

Résumé de Transition énergétique et mix électrique : les énergies renouvelables peuvent-elles compenser une réduction du nucléaire ?

Dominique Grand, Christian Le Brun et Roland Vidil [1]

Alors que la production d'électricité par le soleil et le vent se fait sans émission notable de gaz à effet de serre, l'insertion de cette électricité dans le réseau peut accroître au total ces émissions. En effet, l'intermittence de la production éolienne et solaire, marquée par de brutales variations de la puissance électrique, doit être accommodée par des moyens additionnels de production en l'absence de moyens industriels de stockage d'électricité. Au total les émissions de gaz à effet de serre augmentent. L'article [1], résumé ici, présente une méthode qui permet d'évaluer cet impact ainsi que les investissements à réaliser. En l'appliquant à la situation française, on prévoit l'augmentation de gaz à effet de serre et un besoin d'investissements énorme qui conduit à un renchérissement du coût de l'électricité. Un résultat identique a été trouvé pour la situation allemande dans les publications [2].

La réflexion française sur la transition énergétique met en avant une réduction à 50% de la part du nucléaire dans la production d'électricité et une montée de la part des énergies renouvelables intermittentes : éolien et solaire. Cela est-il possible avec les solutions industrielles existantes, qui peuvent seules être mises en place à l'échéance de la dizaine d'années envisagée pour cette mutation?

Pour répondre à cette question, il faudrait connaître le fonctionnement du système de production et distribution d'électricité dans cette nouvelle configuration du mix électrique. On peut le prévoir grâce aux productions et consommation relevées en temps réel en 2012 données par RTE et représentées dans la figure 1. La consommation varie de façon saisonnière, hebdomadaire et journalière. La production totale d'électricité doit l'égaliser à tout instant, car l'électricité ne peut pas être stockée autrement que par les stations de pompage

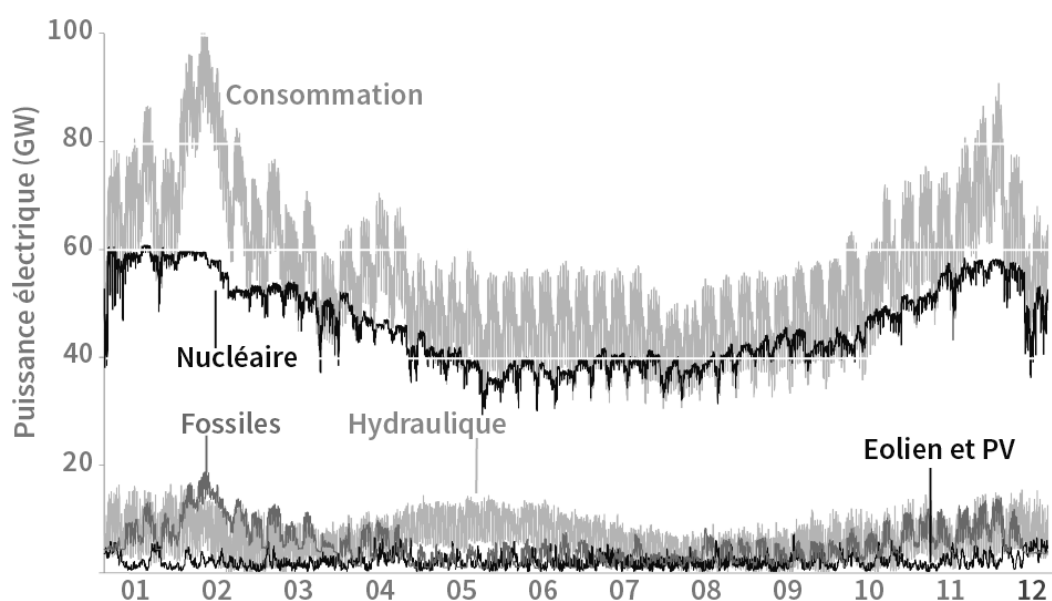


Figure 1 : Historique des puissances électriques en 2012

hydro-électriques (dites STEP dont l'apport est déjà compté dans la courbe hydraulique et dont le potentiel d'accroissement est faible). Pour arriver à cette égalité, les centrales sont sollicitées suivant leurs capacités à suivre des variations plus ou moins rapides de fonctionnement, le total de leurs productions devant toujours égaler la consommation.

L'éolien et le solaire PV, ajoutés dans une seule courbe, varient chacun de leur côté, au gré de la météorologie et de la rotation de la Terre, sans corrélation avec les besoins. Leur insertion avec priorité d'accès au réseau crée une nouvelle contrainte forte sur les autres modes de production : s'adapter à l'intermittence de ces énergies renouvelables pour qu'au final, le total des productions égale la consommation.

Tant que les EnRi (énergies renouvelables intermittentes : éolien et solaire) apportent une contribution faible, elles impactent peu le pilotage du réseau. Mais si leur part augmentait fortement, il en serait de même de leur impact. Pour évaluer cet impact, nous avons suivi une méthodologie développée par F. Wagner sur le cas de l'Allemagne [2]. Nous l'avons appliquée à une situation française définie avec les hypothèses suivantes. La consommation d'électricité transitant sur le réseau de transport d'électricité est supposée inchangée. La part du nucléaire est ramenée à 50% de la production et la part de l'hydroélectricité est inchangée. Quant aux énergies renouvelables intermittentes (EnRi), on porte leur production au niveau qui permet - quand on l'ajoute aux productions du nucléaire, réduit à 50%, et de l'hydroélectricité - de satisfaire la demande annuelle. Cette hypothèse doit réduire au minimum le recours aux combustibles fossiles et l'émission de CO₂. Elle demande de décupler les réalisations éoliennes et solaires de 2012. L'évolution annuelle de la production des EnRi serait alors la courbe de la figure 2, obtenue en multipliant par dix la courbe de la production de 2012.

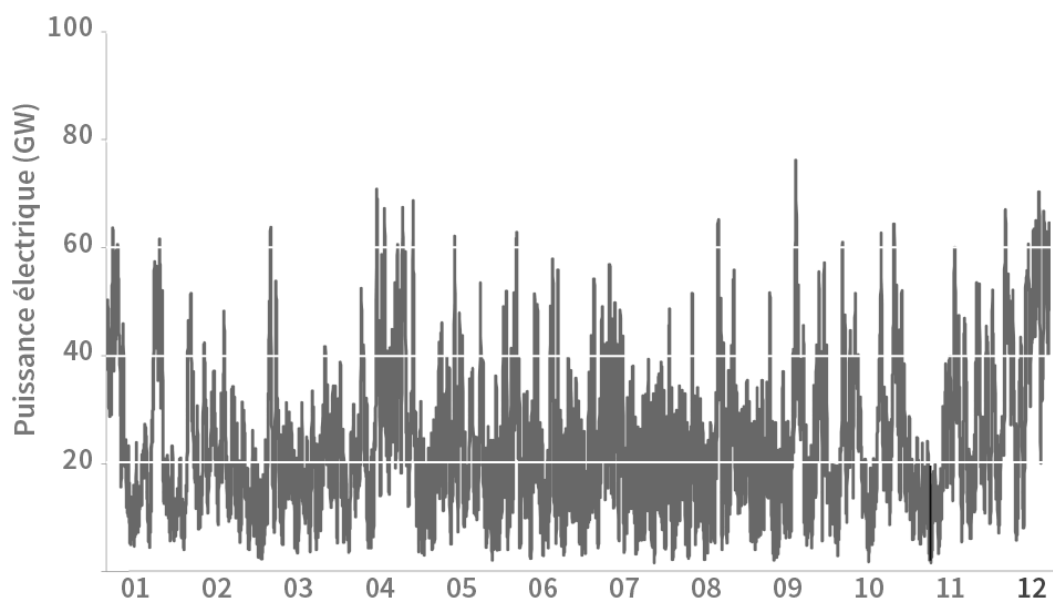


Figure 2 : Somme des productions éoliennes et PV décuplées

La courbe montre alors des variations très rapides et de forte amplitude allant de 20 à 40 GW (les plus grands barrages de France ou une tranche

nucléaire fournissent environ 1 GW). Pendant de nombreuses périodes, la production est très faible (moins de 10 GW pour plus de 100 GW de puissances installées).

Comment cette production intermittente pourrait-elle, en complément des productions nucléaire et hydraulique répondre à la demande de consommation? La réponse est apportée par l'examen des fonctions, dites monotones de puissance, données sur la figure 3. La monotone pour les EnRi est déduite simplement de la figure 2 en réorganisant les enregistrements de puissance dans un ordre allant des valeurs les plus élevées aux valeurs les plus faibles ou, dit autrement, en effectuant un tri par valeurs décroissantes : le maximum qui avait été produit au cours de l'année (en septembre - 09, suivant la figure 2) est porté à l'origine de l'axe horizontal puis la valeur suivante et ainsi de suite jusqu'à la fin.

La monotone de la production des EnRi est comparée à celle de la production nécessaire à la consommation, une fois les apports du nucléaire et de l'hydraulique pris en compte. Les deux courbes diffèrent nettement : la monotone des EnRi a une convexité marquée et décroît fortement; la monotone de la production à fournir est rectiligne et décroît modérément. Là où la monotone des EnRi est située au-dessus, la production est excédentaire; là où elle est située en dessous, la production est déficitaire.

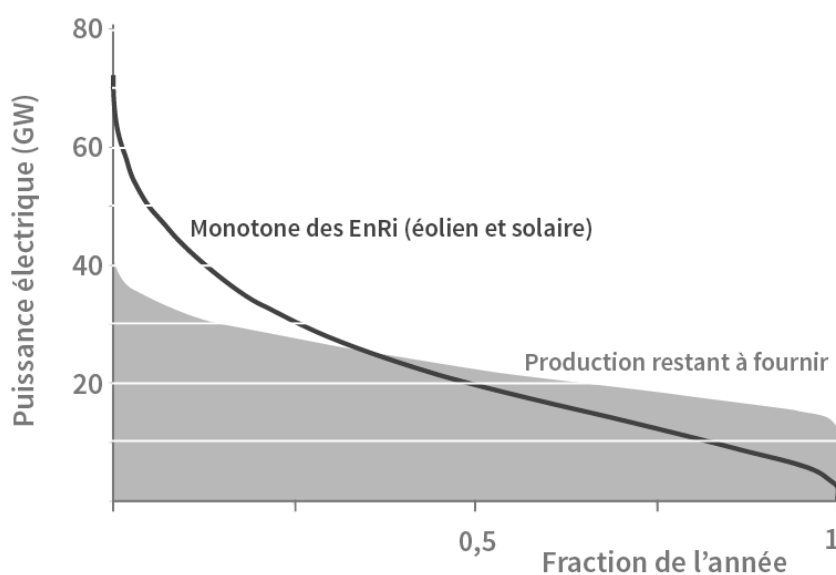


Figure 3 : Comparaison de la production des EnRi à la demande

D'après la figure 2, les alternances entre les deux situations de déficit ou d'excès sont rapides et de forte amplitude. Elles ne peuvent être gérées sans moyen de stockage industriel de grande capacité. Or seules les STEP assurent actuellement ce stockage (pour 3 à 4 GW) et tout nouveau système demanderait de 10 à 20 ans pour une industrialisation au niveau requis. En l'absence de moyen de stockage nouveau de l'électricité, le développement des EnRi a deux conséquences : la construction de centrales à combustibles fossiles capables de variations rapides qui fournissent l'appoint en période de sous-production et la

formation d'un surplus qui ne peut pas être stocké dans les périodes de surproduction.

L'étude précise ces deux effets de manque et de surplus et en donne la grandeur. Elle quantifie aussi les investissements en moyens techniques et en terrains nécessaires pour installer les EnRi, à partir de données établies pour des parcs existants ou projetés, et fait de même pour les centrales à combustibles fossiles.

L'hypothèse initiale que les EnRi couvrent la totalité du besoin restant - après déduction du nucléaire et de l'hydraulique - conduit à des investissements très élevés et à la création d'un surplus d'électricité sans emploi. Il est recherché une solution moins coûteuse obtenue en réduisant la production des EnRi et en augmentant celle combustibles fossiles. Il s'agit de dégager une voie médiane entre deux exigences contradictoires : limitation des émissions de CO₂ et limitation des coûts (argent et terrains).

Le tableau suivant en présente le résultat pour des parts d'EnRi décroissant de 100% à 20% de la production restant à assurer. Les chiffrages ne portent que sur les moyens de production supplémentaires sans chiffrage du réseau et du maintien à niveau en puissance et en sûreté du parc nucléaire.

Part d'EnRi	20%	40%	60%	80%	100%
Surface km ²	1932	3849	5765	7832	9777
Coût G€	114	178	242	283	336
CO ₂ (Mt/an)	83	63	46	35	27
Surplus moyen (GW)	0	2,7	5,5	9,4	13,0
Durée du surplus (% annuel)	0	2%	15%	30%	43%

L'étude montre que, dans l'état actuel des techniques, la part des énergies renouvelables dans le mix électrique ne peut pas dépasser 30 à 40% de l'électricité à fournir sans entraîner des surproductions ingérables et des investissements impossibles à financer et à amortir. Les limites obtenues par F. Wagner pour l'Allemagne pour éviter des surplus sont du même ordre de grandeur. Dans le cas de 40% de renouvelables, l'émission annuelle de CO₂ de la France dans la production électrique ferait plus que doubler par rapport à celle de 2012 (29,5), ce qui nécessitera d'agir ailleurs (transport, logement ou part du nucléaire) pour abaisser les émissions de CO₂.

Pour aller plus loin :

[1] D. Grand, C. Le Brun, R. Vidil, *Transition énergétique et mix électrique : les énergies renouvelables peuvent-elles compenser une réduction du nucléaire ?* Revue de l'Energie, 619, Mai-Juin 2014.

[2] F. Wagner, *Feature of an electricity supply system based on variable input*, Max Planck Institute for Plasma Physics IPP 18/1 (2012).

F. Wagner, *Electricity by intermittent sources : An analysis based on the German situation 2012*. Eur. Phys. J. Plus **129** : 20 (2014)

[3] <http://realisticenergy.info> : des informations sur le mix énergétique et électrique européen ainsi que sur les conditions matérielles, scientifiques et techniques de leur réalisation.