



**HAL**  
open science

## Une électricité 100 % renouvelable, est-ce ruineux ?

Philippe Quirion

► **To cite this version:**

Philippe Quirion. Une électricité 100 % renouvelable, est-ce ruineux ?. Philippe Boursier, Clémence Guimont. Écologies - Le vivant et le social, La Découverte, 2023, 9782348076893. hal-04469217

**HAL Id: hal-04469217**

**<https://hal.science/hal-04469217>**

Submitted on 20 Feb 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Une électricité 100 % renouvelable, est-ce ruineux ?

Philippe Quirion (économiste, CNRS, Centre international de recherche sur l'environnement et le développement)

« Moi, j'ai besoin du nucléaire. Si je ferme le nucléaire demain, qu'est-ce que je fais ? Le nucléaire est une énergie décarbonée non intermittente. Je ne peux pas le remplacer du jour au lendemain par du renouvelable. Ceux qui disent ça, c'est faux. » Emmanuel Macron le 4 décembre 2020 (interview avec Brut).

**En France, la plupart des personnalités politiques et des experts de l'énergie qui s'expriment dans les médias tentent de nous convaincre que produire de l'électricité seulement à partir d'énergies renouvelables, sans nucléaire ni énergies fossiles, aurait un coût prohibitif. Le fait que les énergies renouvelables ne puissent pas être produites en continu obligerait à investir dans des installations de stockage d'énergie très coûteuses, pour satisfaire la consommation d'électricité en l'absence de vent et de soleil. Ces affirmations sont-elles cohérentes avec les conclusions des travaux des chercheurs et des institutions publiques ?**

Comme la plupart des pays développés, la France s'est engagée à atteindre la « neutralité carbone » en 2050. À partir de cette date, elle ne devra plus émettre davantage de gaz à effet de serre que ce que stockent ses forêts et ses sols. Cela implique de diviser au moins par six ses émissions de gaz à effet de serre – un défi de taille.

Si éliminer complètement les émissions de gaz à effet de serre est très difficile dans certains secteurs comme l'agriculture, cela est possible en ce qui concerne l'électricité grâce à plusieurs technologies : énergies renouvelables, nucléaire ou centrales thermiques avec captage et stockage géologique du CO<sub>2</sub>. Notons toutefois que cette dernière, trop coûteuse, est aujourd'hui presque abandonnée en Europe. Reste donc à déterminer la place relative des énergies renouvelables et du nucléaire, qui constitue en France un sujet particulièrement controversé. De nombreux responsables politiques français, comme Emmanuel Macron ou François Bayrou, ont ainsi déclaré qu'il serait impossible ou ruineux de fonder un système électrique uniquement sur les énergies renouvelables. Pourtant, des travaux très complets, émanant de chercheurs ou d'agences publiques (l'Ademe et RTE), ont abordé la question et leurs conclusions vont dans un tout autre sens.

L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) est un établissement public créé en 1992 par la fusion de trois agences publiques consacrées à la qualité de l'air, à la maîtrise de l'énergie et aux déchets – ses principaux domaines d'intervention actuels. Elle est sous la tutelle des ministères chargés de la Recherche et de l'Innovation, de la Transition écologique et solidaire, et de l'Enseignement supérieur. Ses actions incluent le financement de la recherche et de projets, la production d'expertises, la formation, l'information, la communication et la sensibilisation.

Réseau de transport de l'électricité (RTE) est responsable du réseau public de transport d'électricité haute tension en France métropolitaine. C'est aujourd'hui une filiale d'EDF à 50,1 %, le reste appartenant à un consortium associant la Caisse des dépôts et consignations et CNP Assurances. RTE assure une mission de service public, consistant à assurer l'accès à une alimentation électrique économique et sûre, en limitant les impacts sur l'environnement.

### Comment gérer les périodes sans vent et sans soleil ?

Les enfonceurs de portes ouvertes adorent le marteler : le soleil ne brille pas la nuit et le vent ne souffle pas en continu. Comment, alors, produire sans interruption suffisamment d'électricité, en l'absence de centrales nucléaires ou de centrales thermiques ? Il est possible, et même nécessaire, de mobiliser différentes solutions.

Premièrement, les centrales thermiques alimentées par du biogaz ainsi qu'une partie des centrales hydroélectriques sont pilotables, c'est-à-dire qu'elles peuvent être démarrées et arrêtées en fonction des besoins. Deuxièmement, éolien et solaire sont complémentaires sur l'ensemble de l'année puisqu'en Europe, le vent souffle davantage en hiver tandis que le soleil brille davantage en été. Troisièmement, plusieurs techniques permettent de stocker de l'énergie issue des renouvelables pour un coût de plus en plus faible :

— Les stations de transfert d'énergie par pompage combinent deux réservoirs d'eau situés à des altitudes différentes. En faisant descendre l'eau par gravité depuis le réservoir supérieur jusqu'à une turbine, on produit de l'électricité. Inversement, on peut stocker de l'énergie en pompant l'eau depuis le réservoir inférieur jusqu'au réservoir supérieur.

— Les batteries stockent de l'énergie sous forme chimique et permettent, en particulier, de bénéficier de l'électricité excédentaire produite par les panneaux solaires autour de midi en été, afin de l'utiliser en matinée et en soirée lorsque cette production est faible et la consommation élevée. Si le coût des batteries par unité d'énergie reste élevé, il est possible d'utiliser celles des véhicules électriques garés et connectés au réseau plutôt que d'investir dans d'autres, utilisées uniquement pour le réseau électrique.

— Le *power-to-gas* permet de stocker de l'énergie à plus long terme (plusieurs mois). Il consiste à produire de l'hydrogène à partir d'électricité (électrolyse) lorsque l'abondance de vent et de soleil fournit un surplus par rapport à la demande, à le stocker (souvent dans des réservoirs souterrains) et à l'utiliser dans des centrales thermiques ou des piles à combustibles lorsque les éoliennes et les panneaux solaires ne peuvent satisfaire à eux seuls la demande d'électricité.

Des travaux de recherche<sup>1</sup> ont montré que le coût de ces solutions de stockage serait modéré, même dans un système électrique 100 % renouvelable : il représenterait environ 15 % du coût global de ce système.

### **Peut-on installer suffisamment d'éoliennes et de panneaux solaires ?**

De nombreux travaux<sup>2</sup> ont quantifié le potentiel des énergies éolienne et solaire en France. Pour l'énergie solaire, le potentiel d'installation est supérieur à la quantité nécessaire, même dans le scénario de développement le plus ambitieux. Certes, l'énergie solaire nécessite nettement plus d'espace que les centrales thermiques pour une même production d'énergie, mais les infrastructures pour le solaire permettent de combiner plusieurs utilisations. D'une part, les logements, bâtiments tertiaires, industriels et agricoles, parkings, friches industrielles, etc., peuvent être recouverts de panneaux ; d'autre part, de nombreuses activités agricoles peuvent accueillir ce mode de production, que ce soit l'élevage (les panneaux offrant un ombrage aux animaux) ou les cultures (l'agrivoltaïsme, un domaine en plein développement, car les panneaux peuvent réduire l'évaporation ou limiter les gels printaniers).

Soulignons que l'énergie solaire nécessite beaucoup moins de surface que la production d'agrocarburants ; faire rouler une voiture électrique à partir d'électricité solaire requiert à peu près cent fois moins de surface au sol qu'une voiture à moteur thermique. Pourtant, la France mobilise aujourd'hui l'équivalent de la surface d'un département pour cultiver (à grands renforts d'engrais et de pesticides) betteraves à sucre, blé et colza pour produire des agrocarburants.

Le potentiel de l'éolien installé sur terre est également largement suffisant, même en excluant les zones peu ventées et celles où cela pourrait avoir des impacts négatifs sur la biodiversité, comme les zones intégrées dans le réseau européen Natura 2000. Pourtant, cela ne

---

<sup>1</sup> Behrang Shirizadeh, Quentin Perrier et Philippe Quirion, « How sensitive are optimal fully renewable power systems to technology cost uncertainty? », *Energy Journal*, vol. 43, n° 1, 2020.

<sup>2</sup> Marie-Alix Dupré la Tour, « Renewable energy potential in Europe. A systematic review », document de travail, Cired, 2022, fournit une synthèse de ces travaux.

sera sans doute pas facile, du fait de la lenteur des procédures d'autorisation, des multiples zones d'exclusions instaurées par les pouvoirs publics et des divers mouvements d'opposition. Cependant, il importe de comprendre que l'obstacle est ici politique et non technique ou économique.

Concernant l'éolien maritime, le potentiel est déjà important si l'on se limite aux zones peu profondes, à même de recevoir des éoliennes posées au fond de la mer et il devient énorme si on prend en compte la possibilité d'installer des éoliennes flottantes. L'utilisation de cette technologie est récente, puisque le premier parc de taille industrielle (Hywind, en Ecosse) n'est en fonctionnement que depuis 2017, mais elle se développe rapidement et n'est limitée que par le coût de la connexion au réseau électrique à terre.

### **Cela coûterait-il moins cher de lancer un nouveau programme nucléaire ?**

Les centrales nucléaires actuelles devront être arrêtées au plus tard en 2060 pour ne pas prolonger leur fonctionnement au-delà de soixante ans, durée considérée comme le maximum raisonnable dans les scénarios RTE. Elles devront donc être remplacées, soit uniquement par des énergies renouvelables, soit, en partie, par de nouvelles centrales nucléaires.

EDF propose de lancer en France un programme de construction de centrales nucléaires de type « EPR2 », évolution des centrales de type « EPR » dont six sont en construction ou en fonctionnement (à Olkiluoto en Finlande, à Flamanville en France, à Hinkley Point en Angleterre et à Taishan en Chine). Tous les chantiers en Europe ont connu des délais énormes. À Flamanville, la durée prévisionnelle du chantier est passée de cinq à seize ans et le coût de construction de 3,7 milliards d'euros<sup>3</sup> à 12,7 milliards – 19 milliards en ajoutant le coût du financement (la rémunération du capital qui doit être engagé longtemps avant que la centrale commence à produire). À Olkiluoto comme à Hinkley Point, le coût de construction de ces réacteurs est aujourd'hui estimé à 12 ou 13 milliards d'euros par unité. Aux États-Unis, deux réacteurs nucléaires sont en construction. Quoique d'un modèle différent, ils présentent les mêmes dérives puisque la facture a plus que doublé : 30 milliards de dollars contre 14 initialement prévus<sup>4</sup>.

Face à ces dérives, EDF répond que les centrales de type « EPR2 » seront moins coûteuses car elles tireront partie de l'expérience accumulée. Pourtant, l'entreprise a proposé au gouvernement britannique de construire deux nouveaux réacteurs EPR (à Sizewell) pour un coût quasiment identique à celui des précédents : 10 milliards de livres par réacteur, soit 12 milliards d'euros. Si le projet est retenu, il s'agira pourtant des septième et huitième réacteurs de ce type. Ce constat n'empêche pas le gouvernement français de miser sur une baisse de coût de 40 % entre les premiers EPR et les EPR2 qui seraient mis en chantier au milieu du siècle.

À l'inverse, le coût des principales technologies nécessaires dans un système électrique uniquement renouvelable – éolien, solaire, batteries, électrolyse – a massivement baissé ces dernières années. Selon l'Agence internationale des énergies renouvelables (Irena), le coût du solaire photovoltaïque a diminué de 85 % entre 2010 et 2020, celui de l'éolien terrestre de 56 %, celui de l'éolien maritime de 48 %.

Deux agences publiques (RTE et l'Ademe) et de nombreux chercheurs ont comparé le coût, pour la France, d'un système électrique 100 % renouvelable avec celui d'un système qui combine énergies renouvelables et nouvelles centrales nucléaires, dans des proportions variées. À l'horizon 2050 ou 2060, l'incertitude est importante sur le coût, le potentiel d'installation et les performances des différentes technologies, d'où des différences dans les résultats de ces travaux. Néanmoins, tous concluent que l'écart de coût entre ces options est modéré. L'étude de RTE

---

<sup>3</sup> 3,3 milliards d'euros en 2012, soit 3,7 en prenant en compte la hausse du niveau général des prix depuis cette date.

<sup>4</sup> Kristi E. Swartz, « Plant Vogtle hits new delays; costs surge near \$30B », *E&E News*, mis en ligne le 18 février 2022.

fournit la conclusion la plus favorable à un nouveau programme nucléaire, qui serait environ 15 % moins coûteux qu'un système entièrement renouvelable. Selon l'Ademe, en revanche, ce programme présenterait un coût équivalent à un système entièrement renouvelable. Enfin, mon collègue Behrang Shirizadeh et moi avons conclu qu'il faudrait diviser par deux le coût de construction des nouvelles centrales nucléaires pour qu'il soit économiquement intéressant de ne pas recourir uniquement aux énergies renouvelables<sup>5</sup>.

### **La relance du nucléaire en France à rebours du reste du monde ?**

Emmanuel Macron a annoncé le 10 février 2022 un vaste plan de relance du nucléaire, avec la construction de six à quatorze réacteurs d'ici 2050, et un soutien au développement de petits réacteurs modulaires. Ce plan est proche du scénario N03, le plus nucléarisé parmi les six étudiés par RTE, qui prévoit que 50 % de la production électrique sera d'origine nucléaire en 2050 – ce qui irait à l'encontre de la tendance mondiale.

En effet, quelques pays, en particulier la Chine, développent le nucléaire, mais la part de cette technologie dans la production d'électricité diminue régulièrement : malgré la prétendue « renaissance nucléaire » annoncée régulièrement par cette industrie, elle est passée de 18 % en 1995 à 10 % en 2020. Des centrales ont certes été mises en service, mais d'autres ont été arrêtées, certaines (en particulier au Japon et en Allemagne) à la suite de l'accident de Fukushima-Daiichi en 2011, d'autres (en particulier aux États-Unis) parce que la poursuite de leur exploitation nécessitait des investissements que les exploitants ont jugés trop coûteux. Dans le même temps, la part des énergies renouvelables est passée de 19 % à 26 %.

À l'avenir, cette tendance devrait se poursuivre. Dans le rapport spécial « 1,5°C » du Groupement international d'experts pour le climat (Giec), on trouve une synthèse des scénarios climatiques mondiaux compatibles avec un réchauffement mondial limité à 1,5°C (avec ou sans dépassement temporaire de cette limite). La part des énergies renouvelables dans la production d'électricité atteindrait 59 % à 97 % en 2050, contre 9 % pour le nucléaire dans le scénario médian. Quant à l'Agence internationale de l'énergie, longtemps très critique sur le développement des énergies renouvelables, elle projette, dans son scénario « Net zero by 2050 » une part de 90 % de renouvelables en 2050 contre moins de 10 % pour le nucléaire.

### **Et maintenant ?**

A l'horizon 2050, il est techniquement possible de satisfaire la consommation d'électricité anticipée en France, seulement à partir d'énergies renouvelables.

En raison de l'incertitude sur les coûts, on ne peut pas affirmer avec certitude qu'un système électrique combinant nouvelles centrales nucléaires et renouvelables coûtera moins ou plus cher qu'un système uniquement renouvelable ; les estimations basées sur des représentations rigoureuses du système énergétiques (publiées par l'Ademe, RTE ou par des chercheurs) indiquent que l'écart entre ces deux options sera faible. Cela réfute toutefois les affirmations largement diffusées, bien que non fondées sur des travaux scientifiques, selon lesquelles le premier coûterait plusieurs fois moins cher que le second<sup>6</sup>.

En revanche, construire des nouvelles centrales nucléaires présente des risques importants : accidents, vulnérabilité aux menaces militaire ou terroriste, déchets radioactifs. Non seulement le choix d'une électricité 100 % renouvelable à long terme n'est pas ruineux, mais c'est de loin la solution la plus sûre.

---

<sup>5</sup> Behrang Shirizadeh et Philippe Quirion, « Low-carbon options for the French power sector : what role for renewables, nuclear energy and carbon capture and storage ? » *Energy Economics*, n° 95, mars 2021.

<sup>6</sup> Affirmations qui émanent en particulier de Jean-Marc Jancovici : <https://jancovici.com/transition-energetique/renouvelables/100-renouvelable-pour-pas-plus-cher-fastoche/>

Reste que toute source d'énergie consomme des ressources (fossiles ou minérales) et a des impacts sur l'environnement ; pour limiter ces derniers, réduire la consommation d'énergie est nécessaire, quels que soient les choix concernant la production d'énergie.

À lire

Antoine DE RAVIGNAN, *Nucléaire, stop ou encore ?*, Les petits matins, Paris, 2022.

Behrang SHIRIZADEH, Quentin PERRIER et Philippe QUIRION, « Quel serait le mix optimal de production et de stockage d'électricité 100 % renouvelable en France en 2050 ? À vous de jouer ! », questionnaire interactif disponible en ligne.

Alain GRANDJEAN, « Leçons tirées de travaux récents de prospective énergétique », billet de blog « Les Chroniques de l'Anthropocène », mis en ligne le 10 janvier 2022.

RTE, « Futurs énergétiques 2050 : les scénarios de mix de production à l'étude permettant d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 », disponible en ligne.

ADEME PROSPECTIVE, « Transitions 2050. Feuilleton Mix électrique », disponible en ligne.

ASSOCIATION NEGAWATT, « Scénario négaWatt 2020 », disponible en ligne.

À voir

Behrang SHIRIZADEH, Quentin PERRIER et Philippe QUIRION, « Une électricité 100 % renouvelable est-elle possible en France d'ici à 2050 et, si oui, à quel coût ? », disponible en ligne.