

Les énergies renouvelables et la transition électrique

Par Jean-Louis BAL

Président du Syndicat des Énergies renouvelables

Au cours de son histoire, la France a toujours conduit avec succès des transitions majeures de son système électrique. Celle que nous avons engagée ces dernières années s'inscrit donc dans cette continuité et représente une formidable source d'innovation et d'opportunités économiques. Cette transition vers les énergies renouvelables électriques prend tout son sens aujourd'hui. D'abord, parce que les politiques publiques mises en place ont permis d'accompagner efficacement ces technologies sur leur courbe de décroissance des coûts, ce qui nous donne accès à une palette de solutions compétitives ou en passe de l'être. Ensuite, parce que les outils de flexibilité ont grandement progressé et permettent d'atteindre des taux de pénétration des renouvelables électriques très élevés. Enfin, parce que cette transition répond à une aspiration profonde des Français et des entreprises, qui sont prêts à prendre une part active dans cette nouvelle étape de la transition énergétique de notre pays.

Courte histoire des transitions énergétiques

La France, comme de nombreux autres pays, s'est engagée dans une transition écologique de grande ampleur qui mènera, à l'horizon 2050, à une société ayant rompu avec sa dépendance aux ressources fossiles nuisibles pour l'environnement. La transition énergétique est l'un des principaux piliers de cette ambition sociétale qui vise à transformer les systèmes de production en généralisant le recours aux sources d'énergies renouvelables (EnR) dans les secteurs des carburants, de la chaleur, du gaz et de l'électricité, et à tendre vers une plus grande maîtrise de la demande énergétique.

Aussi novateur que puisse paraître ce concept, la transition est en fait une constante de l'histoire des systèmes énergétiques. Ces derniers n'ont cessé de se réinventer tout au long de l'histoire industrielle, et ce, souvent avec le soutien financier des États pour des motifs d'ordre économique, militaire et environnemental. Citons, pour l'anecdote, le cas de la Prusse, au début du XIX^e siècle, qui incita à recourir à la houille domestique (de Silésie ou de la Ruhr), dont la combustion était censée être bénéfique pour la santé d'après certains médecins hygiénistes de l'époque, ce afin d'économiser le bois à destination des manufactures d'armes et des chantiers navals⁽¹⁾. Plus tardivement, l'émergence des réseaux électriques s'est développée au détriment du pétrole lampant et des réseaux de gaz de ville pour l'éclairage, souvent avec le soutien d'édiles voyant en la « fée électricité » l'avènement d'une nouvelle ère de progrès. Cet appui politique à l'électrifica-

tion au début du XX^e siècle ne se démentira pas par la suite (création des syndicats d'énergie, électrification rurale...). Mais déjà la question des sources d'énergie se posait : ne fallait-il pas favoriser l'hydroélectricité nationale, aussi surnommée la « houille blanche », vis-à-vis du charbon, trop souvent importé du Royaume-Uni ou d'Allemagne⁽²⁾ ?

En France, dans les années 1970, le plan Messmer planifiait le développement de centrales nucléaires et plaçait au centre des attentions énergétiques la question du mode de production. De la stratégie de production nationale découlait alors l'ensemble des décisions de politique énergétique ; le développement de l'énergie nucléaire a conditionné la structuration des réseaux de transport d'électricité et a guidé les réflexions et les incitations en matière de consommation.

Les systèmes électriques sont donc construits, développés et recomposés suivant les ambitions politiques et industrielles de chaque pays. La transition a ainsi toujours représenté une source de renouvellement, d'innovation et de nouvelles opportunités économiques, notamment pour les territoires.

En raison des prises de conscience autour des enjeux climatiques, environnementaux et sociaux, de nombreux pays se sont engagés dans une transition énergétique

(1) SIEFFERLE R. P. (1992), *Der unterirdische Wald: Energiekrise und industrielle Revolution*, Munich, C.H. Beck, 282 p.

(2) BORDES J.-L. (2009), « *Les barrages en France du XVIII^e à la fin du XX^e siècle : histoire, évolution technique et transmission du savoir* », Pour mémoire, n°9, hiver, pp. 70-120.

FILIÈRES	SITUATION FIN 2016 (EN MW)	OBJECTIFS SER			PART DANS LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ EN 2030
		2023 (EN MW)	2028 (EN MW)	2030 (EN MW)	
BIOGAZ	395	560	630	650	0,9%
BOIS ÉNERGIE	590	790	1040	1100	1,5%
ÉOLIEN EN MER	-	3 000	13 500	18 000	9%
ÉNERGIES MARINES	-	-	1 000	1 000	0,7%
ÉOLIEN TERRESTRE	11 700	25 000	36 000	40 000	16%
GÉOTHERMIE	1,5	8	53	53	<0,001%
HYDROÉLECTRICITÉ	25 500	26 500	27 200	27 200	16%
SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE	7 134	21 000	42 000	52 000	9,7%
SOLAIRE THERMODYNAMIQUE	-	50	100	200	0,07%
PART DANS LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ EN 2030					54%
RAPPEL DE L'OBJECTIF 2030 DE LA LOI					40%

Source : SER.

avec un recours accru aux énergies renouvelables, en particulier dans le secteur de l'électricité. Ainsi, les projections de l'Agence internationale de l'énergie⁽³⁾ indiquent qu'à l'horizon 2040, près de 60 % des nouvelles capacités installées dans le monde seront d'origine renouvelable et que les énergies renouvelables deviendront, à l'échelle globale, la plus importante source de production d'électricité dès 2030.

En France, la réflexion est également alimentée par les questions relatives à l'avenir et au remplacement du parc nucléaire actuel, construit dans les années 1970 pour une durée de vie d'environ quarante ans. Dans le cadre de la loi de transition énergétique pour la croissance verte, la France s'est fixé un objectif de développement des énergies renouvelables de 32 % de la consommation énergétique et de 40 % de la production d'électricité en 2030.

La place centrale des énergies renouvelables dans le futur mix électrique étant inscrite dans la loi, se pose à présent la question des implications et du rythme de leur développement. En d'autres termes, les objectifs structurants étant fixés, il convient à présent de détailler le chemin à emprunter pour y parvenir. En ce sens, la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) est décisive pour poser les bases du nouveau modèle énergétique français à condition qu'elle fixe les étapes intermédiaires et les ambitions pour l'ensemble des filières afin d'atteindre les objectifs 2030.

Le développement des énergies renouvelables électriques : rythme et potentiel

Dans le cadre de la révision de la PPE, le SER a proposé en décembre 2017 des objectifs de développement par filière à différentes échéances, établis en concertation avec ses adhérents⁽⁴⁾.

Ce travail est réalisé selon une double contrainte : celle du gisement disponible et celle de la faisabilité technique, selon les délais indiqués par les entreprises. Il met en lumière le fait qu'il est parfaitement possible d'atteindre près de 54 % de production d'électricité issue d'énergies renouvelables en 2030 et donc de dépasser l'objectif de 40 % à la même échéance prévu par la loi.

Cependant, les tendances actuelles montrent que des efforts complémentaires sont nécessaires pour permettre d'atteindre les objectifs fixés. Quelles que soient les filières, le constat dressé par le SER est identique : si les objectifs de puissance installée fixés pour 2018 sont en voie d'être atteints, le rythme de développement actuel reste cependant insuffisant pour atteindre les objectifs 2023 (scénario bas) de la PPE⁽⁵⁾, et ce, malgré les évolutions importantes qui ont eu lieu ces dernières années.

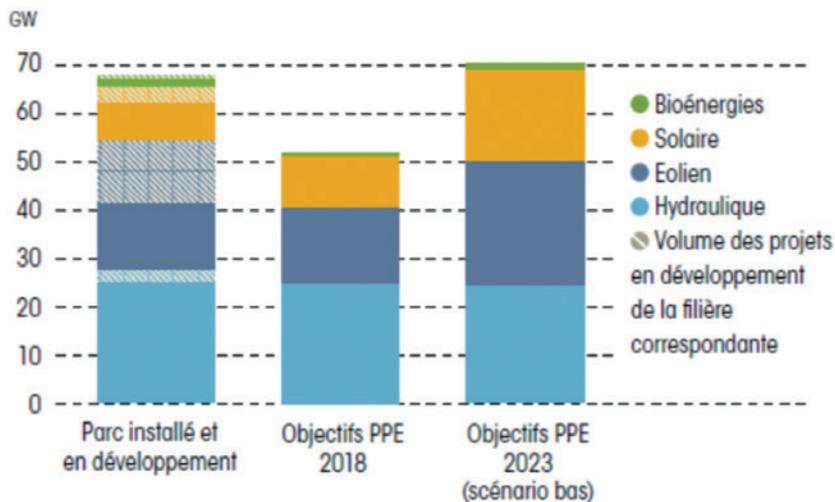
Toutes filières d'énergies renouvelables électriques confondues, la France a réalisé en 2017 les deux tiers de l'objectif fixé pour 2020. Afin d'atteindre cet objectif et de se mettre sur la bonne trajectoire pour atteindre l'objectif de 2030 soit 40 % de production d'électricité renouvelable, il convient de planifier dans la prochaine PPE davantage de capacités de production. Ces objectifs doivent être accompagnés d'une planification cohérente du développement des réseaux électriques, notamment au sein des Schémas régionaux de raccordement au réseau des énergies renouvelables (S3REnR)⁽⁶⁾.

(3) AIE (2017), "World Energy Outlook, scénario 'New Policies'".

(4) Syndicat des énergies renouvelables (2018), « Révision de la programmation pluriannuelle de l'énergie, les scénarios du SER pour construire le nouveau modèle énergétique français ». Ce scénario a depuis été complété pour préciser la trajectoire pour l'hydrolien, avec un premier objectif de 100 MW installés d'ici à 2028.

(5) Décret n°2016-1442 du 27 octobre 2016 relatif à la programmation pluriannuelle de l'énergie.

Puissance installée et projets en développement au 30 juin 2018, objectifs PPE 2018 et 2023



Source : Panorama de l'électricité renouvelable au 30 juin 2018 (RTE-SER-Enedis-ADEeF).

Quels impacts sur le système électrique ?

Il a été montré que le développement des énergies renouvelables électriques est planifié et encadré, ce qui doit permettre aux gestionnaires de réseaux, en charge du pilotage et de la sécurité du système électrique, d'anticiper l'intégration de nouvelles capacités de production renouvelables⁽⁷⁾.

L'intégration au réseau de productions issues d'éoliennes et de panneaux solaires nécessite une évolution du système électrique pour tendre vers plus de flexibilité. S'il est aisé d'anticiper la production éolienne et solaire, l'enjeu est plutôt de la lisser. Pour ce faire, un des outils les plus prometteurs est le foisonnement.

La France compte trois grands régimes de vents : méditerranéen, atlantique et continental. Ces régimes étant indépendants les uns des autres, il est rare qu'ils soient à l'arrêt simultanément. Suivant la même logique, une répartition équilibrée des unités de production solaires sur le territoire est une bonne option. Puisque, comme le montre RTE à l'échelle nationale, il n'y a pas de corrélation entre les différents régimes de vents, et les différentes productions photovoltaïques au cours de la journée « sont lissées par effet de foisonnement⁽⁸⁾ ».

On observe donc une complémentarité forte entre le solaire et l'éolien, mais également entre les territoires. Cette logique peut être poussée au-delà de nos frontières. C'est le travail entrepris par EDF R&D⁽⁹⁾ en étudiant trente années de données météorologiques à travers l'Europe qui témoignent d'un foisonnement croissant avec la zone géographique observée. Un travail similaire a été mené par l'Institut Fraunhofer pour Agora Energiewende⁽¹⁰⁾, pour qui le foisonnement des productions renouvelables est l'un des principaux outils de flexibilité au niveau européen pour accompagner, d'ici à 2030, le développement des énergies renouvelables.

OBJECTIFS NATIONAUX 2018 ATTEINTS À 96%

L'illustration graphique de la page suivante représente la production éolienne à différentes échelles géographiques de plus en plus étendues (PLEF : *Pentalateral Energy Forum*). On observe aisément qu'à chaque agrandissement du champ d'observation, les variations de production sont atténuées, facilitant ainsi leur intégration aux réseaux interconnectés.

Outre l'effet de foisonnement permis par les réseaux électriques, d'autres outils de flexibilité existent : pilotage de la demande, stockage et ajustement de la production via des actifs flexibles. Sur ce dernier point, la France dispose d'un atout majeur : l'hydroélectricité. Le parc hydroélectrique français (25,5 GW aujourd'hui) est en effet capable de répondre à l'ensemble des types de besoins de flexibilité futurs du système électrique, et notamment la flexibilité de court terme qui ira croissant. Dans le scénario Ampère développé par RTE, qui vise 50 % d'EnR en 2035, les besoins en flexibilité journalière augmentent en effet

(6) Les S3REnR définissent et font la distinction entre les travaux de renforcement d'ouvrage qui sont à la charge des gestionnaires de réseau, et les travaux de création d'ouvrages qui sont à la charge des producteurs.

(7) Lorsque l'on parle d'intégration des énergies renouvelables sur le réseau, il leur est souvent reproché un fonctionnement intermittent. Il semble utile de préciser que le terme d'intermittence est mal choisi. Il évoque un fonctionnement aléatoire, de type « tout ou rien », qui peut caractériser chaque source de production suite à un arrêt pour maintenance ou pour panne, par exemple. Pour être juste, il convient de parler, comme le fait RTE par exemple, de sources de production variables, car il s'agit plutôt d'une variation continue, et largement prévisible, entre puissance nulle et pleine puissance.

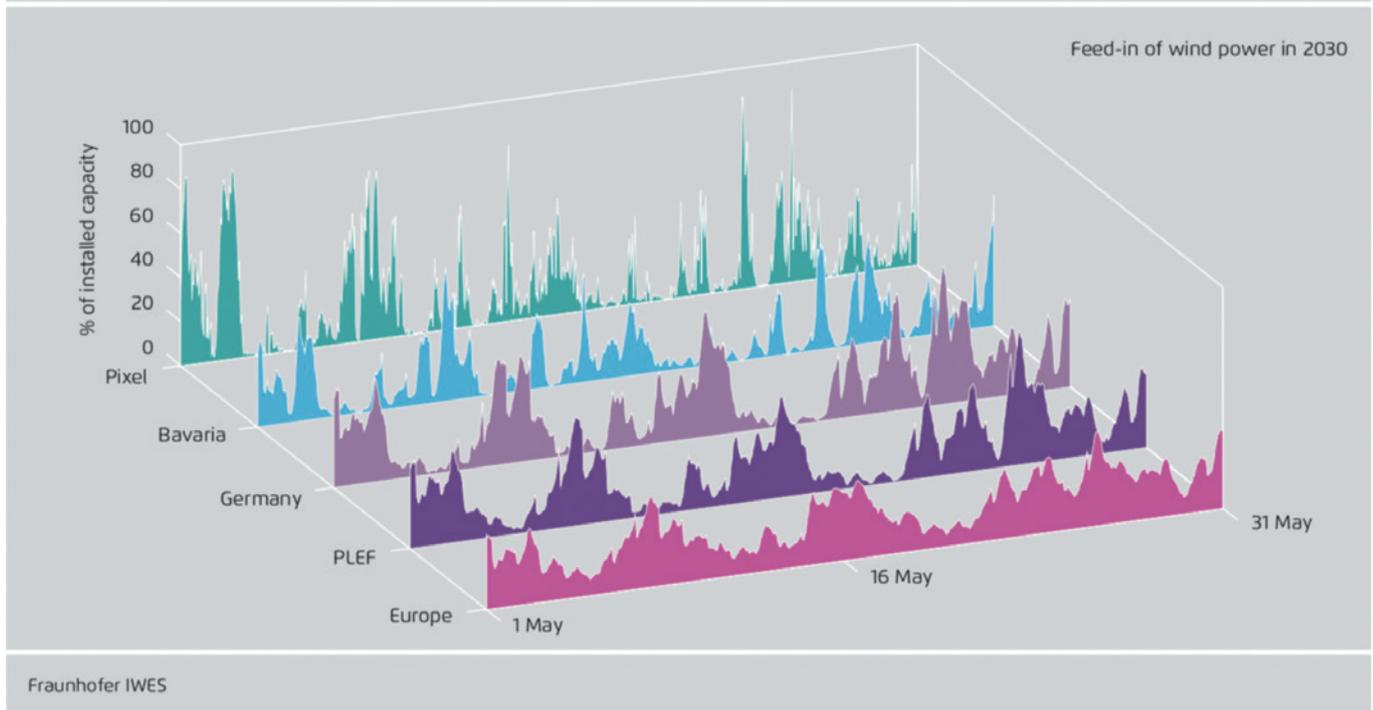
(8) RTE-SER-ERDF-ADEeF (2015), « Panorama de l'électricité renouvelable 2014 ».

(9) EDF R&D (2015), « Technical and economic analysis of the European electricity system with 64% RES ».

(10) Fraunhofer IWES (2015), « The European Power System in 2030: Flexibility Challenges and Integration Benefits. An Analysis with a Focus on the Pentalateral Energy Forum Region », pour le compte d'Agora Energiewende.

Time series of onshore wind power generation in a simulation for May 2030 at different levels of aggregation (as a percentage of the installed capacity). One pixel is equivalent to an area of 2.8 x 2.8 km.

Figure 7



Source : Fraunhofer IWES.

de 100 %, et de 110 % pour la flexibilité hebdomadaire sur le même horizon de temps. Dans ce contexte, la capacité de modulation de l'hydroélectricité s'accompagne d'une capacité de stockage qui permettra de répondre à ces différents types de besoins, notamment au travers de l'optimisation encore accrue des éclusées.

À l'horizon 2050, les travaux de l'ADEME ⁽¹¹⁾ montrent que plusieurs mix électriques sont techniquement possibles pour satisfaire la demande chaque heure de l'année avec 80 ou 100 % de renouvelables. Ces scénarios montrent que les besoins de stockage restent d'ailleurs relativement modestes (15 GW) jusqu'à un taux de pénétration de 80 % d'électricité renouvelable, avec des besoins de stockage intersaisonnier faibles.

À quel prix ?

L'équilibre du réseau électrique suite à l'augmentation de la part des énergies renouvelables injectées ne soulève pas de difficulté particulière, même si quelques adaptations sont nécessaires.

Se pose ensuite la question des implications économiques de la transition énergétique. Il est nécessaire de souligner les efforts importants réalisés par les professionnels du secteur afin de diminuer les coûts des installations de production d'énergies renouvelables. Depuis 2010, on estime que le prix des installations solaires photovoltaïques a diminué de plus de 70 % et celui de l'éolien de près de 20 % ⁽¹²⁾.

Ainsi, les résultats des appels d'offres en France se rapprochent des prix observés sur les marchés de gros. Ci-

tons à titre d'exemple le résultat de la quatrième période d'appels d'offres solaires pour laquelle le prix moyen des projets retenus était de 52,1 €/MWh pour des installations au sol de plus de 5 MW, la première période de l'appel d'offres éolien avait, quant à elle, permis de retenir des projets avec un prix moyen de 65,4 €/MWh. S'agissant de l'éolien en mer, le prochain appel d'offres relatif à l'implantation d'un parc au large de Dunkerque devrait être l'occasion de constater des prix proches de ceux observés en Europe du Nord. Ces résultats sont le fruit des politiques publiques de développement de ces filières qui ont permis d'accompagner efficacement ces technologies sur leur courbe de décroissance des coûts.

Cette efficacité des politiques publiques doit nous inciter à poursuivre les efforts sur des technologies qui sont à des stades de développement moins avancés, comme l'éolien flottant, et disposent d'un important potentiel de baisse de leurs coûts.

Cependant, réduire la question économique des énergies renouvelables à celle du coût ne serait pas pertinent au regard des enjeux auxquels la transition énergétique répond. Il convient de s'interroger également sur ses implications macroéconomiques. À ce sujet, une étude réalisée par l'ADEME en 2017 ⁽¹³⁾ montre qu'un mix électrique composé à 47 % d'EnR en 2030 permettrait de gagner 1,9 point de PIB par rapport au scénario de référence

(11) ADEME (2015), « Un mix électrique 100 % renouvelable ? Analyses et optimisations ».

(12) IRENA (2017), Renewable Power Generation Costs in 2017.

et 3,1 points à horizon 2050. L'étude attribue ce gain de croissance à l'amélioration de l'emploi et à celle de la balance commerciale.

Car les énergies renouvelables créent de l'emploi local et permettent de faire émerger des filières industrielles compétitives à l'étranger. Le secteur compte aujourd'hui plus de 100 000 actifs et cette croissance devrait se poursuivre. L'ADEME estime qu'en 2030, ce seront 329 000 personnes supplémentaires qui travailleront dans le secteur et 825 000 postes qui seront créés à horizon 2050, tendance confirmée par la Commission européenne⁽¹⁴⁾.

Perspectives

Le développement des énergies renouvelables électriques s'inscrit dans une vision stratégique bâtie sur un cadre réglementaire précis pour 2030, permettant de planifier l'intégration des unités de production dans les territoires et dans les réseaux. Ce développement ne soulève pas de problème sans réponse, notamment en matière d'intégration des énergies renouvelables au réseau qui peut se reposer sur une palette de solutions déjà existantes. Par ailleurs, l'étude économique de la transition énergétique montre, d'une part, une baisse importante des coûts de production et, d'autre part, un impact macroéconomique très positif du développement des filières renouvelables sur le territoire.

Le récent débat sur la PPE (G400⁽¹⁵⁾), le développement des offres d'autoconsommation pour les particuliers ou l'appétence croissante des entreprises pour les *corporate PPAs* sont autant d'indicateurs qui montrent que les citoyens, comme les entreprises, sont prêts à entrer dans une nouvelle phase de la transition énergétique de notre pays.

Les nombreux progrès présentés dans cet article l'ont été grâce à des cadres réglementaires offrant suffisamment de visibilité aux acteurs pour développer des filières compétitives. Il est à présent indispensable de prolonger l'effort engagé et de maximiser le potentiel des énergies renouvelables en travaillant au développement de toutes les filières, sur l'ensemble du territoire. Il conviendra également de porter une attention particulière aux secteurs de la chaleur et des transports, domaines à forts enjeux climatiques et économiques, dans lesquels les énergies renouvelables ont un rôle majeur à jouer, mais qui sont trop souvent oubliées, comme l'a rappelé très récemment l'Agence internationale de l'énergie⁽¹⁶⁾.

Bibliographie

SIEFERLE R. P. (1992), *Der unterirdische Wald: Energiekrise und industrielle Revolution*, Munich, C. H. Beck, 282 p.

BORDES J.-L. (2009), « Les barrages en France du XVIII^e à la fin du XX^e siècle : histoire, évolution technique et transmission du savoir », *Pour mémoire*, n°9, hiver, pp. 70-120.

AIE (2017), "World Energy Outlook, scénario 'New Policies'".

Syndicat des énergies renouvelables (2018), « Révision de la programmation pluriannuelle de l'énergie, les scénarios du SER pour construire le nouveau modèle énergétique français ».

RTE-SER-ERDF-ADEEF (2015), « Panorama de l'électricité renouvelable 2014 ».

EDF R&D (2015), "Technical and economic analysis of the European electricity system with 64% RES".

Fraunhofer IWES (2015), "The European Power System in 2030: Flexibility Challenges and Integration Benefits. An Analysis with a Focus on the Pentalateral Energy Forum Region", pour le compte d'Agora Energiewende.

ADEME (2015), « Un mix électrique 100 % renouvelable ? Analyses et optimisations ».

IRENA (2017), *Renewable Power Generation Costs in 2017*.

ADEME (2017), « Contribution à l'élaboration des visions énergétiques 2035-2050 ».

DUSCHA V *et al.* (2014), "Employment and growth effects of sustainable energies in the European Union", final report, project funded by the European Commission, DG Energy.

AIE (2018), *Renewables 2018*.

(13) ADEME (2017), « Contribution à l'élaboration des visions énergétiques 2035-2050 ».

(14) DUSCHA V *et al.* (2014), "Employment and growth effects of sustainable energies in the European Union", final report, project funded by the European Commission, DG Energy.

(15) <https://ppe.debatpublic.fr/>

(16) AIE (2018), *Renewables 2018*.