décentralisée de courant par des installations solaires, à biogaz ou à bois ou encore par des éoliennes. L'injection de leur courant dans le réseau requiert des solutions très particulières. Les sollicitations plus fortes des réseaux, en particulier à moyenne et basse tension, imposent à leurs

exploitants et à Swissgrid de trouver des moyens innovants propres à assurer la stabilité de l'ensemble. L'une des clés pour résoudre ces casse-tête se trouve dans les accumulateurs intermédiaires pour l'exploitation des énergies solaire et éolienne.

Lignes souterraines ou aériennes ?

Les lignes aériennes déparent gravement le paysage. L'idéal, que beaucoup de gens souhaitent, serait donc de pouvoir les remplacer par des lignes souterraines. Il n'y a guère en Suisse que trois petits tronçons de lignes à très haute tension (220 et 380 kV) enterrées : à Spreitenbach (AG), Mendrisio (TI) et Genève. Un projet de ligne souterraine est en cours d'évaluation sur une section de la future ligne Beznau-Birr, dans la région de Riniken. La mise sous terre d'une ligne à très haute tension est possible mais techniquement complexe. Elle est aussi beaucoup plus coûteuse qu'une ligne aérienne.

Les réseaux de distribution sont sensiblement plus longs que le réseau de transport mais moins visibles du fait que 80 % des lignes sont enterrées. Dans sa stratégie Réseaux électriques, le Conseil fédéral a proposé qu'à l'avenir toutes les conduites électriques avec une tension inférieure à 220 kV soient construites sous terre. Par conséquent, les nouvelles lignes de niveaux 3, 5 et 7 devront être enterrées dans la mesure où c'est techniquement possible et pour autant que l'ensemble des coûts par rapport à une ligne aérienne ne dépasse pas un certain facteur.

Huit projets de modernisation et d'agrandissement

qui contribuent à garantir l'approvisionnement électrique suisse.

Les politiques et le secteur de l'électricité ont défini la transformation et l'extension du réseau de transport suisse pour la décennie en cours avant même que le Conseil fédéral décide de sortir du nucléaire, en mai 2011. Ce sont 1000 km de lignes qui doivent être modernisées et dont la capacité doit être augmentée.

Une grande partie de l'infrastructure du réseau de transport suisse a plus de 40 ans et n'est plus adaptée aux flux d'électricité futurs. Le graphique montre huit projets de rénovation et d'extension sur un total de 52 qui doivent être réalisés d'ici 2020. Les trois principales raisons de cette extension du réseau sont les suivantes :

- nécessité d'accroître la capacité de transport entre les centrales hydrauliques valaisannes et les agglomérations urbaines
- meilleure intégration de la Suisse romande aux réseaux de Suisse alémanique et de France
- liaisons plus performantes vers l'est et le nord afin d'accroître les capacités pour les importations de courant (notamment pour le courant éolien d'Allemagne du Nord)

Pratiquement tous les projets de transformation ou d'extension sont réalisés sur les tracés existants. Une mesure importante consiste à augmenter la tension de 220 à 380 kilovolts (kV), car elle permet de transporter trois fois plus d'électricité sur la ligne. Autre avantage, les pertes d'énergie sont moins importantes.

1 Les lignes entre le Valais et le canton de Berne passant sur le col de la Gemmi seront adaptées aux exigences actuelles et renforcées pour du courant à 380 kV.

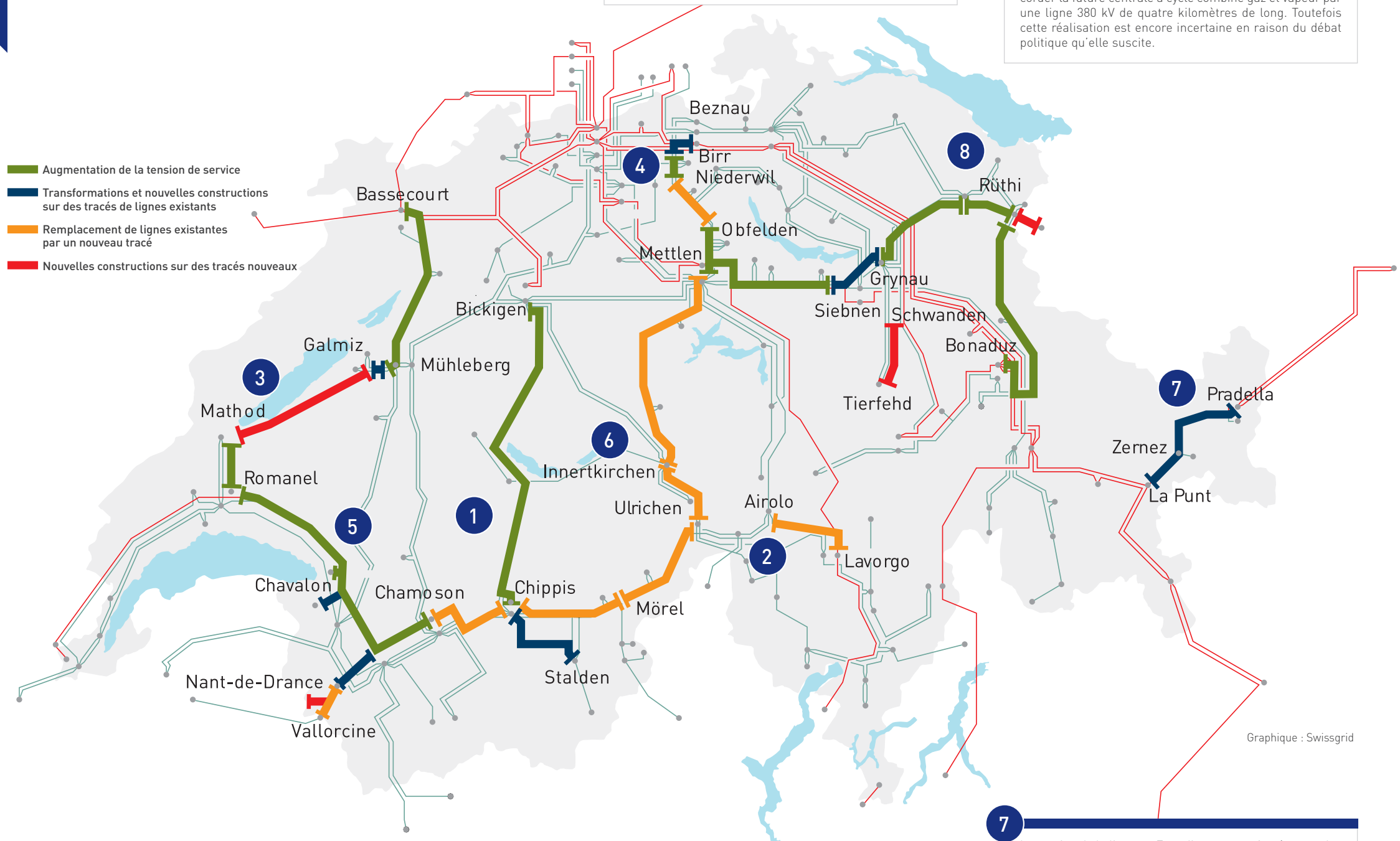
2 La capacité de la liaison entre le Valais et le Tessin qui passe par la vallée de Conches passera de 220 à 380 kV.

3 La ligne entre Galmiz (FR) et Method (VD) est l'une des rares nouvelles constructions sur un nouveau tracé ; d'autres sections sur les lignes Bassecourt-Mühleberg-Galmiz et Method-Romanel seront transformées pour autoriser une tension plus élevée.

4 Les lignes aériennes entre Beznau (AG) et Mettlen (LU) seront transformées pour pouvoir transporter le courant à une tension plus élevée et seront adaptées aux nouvelles prescriptions. Nouveauté pour le réseau de transport suisse : à Riniken près de Brougg, une section d'environ 1 km sera enterrée.

5 Le projet d'extension dans le Bas-Valais porte sur la modernisation de plusieurs lignes et la centrale de pompage de Nant-de-Drance actuellement en construction pourra ainsi être raccordée au réseau à très haute tension (380 kV au lieu de 220 kV). Le projet partiel avec raccordement pour Chavalon est en phase d'étude. Il est prévu de raccorder la future centrale à cycle combiné gaz et vapeur par une ligne 380 kV de quatre kilomètres de long. Toutefois cette réalisation est encore incertaine en raison du débat politique qu'elle suscite.

- Augmentation de la tension de service
- Transformations et nouvelles constructions sur des tracés de lignes existants
- Remplacement de lignes existantes par un nouveau tracé
- Nouvelles constructions sur des tracés nouveaux



Graphique : Swissgrid

7 La section de la ligne en Engadine sera renforcée pour des tensions plus élevées.

6 Les lignes existantes de la liaison Mettlen-Ulrichen doivent être transformées et renforcées. Il y a aura aussi de nouveaux tracés avec des tensions plus élevées.

8 La capacité des lignes à haute tension de Mettlen (LU) à Bonaduz (GR) et passant par Siebnen, Grynau et Rüthi sera portée à 380 kV. Ces lignes seront aussi modernisées et adaptées aux nouvelles prescriptions.

Les centrales de pompage-turbinage

sont des batteries vertes qui peuvent servir de nouveau modèle économique en Europe.

Les centrales de pompage-turbinage ont une fonction de régulation et d'accumulation dont l'importance croîtra encore avec la transition énergétique. Sur le marché actuel de l'électricité, le stockage de l'électricité dans des bassins d'accumulation ne se justifie pas. Il en résulte que les premiers projets sont reportés à plus tard. Le financement de la capacité de stockage doit être clarifié pour que la Suisse reste à l'avenir une plaque tournante de l'approvisionnement en électricité, mais cette fois renouvelable.

Le pompage-turbinage est aujourd'hui la seule solution de stockage d'électricité à grande échelle. Avec une efficacité énergétique d'environ 80 %, il est plutôt efficace. Financièrement, il est intéressant avec un investissement de deux millions de francs par MW de puissance installée. Grâce à sa flexibilité d'utilisation, le pompage-turbinage sert à la stabilité du réseau : en quelques minutes, les centrales peuvent réagir à des écarts de production ou de consommation et passer du pompage au turbinage ou vice-versa. Elles sont d'une importance systémique pour l'approvisionnement en électricité.

Economiquement, les centrales de pompage-turbinage ont déjà fait leurs preuves. Jusqu'à présent, le courant de nuit vendu bon marché par les centrales thermiques était utilisé pour pomper l'eau. L'énergie ainsi accumulée était ensuite revendue au prix fort aux heures pleines, notamment à midi. C'est avec la différence de prix que les grands groupes producteurs d'électricité ont pu faire de juteux bénéfices jusqu'il y a peu. De gros investissements ont donc été consentis pour accroître les capacités. Actuellement, trois centrales sont

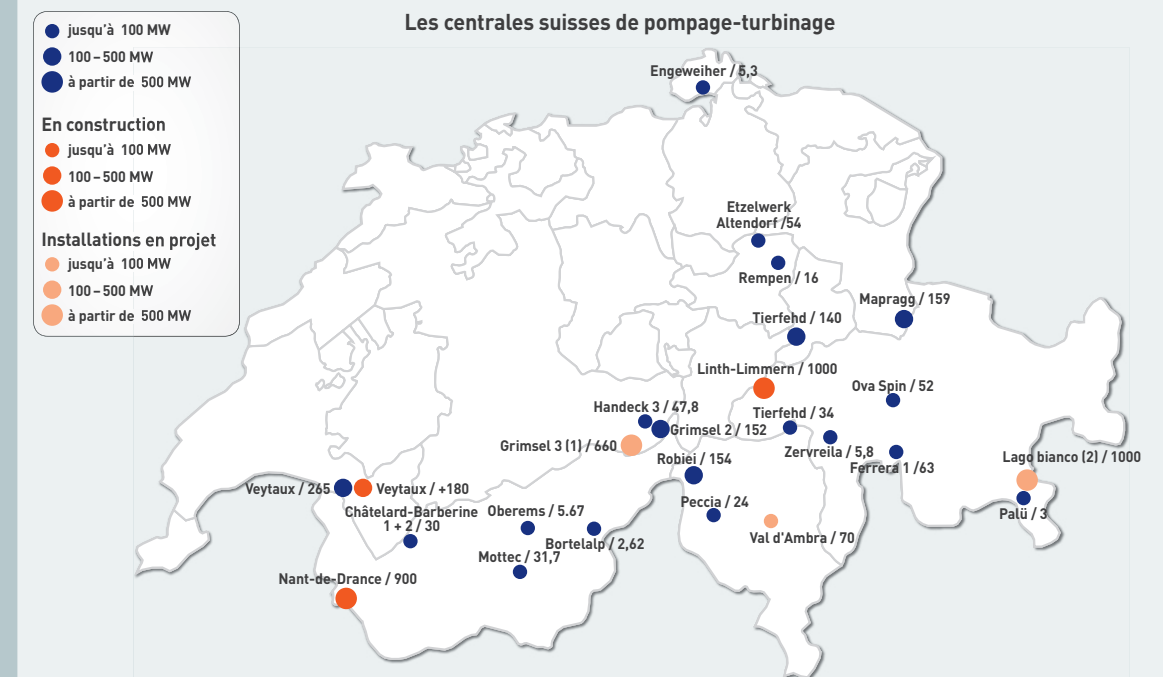
en construction ou en voie d'agrandissement : Linth-Limmern, Nant-de-Drance et Veytaux.

La transition énergétique remet tout le modèle économique en question

Mais la transition énergétique change la donne : lorsqu'il fait beau, les panneaux solaires fournissent déjà l'essentiel de l'énergie de crête au milieu de la journée, lorsque les prix sont les plus hauts. Et les centrales de pompage-turbinage sont à l'arrêt. Dans ces conditions, elles ne sont plus rentables. Les perspectives sont si incertaines que des investissements sont reportés : la centrale Grimsel 3 ne sera pas construite en dépit de l'octroi de la concession.

Sachant que le stockage et la mise à disposition de courant en fonction de la demande sont l'un des défis de la transition énergétique, cela semble paradoxal. De nouvelles capacités de stockage sont nécessaires avec une production d'énergie devenue volatile. Pour intégrer 4000 à 5000 MW d'électricité éolienne ou photovoltaïque dans le système, il faut 1000 MW de capacité de pompage-turbinage. Le Conseil fédéral en est conscient et fera étudier les possibilités de pompage-turbinage. Des mesures comme la gestion de la charge, la création d'accumulateurs décentralisés, le bridage provisoire d'installations à énergie renouvelable, les incitations à la production contrôlée ou les augmentations ponctuelles de la capacité du réseau réduiront la capacité de pompage-turbinage nécessaire.

La demande est encore plus urgente si l'on considère le marché européen. D'ici 2020, pour ne rien perdre des excédents de son parc éolien,



Les centrales suisses de pompage-turbinage Cinq projets de grande envergure vont presque quadrupler la capacité de pompage du parc des centrales hydrauliques suisses qui passera de 1,4 à 5,2 GW.

l'Allemagne aura besoin de plus de capacités de stockage. Pour cela, elle mise sur le pompage-turbinage dans les Alpes et en Scandinavie. L'Allemagne, l'Autriche et la Suisse développeront ensemble cette technique et ont signé en 2012 un accord dans ce sens.

Que vont devenir les bassins d'accumulation ?

Aujourd'hui, les énergies renouvelables sont en concurrence directe avec l'énergie de ruban des centrales thermiques. Avec la surabondance de l'offre, il vaut mieux laisser le courant se perdre plutôt que de le stocker. Investir dans des capacités de stockage n'est plus rentable et les projets sont différés. Afin que les extensions des capacités soient réalisées, il faut des conditions-cadres fiables et des incitations pour créer des accumulateurs et des moyens de stabiliser le réseau.

Diverses propositions sont discutées : l'octroi de la rétribution à prix coûtant du courant injecté RPC aux grandes centrales hydrauliques, des prêts de la Confédération ou encore une réduction des taxes étatiques, notamment de la redevance hydraulique annuelle, pourraient rendre le pompage-turbinage rentable. Des motions visent à faire participer aux frais de stockage les producteurs de courant intermittent dont la production n'est pas imposable. Pour être cohérent avec sa politique, le Conseil fédéral préfère une injection adaptée aux besoins, quel que soit le type de production.

Si la Suisse mise sur de nouveaux moyens de stockage et les réserve au courant propre, elle sera en mesure de jouer un rôle important sur le marché international de l'électricité et se profilera comme la batterie verte de l'Europe.

Les batteries d'accumulateurs déchargent les réseaux d'électricité.

Il existe d'énormes accumulateurs qui fonctionnent comme des batteries. De par leur taille, ils sont en mesure de compenser les variations sur le réseau provoquées par le courant éolien ou solaire. Les premiers accumulateurs de réseau sont en exploitation.

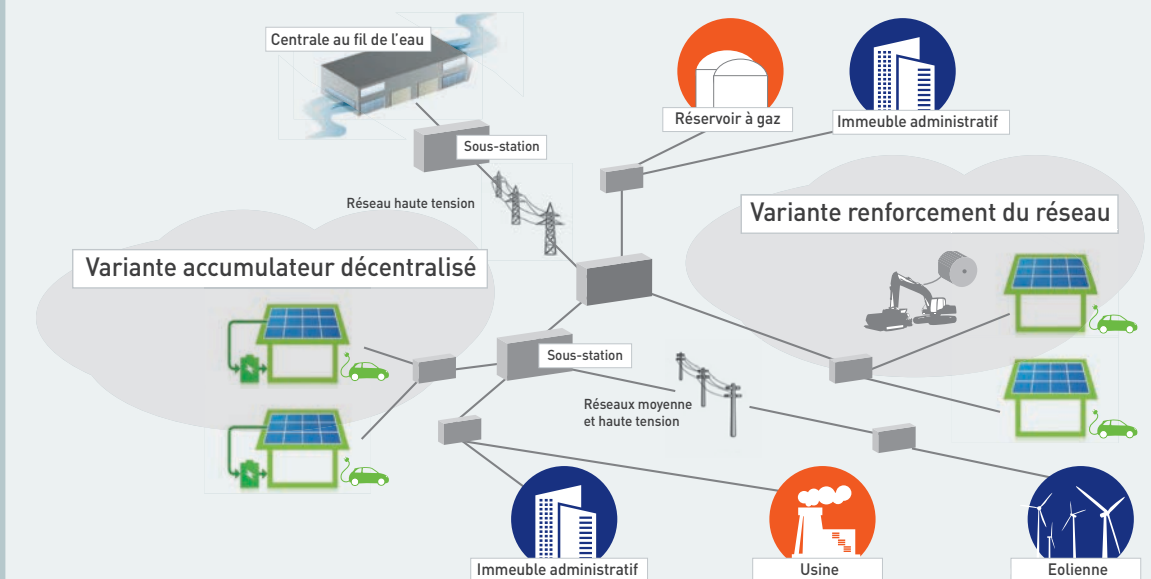
Comme le résume une étude (« Speicherstudie 2013 ») de l'Institut Fraunhofer pour les systèmes d'énergie solaire à Fribourg-en-Brisgau, les accumulateurs décentralisés représentent une contribution importante pour l'intégration des énergies renouvelables fluctuantes. Directement combinés avec une installation photovoltaïque ou un parc éolien, ils peuvent recueillir le courant qui n'est pas immédiatement consommé sans surcharger l'infrastructure du réseau. Selon l'étude précitée, les systèmes d'accumulateurs permettent d'obtenir une diminution sensible des crêtes d'injection de courant. Voilà pourquoi on construit actuellement beaucoup d'accumulateurs d'électricité, directement chez le producteur ou à des nœuds sélectionnés du réseau.

Grâce à un pilotage intelligent, un accumulateur remplit plusieurs fonctions. Il peut en même temps lisser la production d'énergie solaire et fournir une réserve d'énergie. L'interaction avec des installations photovoltaïques et des chauffe-eau permet d'accroître considérablement cette utilité. En Suisse et partout ailleurs, des chercheurs s'activent à concevoir les meilleures stratégies d'exploitation pour les accumulateurs. En collaboration avec l'EPFZ, la start-up Ampard a mis au point un logiciel de pilotage intelligent aujourd'hui déjà utilisé dans de nombreux accumulateurs en Suisse.

Un rendement supérieur à 90 %

Le plus gros accumulateur de réseau actuellement en service en Suisse se trouve à Dietikon (ZH) et appartient à l'entreprise électrique du canton de Zurich EKZ (Elektrizitätswerke des Kantons Zürich). Il s'agit d'une gigantesque batterie de quelque 10 000 éléments lithium-ion capable de stocker 500 kWh de courant avec une efficacité énergétique supérieure à 90 %. Il a été réalisé par ABB et est en service depuis le début 2012 sur le réseau moyenne tension. Cette installation d'avant-garde permet à EKZ d'étudier le comportement des accumulateurs, leur intégration dans le réseau de distribution et les possibilités d'utilisation dans l'entreprise. Elle fournit de l'énergie de réserve dans la mesure où elle possède une puissance de 1 MW, ce qui est énorme, et est en mesure de restituer la moitié des 500 kWh qu'elle peut stocker en seulement 15 minutes.

Les services industriels de la ville de Zurich ewz construisent également un accumulateur utilisant la technologie lithium-ion dans un lotissement de Zurich-Affoltern, à quelques kilomètres de Dietikon. Ici aussi, il s'agit d'une infrastructure pilote qui a la même capacité de stockage que l'accumulateur d'EKZ mais qui poursuit un autre but : elle est conçue pour emmagasiner le courant produit par l'installation photovoltaïque toute proche d'une puissance de 110 kW. Elle possède une puissance de 120 kWh afin d'être en mesure de stocker la production de jour des capteurs solaires. L'accumulateur peut ainsi mettre en réserve l'intégralité du courant produit aux périodes de pointe. Cette énergie est ensuite injectée dans le réseau le soir ou le matin, lorsque la demande est forte et que le soleil ne brille pas.



Graphique : Forces motrices de Suisse centrale SA

Lorsque du courant renouvelable, provenant par exemple d'installations photovoltaïques, surcharge le réseau existant, celui-ci peut être renforcé (à droite). Autre solution : les accumulateurs décentralisés (à gauche).

Eviter de devoir renforcer le réseau

Pour les entreprises suisses d'électricité, les accumulateurs font partie des projets de développement stratégique. Deux sociétés comme Energie Thun AG ou Industrielle Werke Basel ont déjà mis des installations pilotes en service. Les Forces motrices de Suisse centrale CKW construisent actuellement trois accumulateurs dans le canton

de Lucerne, à l'endroit même où sont érigées des centrales solaires de taille moyenne (20-150 kW). Jusqu'à présent, il était nécessaire de renforcer le réseau pour des installations de cette puissance. L'objectif de CKW est de voir dans quelle mesure ces accumulateurs décentralisés permettent d'éviter de devoir renforcer le réseau.

De nouvelles technologies pour les accumulateurs

- La pile lithium-ion est actuellement la technologie la plus répandue pour stocker du courant électrique. On la trouve aussi bien dans les téléphones et les ordinateurs portables, les vélos et les voitures électriques que dans les accumulateurs de réseau stationnaires actuellement en construction en Suisse.
- La pile saline recourt à une technologie de stockage connue depuis très longtemps et qui utilise de la céramique et du sel. Les piles salines du fabricant japonais NGK sont utilisées à grande échelle en Italie ou aux Etats-Unis pour construire des accumulateurs stationnaires performants (3 MWh de capacité de stockage et plus).
- La pile zinc-air repose sur une technologie de stockage chimique et est utilisée dans les piles boutons (p. ex. pour les appareils

auditifs). Des procédés modernes devraient permettre de développer encore cette technologie pour réaliser des accumulateurs avantageux et performants.

- La pile à électrolyte liquide emmagasine l'électricité par un procédé chimique, comme une batterie de ménage ordinaire, à la différence que l'agent de stockage (l'électrolyte) n'est pas solide mais liquide et se trouve dans deux réservoirs. Elle a besoin d'une pompe pour fonctionner. Les piles à électrolyte liquide sont utilisées comme accumulateurs tampons sur les éoliennes.
- La pile à métal liquide utilise comme agent de stockage des métaux liquides disposés en couches. Elles ne sont pour l'heure qu'à un stade de développement peu avancé mais semblent très prometteuses du fait de leur faible prix.

Les nouvelles technologies d'accumulateurs

conservent l'énergie renouvelable sur de courtes ou de longues durées.

L'argument le plus éculé contre les énergies renouvelables, c'est que le vent et le soleil ne fournissent pas toujours l'énergie quand on en a besoin. Aujourd'hui, des technologies ont été mises au point pour stocker l'énergie. Que ce soit pour quelques secondes, quelques heures, des jours, voire des mois.

Il suffit pour s'en convaincre de se rendre à Oberburg près de Berthoud. Josef Jenni, un entrepreneur partisan du solaire, y construit deux immeubles de huit appartements chacun qui seront chauffés et alimentés en eau chaude pendant toute l'année grâce à des capteurs solaires. Une telle autarcie thermique tient à deux réservoirs de 10 m de haut et d'une capacité de 108 m³ chacun. Leur fonction est de stocker pour l'hiver la chaleur solaire accumulée principalement pendant l'été. Le surcoût par appartement est de 6%, ce qui est raisonnable et s'amortira en peu d'années, en fonction de l'évolution du prix de l'énergie.

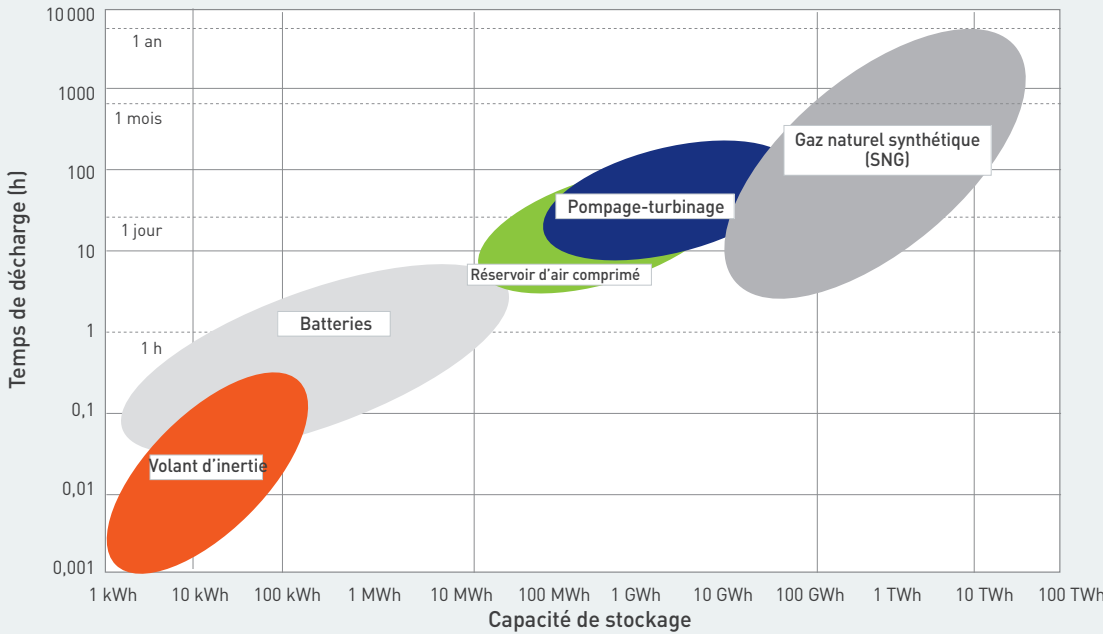
Accumulateurs innovants pour la chaleur et l'électricité

Des accumulateurs d'eau chaude sont également projetés pour des réseaux de chaleur. Ils serviront à rendre la production de chaleur indépendante de la consommation, et ce à grande échelle, afin d'exploiter les réseaux de manière plus souple. AGRO Energie Schwyz AG planifie à Seewen (SZ) un accumulateur d'eau chaude d'une hauteur de 50 m et d'une capacité de 30 000 m³. Ce réservoir, critiqué par les défenseurs du paysage, complètera l'infrastructure de chaleur à distance de Wintersried qui fournit de la chaleur et de l'électricité pour la commune de Schwyz et ses alentours grâce à une installation de biogaz

et une à copeaux de bois. La première fonction du réservoir est celle d'un accumulateur pour les besoins journaliers : il emmagasine de la chaleur pendant la nuit pour la restituer le jour aux heures de pointe.

Mais les accumulateurs d'électricité ont de plus en plus la cote. Leur conception dépend de la durée de stockage souhaitée. Les accumulateurs inertiels, les batteries et les caissons à air comprimé sont avant tout destinés pour stocker l'énergie pendant de courtes durées. Les centrales de pompage-turbinage, les réservoirs d'hydrogène et les réseaux de gaz offrent un potentiel pour de plus longues périodes et de plus grosses quantités. Les centrales de pompage-turbinage ne conviennent toutefois pas pour le stockage saisonnier d'énergie. Théoriquement, le barrage de la Grande-Dixence (le plus grand bassin d'accumulation de Suisse) ne pourrait offrir sa puissance maximale de 2,1 GW que pendant 40 jours au maximum. Ensuite, le lac serait vide. Les accumulateurs saisonniers sont par exemple les réservoirs d'hydrogène ou de gaz renouvelable obtenu par méthanisation. Il faut cependant construire pour cela des réservoirs de gaz ou avoir un réseau de gaz bien développé.

Les processus de stockage de l'électricité varient selon la capacité, la puissance, la dynamique, l'efficacité énergétique, la durée de vie et le nombre de cycles de recharge. Leur rentabilité dépend quant à elle des coûts d'investissement, d'entretien et d'exploitation. Autrefois, les centrales de pompage-turbinage gagnaient de l'argent avec les écarts entre les prix de l'électricité aux heures creuses et aux heures pleines. Cette période est



Graphique : Centre de recherche du Bade-Wurtemberg pour l'énergie solaire et l'hydrogène, ZSW

Les systèmes d'accumulation d'électricité ont des durées et des capacités de stockage qui varient en fonction du domaine d'utilisation.

révolue. A l'avenir, les accumulateurs devront se financer sur des variations de prix irrégulières et brèves. Ils mettront leur capacité de stockage à disposition pour intégrer la production intermit-

tente des installations photovoltaïques et des éoliennes dans le système énergétique.

Des accumulateurs pour tous les usages

- **Les accumulateurs à volant d'inertie** conservent l'énergie électrique sous forme mécanique. L'électricité est amenée dans un moteur électrique qui met en mouvement un volant d'inertie (processus de charge). Pour la décharge, le volant entraîne un générateur qui retransforme l'énergie mécanique en électricité. Lorsqu'un tramway descend une côte, il peut transformer son énergie de freinage en électricité qu'il restitue ensuite à la ligne de contact qui va l'emmagasiner dans un volant d'inertie. L'énergie ainsi récupérée et stockée dans un volant peut être réutilisée pour entraîner le prochain tramway qui escaladera une côte. Les services d'électricité de la ville de Zurich ont calculé le potentiel de récupération d'énergie sur un tronçon test avec une dénivellation de 60 m. Sur ce seul tronçon, il est possible de récupérer chaque année 200 000 kWh d'électricité, ce qui correspond à la consommation de 50 ménages moyens. Le réseau énergétique suisse ne comporte pas encore de volants inertiels en service.
- **Batteries** → voir pages 26/27
- **Les accumulateurs à air comprimé** stockent l'électricité sous forme d'air comprimé. Le processus de charge consiste à entraîner un compresseur avec l'électricité à stocker. Celui-ci comprime l'air dans un réservoir (bouteille, caverne). La décharge s'opère en utilisant l'énergie de la pression de l'air libéré de son récipient pour entraîner un générateur. L'entreprise tésinoise Airlight Energy envisage d'utiliser comme réservoir d'air comprimé une galerie désaffectée de 150 m de longueur située à Biasca et qui avait servi pour le chantier des NLFA. S'appuyant sur le même principe, la société Enairys, spin-off de l'EPFL, a construit avec les FMB une installation pilote destinée à stocker temporairement le courant produit par la centrale éolienne du Mont-Soleil. Ces accumulateurs sont encore au stade de développement.
- **Centrales de pompage-turbinage** → voir pages 24/25
- **Hydrogène** → voir pages 8/9 et 16/17
- **Gaz renouvelable (SNG)** → voir pages 16/17

Les réseaux transnationaux

sont la clé d'un approvisionnement énergétique durable en Europe.

Il y a un demi-siècle, la Suisse est devenue un acteur important dans le commerce de l'électricité. Aujourd'hui, elle fournit de nouveau un travail pionnier en participant à l'intégration des énergies renouvelables dans le réseau européen. Le réseau de gaz joue également un rôle important dans cette perspective.

Depuis 1958, la Suisse est la plaque tournante de l'électricité en Europe. C'est en effet cette année-là que les réseaux haute tension de 380 kV d'Allemagne, de France et de Suisse ont été interconnectés à Laufenbourg. Ce point d'intersection (l'étoile de Laufenbourg) est à l'origine de l'interconnexion des réseaux du continent européen qui approvisionnent aujourd'hui 530 millions de consommateurs dans trente pays. Quarante lignes relient le réseau de transport suisse avec l'étranger. Elles permettent de faire passer un dixième de tout le courant échangé en Europe. Cet échange est source de sécurité d'approvisionnement et de prospérité.

Un réseau à hautes performances pour l'Europe
Comme en ce qui concerne les transports, la Suisse est, pour l'électricité, placée face à des défis dont les enjeux dépassent de loin les frontières nationales. L'un des plus importants consiste à stocker le courant éolien du nord et le courant solaire du sud dans les bassins d'accumulation suisses jusqu'à ce qu'ils soient demandés par les consommateurs. Un tel projet, comme beaucoup d'autres, ne saurait être réalisé sans un nouveau réseau à hautes performances pour le transport de gros volumes de courant sur de longues distances. Depuis 2012, la Suisse participe intensivement aux travaux de planification. Le superré-

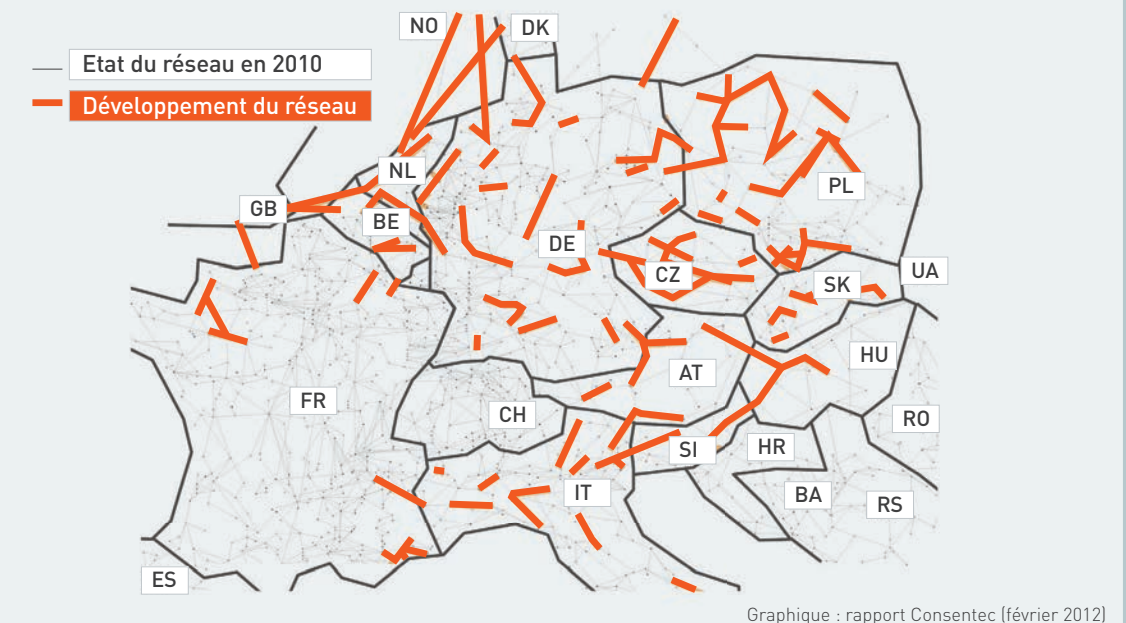
seau devrait progressivement être mis en place entre 2020 et 2050. Il est possible que la Suisse y contribue avec un nouveau tracé nord-sud. En ce moment, les discussions portent sur la création d'un superréseau européen de courant continu haute tension (CCHT). Le réseau de distribution, lui, continuerait d'être exploité avec du courant alternatif. Seul le transport sur de longues distances se ferait avec du continu. Il faut savoir que le transport avec la technique CCHT est plus efficace. Toutefois, ce n'est que sur des lignes de plusieurs centaines de kilomètres que les faibles pertes de transmission compensent les investissements élevés et les pertes inhérentes aux redresseurs de courant. Mais d'ici que la technologie pour l'interconnexion européenne soit au point, les ingénieurs ont encore quelques problèmes à résoudre. Il y a également des questions de coûts, de répartition des charges, de responsabilité des exploitants et d'acceptation sociale qui doivent être réglées.

Intégrer dans toute l'Europe les énergies renouvelables

Le superréseau est fondé sur une vision : encourager les énergies renouvelables par-delà les frontières. Les contributions de chaque région

Plan décennal pour l'Europe

Le plan décennal du Réseau européen des gestionnaires de réseau de transport d'électricité (ENTSO-E) pour le développement du réseau (Ten Year Network Development Plan/TYNDP) comprend plus de 100 projets d'extension en Europe, notamment dans le domaine des énergies renouvelables. Ce plan, élaboré en 2012 avec un horizon fixé à 2022, prévoit des investissements de 104 milliards d'euros afin de moderniser les lignes à haute tension en Europe et d'en construire 51 500 km de nouvelles. La Suisse participe au TYNDP avec trois programmes d'extension.



Graphique : rapport Consentec (février 2012)

Projets d'extension du réseau de transport de l'électricité dans les autres pays d'Europe d'ici 2035

sont à cet égard très variées. Ainsi, on construit des fermes éoliennes off-shore en Europe du Nord tandis qu'on produit du courant photovoltaïque au sud, jusque dans les déserts d'Afrique. La Renewables Grid Initiative réunit des gestionnaires européens de réseaux et des associations de protection de l'environnement dont le but commun est de promouvoir une intégration complète des énergies renouvelables dans les réseaux européens.

Un réseau de gaz naturel performant

L'approvisionnement en énergie de réseau en Suisse concerne deux agents : l'électricité et le gaz. Les débuts de la distribution moderne de gaz remontent à 1974. A l'époque, une importante conduite nord-sud qui apportait du gaz hollandais en Italie en traversant la Suisse avait provoqué une renaissance de l'intérêt pour cet agent. Le gaz de ville, fabriqué à partir de charbon, était apparu au XIX^e siècle et servait tant pour l'éclairage que pour la cuisine.

Aujourd'hui, 890 communes sont raccordées au réseau suisse de gaz, d'une longueur de 18 000 km. Il est alimenté par le réseau de transport européen via une douzaine de points d'injection. Le gaz naturel consommé en Suisse en 2012 provenait principalement de pays de l'UE (41 %), de Norvège (24 %) et de Russie (23 %). La part du biogaz dans les carburants est de 20 % et dans les combustibles d'environ 1 %. L'Association Suisse de l'Industrie Gazière (ASIG) veut porter la part du biogaz, qui est actuellement de 82 GWh, à 300 GWh d'ici 2016. Parallèlement, il s'agit d'encourager la technologie de la transformation d'électricité en gaz combustible.

Le réseau de transport à travers la Suisse possède encore beaucoup de capacités inexploitées. Une modernisation sera cependant nécessaire. A l'avenir en effet, il ne s'agira plus seulement de transporter le gaz du nord au sud mais également dans le sens inverse.

Les coûts d'agrandissement des réseaux performants diminuent grâce aux technologies innovantes.

Dans sa stratégie énergétique 2050, le Conseil fédéral prévoit que la modernisation du réseau électrique suisse, devenue de toute manière nécessaire avec les années, coûtera d'ici 2050 18 milliards de francs. Le recours aux techniques évoluées dans le réseau de distribution contribue à diminuer les coûts dans une mesure déterminante.

L'entretien des routes et des voies ferrées coûte cher. Il en va de même pour la transformation et l'extension du réseau électrique suisse, son raccordement optimal au réseau européen et la construction de nouveaux accumulateurs d'électricité pour la transition énergétique. Rien que pour les dix prochaines années, Swissgrid entend investir 2,8 milliards de francs dans l'extension et le renouvellement du réseau de transport. Les besoins de financement à long terme pour le réseau de distribution se chiffrent à plus de dix milliards de francs. A titre de comparaison, le projet d'infrastructure des transports NLFA coûtera vraisemblablement près de 19 milliards de francs. Des réseaux performants qui assurent l'approvisionnement en électricité et qui sont un pilier de l'économie suisse ont aussi leur prix. Il nous en coûterait autrement davantage de négliger le développement du réseau. Une étude mandatée par la Confédération a montré qu'un blackout national coûterait entre 8 et 30 millions de francs par minute !

Des moyens supplémentaires pour l'extension du réseau

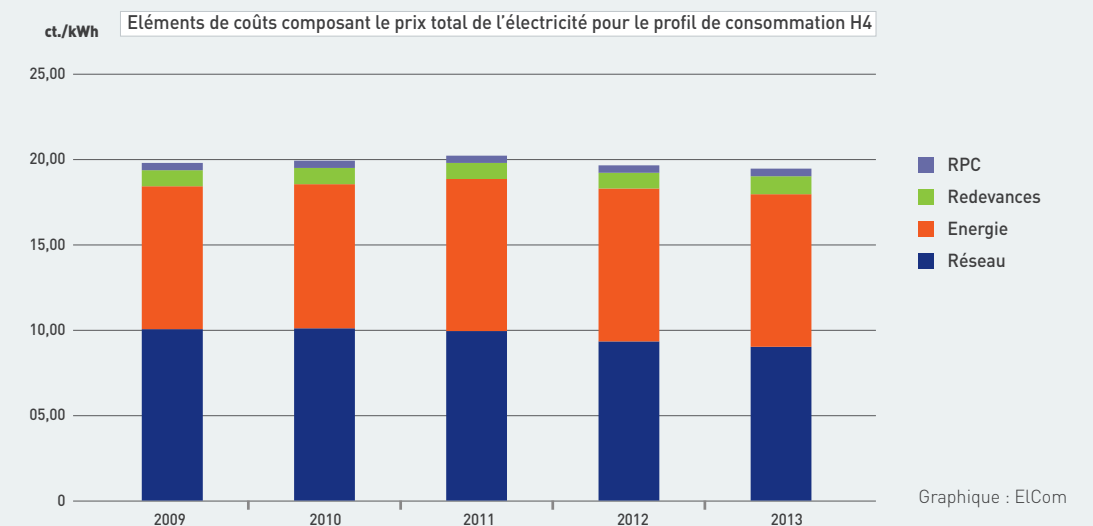
Ce sont les consommateurs qui assument le coût de développement et d'entretien du réseau d'électricité. Les exploitants de réseaux voient leurs investissements remboursés via le prix du courant.

La hauteur de ce remboursement est déterminée par le total des investissements consentis jusqu'à présent dans le réseau. Le montant que les exploitants peuvent répercuter sur le prix du courant est calculé à partir du capital investi. La base de calcul est le taux d'intérêt du capital pour les réseaux d'électricité (moyenne pondérée du coût du capital). Récemment, le Conseil fédéral a relevé cette moyenne pondérée, procurant ainsi quelque 100 millions de francs supplémentaires aux exploitants pour leur permettre d'assurer l'extension de leurs réseaux.

Les coûts de réseau représentent aujourd'hui la moitié environ du prix de l'électricité, soit approximativement 10 ct./kWh pour un prix moyen de 20 ct./kWh (voir graphique). L'essentiel des coûts de réseau va aux réseaux de distribution et une petite part au réseau de transport (0,83 ct. pour 2014). Ce 0,83 centime couvre les coûts des services systémiques (mise à disposition d'énergie de réglage nécessaire pour équilibrer le courant produit et le courant consommé) et l'utilisation du réseau (charges de capital et d'exploitation du réseau de transport). Les coûts de réseau ont diminué entre 2010 et 2013, ils augmenteront de nouveau en 2014 en raison de charges extraordinaires. Il faut s'attendre à moyen terme à une hausse des coûts liés au réseau, induite par le besoin de modernisation. L'augmentation de la capacité des réseaux locaux pour permettre l'injection décentralisée d'énergies renouvelables n'est ici qu'un facteur parmi plusieurs.

L'extension du réseau nécessitée par les installations décentralisées

De nouvelles installations de production décen-



Eléments de coûts composant le prix de l'électricité pour un ménage type suisse (consommation annuelle : 4500 kWh) pour les années 2009 à 2013.

- Réseau : coûts d'exploitation, d'entretien et de renouvellement du réseau d'électricité ; à cela s'ajoutent les frais pour les services systémiques avec lesquels la société nationale pour l'exploitation du réseau Swissgrid harmonise la production et la consommation d'électricité

- Energie : coûts de production, d'acquisition et de distribution du courant
- Redevances : indemnités versées à la collectivité pour l'utilisation du domaine public par les lignes et les conduites
- RPC : rétribution à prix coûtant du courant injecté pour l'encouragement des énergies renouvelables

tralisées requièrent un renforcement du réseau à certains endroits, notamment après l'augmentation de la puissance de stations de transformation et l'arrivée de techniques de réglage et de pilotage évoluées. Une étude de Consentec GmbH mandatée par l'Office fédéral de l'énergie OFEN a porté sur les effets d'une forte extension de l'approvisionnement énergétique décentralisé sur les réseaux de distribution suisses, en relation avec la stratégie énergétique 2050. Le développement des installations de production décentralisées a pour conséquence la nécessité d'agrandir en particulier les réseaux de distribution.

Le rapport évalue le surcoût à 10-25 % si le réseau est agrandi de manière conventionnelle d'ici 2050. Mais ces coûts supplémentaires peuvent

être réduits par le recours aux technologies innovantes. Ainsi, ils diminuent de moitié avec des transformateurs de la dernière génération qui font dépendre la quantité d'électricité passant de la moyenne à la basse tension de la quantité de courant alternatif local injecté et de la charge du réseau. Grâce à de telles mesures, les lignes peuvent être conçues pour des charges maximales plus faibles, ce qui diminue le besoin de nouvelles lignes. « Il serait possible de réduire ces coûts par une gestion intelligente (par exemple maintien de la tension) » écrit le Conseil fédéral dans sa stratégie énergétique 2050. Il reste que la modernisation de l'infrastructure de réseau est une tâche qui concerne l'ensemble de la société et il importe que cette dernière soit largement gagnée à cette cause.

Les procédures d'approbation et d'autorisation

sont accélérées pour la transformation du système énergétique.

Il y a un point sur lequel tout le monde est d'accord : les procédures d'autorisation doivent être plus simples et plus rapides. Mais cet objectif ne sera pas atteint si l'on ne tient pas compte de l'opinion publique. Seuls les projets dont finalement tout le monde profite directement ou indirectement sont acceptés et sont véritablement durables.

Les projets d'infrastructure (routes, voies ferrées, antennes, centrales électriques ou réseaux d'énergie) font toujours l'objet de procédures longues et compliquées. Et on ne peut les imposer contre la volonté d'une population sensibilisée à ses besoins et à son environnement.

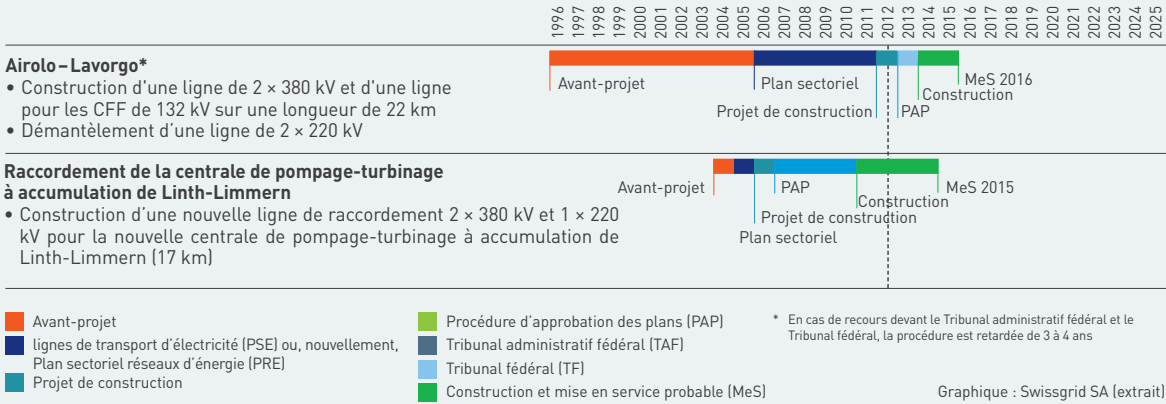
Grâce aux progrès esthétiques, les panneaux solaires se sont intégrées dans les façades et les toitures et sont devenues très discrets, d'où leur acceptation. D'autres, en revanche, donnent lieu à des résistances. Ainsi, des projets éoliens attendent une décision depuis plus de dix ans alors que d'autres sont en place et profitent ainsi depuis longtemps à la communauté locale. Les projets hydrauliques et au biogaz, de réseaux ou d'accumulation ont aussi à franchir de nombreux obstacles avant de pouvoir être réalisés.

Plus vite, plus simple, plus fiable
Le gros investisseur tout comme le simple coopérateur veulent des procédures d'autorisation simples et sûres. On compte aujourd'hui dans le meilleur des cas neuf à douze ans pour une ligne de transport d'électricité. Mais en général, ce sont vingt ans, voire plus. Et compte tenu des différentes procédures cantonales et des nombreuses voies de recours, l'issue est toujours assez incertaine.

Rien de quoi favoriser le renouvellement du système énergétique. Les autorités et les tribunaux rendent aussi parfois de curieuses décisions. Ainsi cet ordre de démolir une installation à Bâle parce qu'elle n'avait, selon la commission d'urbanisme, « pas bonne façon ». Ou encore ce hangar à bateaux sur le lac de Zurich : son permis de construire fut refusé malgré que l'entreprise d'électricité et le service des monuments de la ville soient finalement tombés d'accord.
Il incombe aux hautes écoles et aux entreprises de développer des technologies et de mener les projets de telle manière que la pesée des intérêts soit en leur faveur. La tâche des politiques est de fixer des conditions-cadres qui permettent la réalisation de ces projets. Dans cette perspective, le Conseil fédéral a proposé dans sa stratégie énergétique 2050 de nouvelles réglementations. Outre l'aspect technique des procédures, elles prévoient une sensibilisation et une information de la population afin de réellement former l'opinion publique.

Rien ne va sans des règles démocratiques
La réussite de tout projet d'infrastructure passe par l'intégration précoce de la population. Souvent, c'est l'utilité subjectivement perçue et la confiance dans les responsables d'un projet qui l'emportent face aux coûts. Il suffit de voir comment la population saint-galloise continue de soutenir les forages géothermiques même après les secousses sismiques.

Avec les centrales citoyennes, la population ne fait pas que subir les effets négatifs mais profite également de leurs avantages. Les promoteurs y gagnent parce que l'installation sera rapidement mise en service, les communes et leurs habitants



Entre la planification et la réalisation d'une ligne électrique à haute tension, on compte neuf à douze ans dans le meilleur des cas, pour autant que tout aille bien. Mais ce délai est souvent très largement dépassé. Des projets comme le raccordement de la centrale de Linth-Limmern montrent toutefois qu'une durée de neuf ans est parfaitement possible. La société nationale pour l'exploitation du réseau Swissgrid mise sur de nouvelles technologies et sur l'amélioration des procédures d'autorisation pour des projets aussi durables que possible. En intégrant et en faisant collaborer assez tôt les milieux concernés, les procédures peuvent être accélérées et les solutions les meilleures possible du point de vue du système du réseau et de l'intérêt national et local peuvent être trouvées. Swissgrid s'appuie pour cela sur le principe suivant : d'abord optimiser le réseau, puis le renforcer et en dernier lieu l'agrandir (l'optimisation passant avant le renforcement et l'extension).

Projets d'extension de réseaux en Suisse De la planification à la mise en service d'une ligne, il faut au minimum sept ans, parfois dix ou vingt ans voire plus.

y trouvent leur compte puisque le projet générera des gains réguliers. En Allemagne, les emprunts citoyens devraient bientôt aussi intéresser les riverains et les propriétaires fonciers au développement des réseaux de transport d'électricité. Les sondages montrent que ce n'est pas que le désavantage financier subi par les petits investisseurs

qui fait débat, mais aussi le fait que les gens ne sont pas indifférents à ce que les lignes à haute tension transportent. Ainsi, ils soutiendraient à une nette majorité de nouvelles lignes électriques si celles-ci servaient également au transport de courant renouvelable produit dans la région.

La Confédération et les cantons vont de l'avant

La construction de centrales et d'installations de production d'électricité à partir d'énergies renouvelables a pris un retard considérable. Un rapport du Conseil fédéral avance un certain nombre d'explications : dispositions légales pléthoriques, procédures tatillonnes, obligations de toutes sortes, sans compter le manque de personnel des autorités et les documents lacunaires remis par les requérants. A cela s'ajoutent de nombreuses oppositions qui touchent un projet photovoltaïque sur vingt, un de centrale hydraulique sur cinq, un de biomasse sur trois et un éolien sur deux.
A en croire le Conseil fédéral, l'utilisation et le développement des énergies renouvelables devrait bientôt être une tâche « d'intérêt national ». Cela mettrait certaines installations d'énergie renouvelable au même rang que les objets inscrits à l'Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale (sites IFP). Toutefois, les ordonnances fixent des seuils : les centrales hydrauliques doivent avoir plus de 3 MW et moins de 10 MW, les projets éoliens doivent être compris entre 5 et 20 MW. En outre, les cantons doivent délimiter dans les plans directeurs et les plans d'affectation cantonaux des territoires se prêtant à l'exploitation des énergies renouvelables, ceci afin de permettre une planification couvrant l'ensemble du territoire. Ils doivent également accélérer les procédures d'autorisation et les simplifier lorsqu'il s'agit de centrales hydrauliques et de petites installations ayant un faible impact. De son côté, la Confédération mettra en place un guichet unique chargé de collecter les prises de position et les autorisations des différents offices fédéraux pour les transmettre de manière groupée. Et conformément à la loi sur l'aménagement du territoire révisée, les installations solaires suffisamment intégrées dans les toits ne doivent plus nécessiter d'autorisation de construire. La Stratégie réseaux électriques du Conseil fédéral décrit les mesures visant à réduire de treize à six ans au maximum la procédure allant du développement jusqu'à la construction d'installations de réseau.

aeeSUISSE

Organisation faîtière de l'économie des
énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique

Falkenplatz 11, case postale, 3001 Berne
Tél. 031 301 89 62, fax 031 313 33 22
info@aeesuisse.ch, www.aeesuisse.ch



ETOGAS
smart energy conversion

Helion
Solar

YKWO
GRIMMELSTROM

Schweizerischer
Gemeindeverband | Association des
Communes Suisses

ClimatePartner
climat neutre
Impression | 10: 53047-1309-1005

MIXTE
Papier aus 50%
FSC® C022248

|s|g |s |w |
Sankt Galler Stadtwerke

swissgrid

SWISSOLAR

V3E
VERBAND EFFIZIENTE
ENERGIE ERZEUGUNG