

# L'INTÉGRATION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES DANS LE RÉSEAU DE TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ

Juin 2014

## Synthèse

Colonne vertébrale du système électrique, le réseau de transport d'électricité est un atout central pour une transition vers des modes de production et de consommation répondant à des objectifs de durabilité, de sobriété et de performance économique. La vocation du réseau de transport d'électricité a toujours été de s'adapter aux moyens de production et aux besoins de consommation. Les premières lignes de haute et très haute tension se sont d'abord développées autour de moyens de production centralisée, hydraulique et thermique (charbon et fioul), puis nucléaire à partir du milieu du XXème siècle. Les besoins de consommation des zones urbaines et industrielles, dont la croissance fut très rapide au cours des trente glorieuses, ont ensuite guidé le tracé de nouvelles lignes.

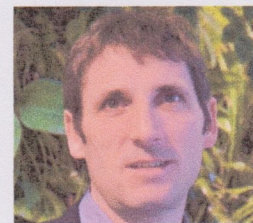
Aujourd'hui, les grands flux d'électricité d'origine renouvelable et l'indispensable solidarité entre les territoires constituent les principaux vecteurs d'évolution du réseau en France et en Europe. La forte pénétration des énergies renouvelables (ENR) et variables, principalement photovoltaïque et éolienne, dans le bouquet électrique pose de nouveaux défis aux gestionnaires de réseau de transport. Par ailleurs, la vague de froid que nous avons connue en février 2012 et les pics de



**Hervé Mignon**  
Directeur  
Economie,  
Prospective et  
Transparence chez  
RTE.

**Matthieu  
Orphelin**

Porte-parole de la  
Fondation Nicolas  
Hulot lors du  
Débat national sur  
la transition  
énergétique.



consommation qu'elle a entraînés illustrent la nécessité de moduler la consommation électrique pour faire face à des situations tendues.

Au total, c'est davantage de flexibilité qu'il faut introduire dans le système électrique, tant du côté de la production que de la consommation. C'est un des principaux enjeux de la future loi de programmation sur la transition énergétique qui devrait arriver au Parlement fin 2014.

---

Avec les notes du réseau, la Fondation Nicolas Hulot ouvre un espace d'expression pour qu'un ou plusieurs experts contribuent au débat sur la transition écologique.

Retrouvez toutes les notes sur <http://think-tank.fnh.org>

FONDATION  
NICOLAS  
HULOT  
POUR LA NATURE  
ET L'HOMME  
think tank



# L'intelligence du réseau de transport d'électricité

## Le réseau de transport d'électricité, vecteur d'optimisation

Une mission essentielle du réseau de transport d'électricité est de constituer un outil de solidarité territoriale. Il permet, en effet, de réconcilier des bilans régionaux hétérogènes, des potentiels de production disparates et des profils de consommation irréguliers. Ceci est rendu possible par deux caractéristiques du réseau qui permettent d'une part de mutualiser les moyens de production et d'autre part d'intégrer une diversité et une complémentarité du mix électrique.

Le réseau est déjà en soi un outil de flexibilité puisqu'il assure la mutualisation des capacités de production à l'échelle nationale et européenne via les interconnexions. Le maillage du réseau de transport permet, ainsi, d'économiser des moyens de production qui seraient autrement nécessaires pour garantir l'approvisionnement en électricité de tout le territoire et renforcer la sécurité du système. A titre d'exemple, grâce au maillage du réseau qui s'étend bien au-delà des frontières nationales, la somme des puissances souscrites par l'ensemble des consommateurs français représente environ quatre fois la capacité réellement installée dans l'hexagone.

Par ailleurs, la complémentarité des sources d'énergie et la diversité du bouquet électrique français constituent un vecteur d'optimisation du système électrique. La gestion des flux d'électricité tient compte des contraintes techniques et de l'ordre de préséance économique des différentes sources de production d'électricité. De ce fait, les énergies renouvelables qui bénéficient d'un accès prioritaire au réseau, l'hydroélectricité et l'électricité d'origine nucléaire sont utilisées en priorité, garantissant une utilisation optimum des sources faiblement émettrices de CO<sub>2</sub>.

Ces aspects, diversité et complémentarité du mix électrique d'une part et mutualisation des moyens de production d'autre part renvoient à une mission essentielle du réseau de transport d'électricité : doit être un outil de solidarité territoriale. En effet, il permet de réconcilier des bilans régionaux hétérogènes, des potentiels de production disparates et des profils de consommation irréguliers. Ainsi, en mutualisant les moyens de production et en utilisant les synergies et les complémentarités des territoires, le réseau de transport d'électricité participe au développement d'une économie sobre en carbone tout en assurant la solidarité électrique entre les territoires.

## La nécessaire modulation de la consommation

Un des défis à relever pour les opérateurs de réseau comme pour les producteurs d'énergie renouvelable est l'importante variabilité des caractéristiques de l'électricité produite par issue des unités de production renouvelable. Comme l'échelle de temps de variation est très réduite, et que le réseau a besoin d'une vraie stabilité et d'un équilibre instantané, il est nécessaire de développer des modes de gestion appropriés et des outils techniques garantissant la sécurité des réseaux.

Jusqu'à présent, l'opérateur de réseau devait s'assurer d'ajuster la production d'électricité aux variations de consommation afin de garantir un équilibre permanent entre les deux. Le développement de nouveaux usages de l'électricité (climatisation, multiplication des équipements électroniques, téléphonie mobile, etc.) et les transferts d'usage attendus notamment dans le secteur du transport (véhicules électriques) nécessitent de maîtriser la consommation actuelle de manière à ne pas saturer le parc de production et les réseaux électriques. Par ailleurs, la vague de froid que nous avons connue en février 2012 et les pics de consommation qu'elle a entraînés, illustrent la nécessité de moduler la consommation électrique de manière plus fine. S'agissant du maintien de l'équilibre offre/demande, la



flexibilité de la consommation est ainsi un outil intéressant au même titre que le développement de réseau, de moyens de production ou encore de stockage.

De fait, pour intégrer efficacement les ENR dans les réseaux électriques, il est nécessaire de développer les compétences et les infrastructures permettant d'automatiser la gestion de certains paramètres, et de contrôler en temps réel les différentes unités de production. Cela passe par un ensemble de technologies connues sous le nom de smart grid, qui associent le développement d'infrastructures et un pilotage électronique de la production, de la consommation et de la régulation, qui améliore la résilience des réseaux et développe leur capacité d'absorption.

Par ailleurs, une gestion plus fine de la demande en associant les consommateurs aux enjeux d'équilibre offre/demande, et en leur demandant notamment de réduire ou de reporter leurs consommations aux moments de tension sur les réseaux, est indispensable pour fluidifier la gestion des équilibres.

Le réseau de transport d'électricité est particulièrement moteur dans la valorisation de tous les types d'effacement, qu'ils soient diffus dans le secteur résidentiel ou qu'ils concernent les sites industriels. Plusieurs outils permettront de transformer le consommateur en consomm'acteur. Le signal tarifaire est un moyen dissuasif évident de maîtrise de la consommation d'électricité mais difficile à développer dans le contexte économique actuel. Des dispositifs d'appel à la maîtrise de la consommation d'électricité ont été développés en Bretagne et dans la région PACA. Les appels d'offre qui ont d'ores et déjà été organisés ont permis une forte augmentation des volumes d'effacements depuis leur apparition en 2010. Les nouveaux mécanismes de marché qui seront mis en place dans les années à venir, dont le mécanisme de capacité, devraient permettre de soutenir cette tendance et contribuer ainsi à introduire davantage de flexibilité du côté de la demande d'électricité.

## L'insertion technique des ENR dans le système électrique

### Un changement de géographie de l'offre de production

Du côté de la production, le développement des énergies renouvelables diffuses et décentralisées ne s'accompagne pas forcément d'une réduction des besoins en réseau de transport d'électricité. Au contraire, il en renforce la nécessité et ce alors même que la consommation d'électricité marque le pas depuis plusieurs années. Les nouveaux sites de production, éoliens ou photovoltaïques, sont généralement situés dans des zones éloignées des centres de consommation. Le transport de l'énergie éolienne produite en Mer du Nord vers les centres de consommation du sud est un enjeu majeur en Allemagne et, en l'absence de capacités de transport suffisantes, la production renouvelable doit parfois être bridée, entraînant un gaspillage physique et économique.

Par ailleurs, les formes décentralisées de production d'électricité ne garantissent pas la couverture de la consommation au niveau local. Ainsi, l'électricité produite en milieu de journée par des panneaux photovoltaïques installés sur les toits d'un quartier résidentiel a toutes les chances d'être perdue au pic de la production en milieu de journée si le réseau ne permet pas de l'acheminer vers des centres de consommation. Le réseau en retour permettra de couvrir les besoins de cette même population la nuit et les jours peu ou pas ensoleillés.

Différentes études analysent les limites maximales d'absorption des énergies renouvelables par les réseaux. Le développement important des énergies renouvelables, et notamment de l'éolien et du solaire photovoltaïque, pose parfois déjà des problèmes aux opérateurs de réseau, qui doivent faire face à des perturbations locales liées à une forte pénétration des



énergies renouvelables. Ainsi, l'Allemagne comme le Danemark, qui ont fortement développé l'énergie éolienne, connaissent parfois des taux de pénétration de cette énergie très élevés, qui mettent au défi la résistance des réseaux, et les compétences techniques des opérateurs. L'une des plus importantes garanties face à ces enjeux de variabilité et d'intermittence est la présence de réseaux résilients, et d'interconnexions fortes, qui permettent de mieux répartir et gérer la variabilité. Et s'il n'existe pas de limite théorique au développement des ENR dans le mix électrique, il est important d'assurer un équilibre entre sources variables, sources intermittentes et sources permettant de gérer rapidement des appels de puissance importants. Si en l'absence de capacité de stockage d'assez grande envergure, et d'actions très ambitieuses de lissage de la demande, il est difficile d'imaginer des mix électriques où l'éolien et/ou le solaire dominant. Cependant, la plupart des experts s'accordent pour dire que les limites posées par la connexion au réseau sont aujourd'hui loin d'être atteintes.

### Des capacités de stockage limitées

Afin de pallier à l'intermittence de la ressource renouvelable, une voie d'avenir se trouve dans le développement de capacités de stockage pendant la journée, et le déstockage pendant la nuit. Plusieurs pistes sont déjà travaillées, et permettraient sans doute à terme d'intégrer une part plus importante de photovoltaïque dans les bouquets de production énergétique. Ces technologies ne sont cependant pas aujourd'hui opérationnelles à grande échelle.

- Le stockage par batterie est particulièrement utilisé dans le cas des installations dites autonomes. Les accumulateurs électrochimiques permettent de conserver l'électricité produite directement.
- Le stockage thermique utilise la conservation de la chaleur par un fluide caloporteur. Il est principalement utilisé dans le cas de centrales électriques utilisant les principes thermodynamiques.
- La conversion de l'énergie produite en une autre forme. Il s'agit, par exemple, des pompes solaires qui accumulent des quantités d'eau dans un réservoir de surface, ou encore des chauffe-eau solaires conservant l'eau à température dans un cumulus.

De fait le recours au stockage, pour autant qu'il soit lui aussi dispersé et réparti, serait de nature à mieux concilier l'intermittence de certaines filières de la production renouvelable (éolien, photovoltaïque) et la variabilité de la consommation d'électricité. Cependant, à ce jour, les solutions techniques, efficaces et rentables de grande échelle font défaut. Le meilleur stockage de ce type est constitué par les stations de pompage hydraulique (STEP) dont le développement est limité aux zones de relief et dont la localisation nécessite aussi le renforcement de transport d'électricité.

Notons toutefois que le besoin de stockage diffère selon que les caractéristiques de consommation régionale s'accordent plus ou moins aux régimes de production éolienne ou photovoltaïque. Ainsi, en Irlande, le régime diurne des vents se traduit par des pics de production éolienne correspondant généralement aux périodes de forte consommation. De même, dans les pays méditerranéens où la climatisation est bien plus développée qu'ailleurs en Europe, l'apogée de la production photovoltaïque correspond également à des consommations électriques élevées.

En assurant l'acheminement de l'électricité des zones de production, où qu'elles soient, vers les zones de consommation, le réseau reste aujourd'hui la solution la plus adaptée à l'accueil et à la valorisation des énergies renouvelables, tant sur le plan économique qu'environnemental.



# L'insertion économique des ENR dans le système électrique

## Une nécessaire optimisation du marché européen

L'adéquation entre besoins de consommation et capacités de production dépend également de l'architecture du marché intérieur de l'électricité. Les nouveaux défis apparus dernièrement questionnent la capacité du « logiciel » marché à prendre la pleine mesure des gageures posées aux opérateurs de réseaux de transport.

Le développement des ENR dans le cadre de mécanismes de soutien économique pose la question de leur articulation avec les mécanismes de marché. Dans un contexte où les moyens de production thermiques (en particulier cycles combinés au gaz) peinent à trouver leur rentabilité du fait de la stagnation de la consommation, la baisse du prix du charbon et du CO2 ou l'injection de production ENR hors marché peuvent être source de déséquilibres. L'occurrence ponctuelle de prix négatifs sur les marchés de gros dans certains pays, y compris en France, en est symptomatique.

Alors que les énergies éoliennes et photovoltaïques, du fait de leur intermittence, sont de nature à renforcer l'utilité des moyens classiques dont la production est modulable, les annonces de fermeture de centrales thermiques gaz partout en Europe deviennent problématique. Ainsi, les marges de sécurité aujourd'hui disponibles, et qui ont permis le passage de la vague de froid de 2012, décroissent sur toute la période 2014-2018 avec une baisse marquée entre 2015 et 2016.

L'exemplarité de l'Europe en matière de diminution des gaz à effet de serre est également menacée. Le bouleversement des gaz de schistes aux Etats-Unis en libérant de vastes quantités de charbon pour l'Europe a eu pour effet une augmentation de la consommation européenne de charbon, phénomène aggravé par le faible prix de la tonne de CO2 sur le marché européen.

Le marché de l'électricité peine aujourd'hui à envoyer les signaux de long terme efficaces, indispensables pour mener à bien les ambitions énergétiques et climatiques européennes. De la bonne prise en compte de l'interaction de ces enjeux dépend aussi la qualité d'approvisionnement électrique, dont les réseaux de transport constituent l'un des garants essentiels.