

Le développement massif de l'éolien et du solaire photovoltaïque : une erreur stratégique aux graves conséquences, peut-être irréparables.

*Bernard Durand**, le 25/05/2026

**Bernard Durand a été Directeur de la division Géologie-Géochimie de l'IFPEN et Président du Comité scientifique de l'European Association of Geoscientists and Engineers (EAGE).*

Résumé : A partir d'une étude comparative des évolutions de la production d'électricité en France et en Allemagne, on montre ici qu'un développement massif de l'éolien et du solaire photovoltaïque :

- *Ne permet pas de produire plus d'électricité. Cela est dû au caractère non-pilotable de ces électricités, qui impose pour les rendre utilisables de les associer structurellement avec celles produites par des centrales électriques pilotables (principalement nucléaires et hydroélectriques en France, à charbon et à gaz en Allemagne). C'est la puissance totale disponible en ces dernières qui détermine à chaque instant les quantités maximales possibles de production, mais aussi qui garantit que nous aurons suffisamment d'électricité en cas d'absence de vent et/ou de soleil.*
- *N'a pas permis, et de très loin, de supprimer les émissions de CO₂ de la production d'électricité en Allemagne, et est sans intérêt pour cela en France.*

Par contre ce développement massif

- *Fait augmenter considérablement le coût de production de l'électricité, et donc son prix moyen pour les ménages et l'industrie, induisant ainsi une perte critique de pouvoir d'achat pour les ménages pauvres et une perte de compétitivité pour les entreprises, laquelle fait augmenter le chômage et est un frein à la réindustrialisation. Mais aussi provoque un retard préoccupant dans l'électrification des usages, pourtant rendue nécessaire par les incertitudes sur notre approvisionnement futur en combustibles fossiles, pétrole, gaz et charbon.*
- *Met de plus en plus la production électrique européenne à la merci des pays producteurs de gaz (Russie, pays du Moyen Orient, Etats-Unis...), mais aussi de la Chine, devenue le premier fabricant mondial d'éoliennes et de panneaux solaires.*

Il s'agit donc là d'une erreur stratégique majeure, en particulier pour la France, où ce développement massif ne permettra même pas de diminuer significativement comme en Allemagne les émissions de CO₂ de la production d'électricité, mais portera gravement atteinte à ses possibilités de réindustrialisation et à sa souveraineté énergétique.

La figure 1 ci-dessous montre l'évolution entre 2000 et 2024 des quantités d'électricité produites par source pour la France (en haut) et l'Allemagne (en bas).

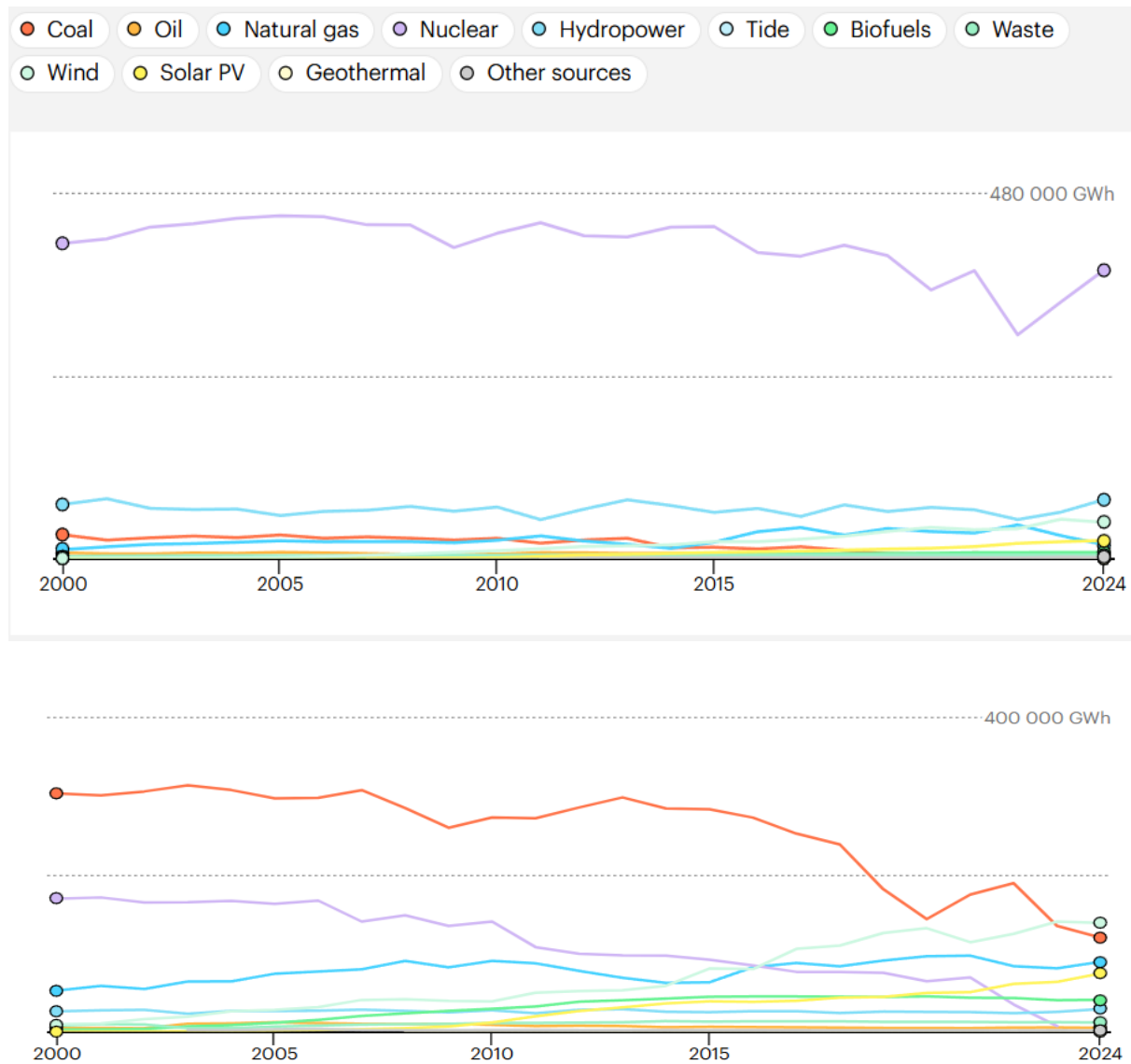


Figure 1. Source Agence internationale de l'énergie (www.iea.org)

Les faits marquants pour la France sont : 1- la prédominance pendant toute cette période de l'électricité nucléaire, mais avec une décroissance amorcée en 2012, l'arrêt en 2020 (injustifié techniquement) des deux réacteurs de Fessenheim, qui produisaient 11 TWh par an, puis une chute transitoire en 2022 provoquée par la découverte de phénomènes de corrosion sous contrainte ayant entraîné des arrêts de réacteurs pour maintenance préventive. Elle a été suivie d'un redressement rapide, mais inachevé. 2- la disparition presque complète du charbon. 3- Une augmentation substantielle de la production d'électricité éolienne puis d'électricité solaire photovoltaïque.

Pour l'Allemagne ce sont : 1- la prédominance du charbon (= houille + lignite) mais avec une décroissance rapide après 2013. 2- l'arrêt du nucléaire en 2023. 3- la croissance très rapide de l'éolien, devenu en 2024 de peu la première source d'électricité, puis celle de l'électricité photovoltaïque.

Le tableau ci-dessous, constitué à partir des données de cette figure, compare pour la France et l'Allemagne les productions d'électricité par source en 2008 et 2024. L'année 2008 a été

choisie parce que c'est l'année du début en France de l'accélération du développement des électricités intermittentes, éolienne et solaire photovoltaïque, tel que prescrit par le Grenelle de l'environnement en septembre 2007. 2024 est l'année la plus récente de publication des statistiques de l'Agence internationale de l'énergie, dont ces valeurs proviennent.

On y a ajouté les données sur les émissions de CO₂ de la production d'électricité, qui en proviennent également, et celles sur les prix de l'électricité pour les ménages, qui proviennent d'Eurostat.

Sur ce tableau, sont portées en rouge les quantités d'électricité produites par les centrales électriques dites **pilotables**, telles que les centrales nucléaires et les centrales à combustibles fossiles, parce que leur puissance peut être mise en œuvre par un opérateur à la demande des consommateurs. En vert sont celles produites par des centrales dites **non pilotables** parce que leur puissance obéit à la météo et à l'ensoleillement et non à la volonté humaine. Il s'agit là des **électricités variables dites intermittentes**, électricité éolienne et électricité photovoltaïque.

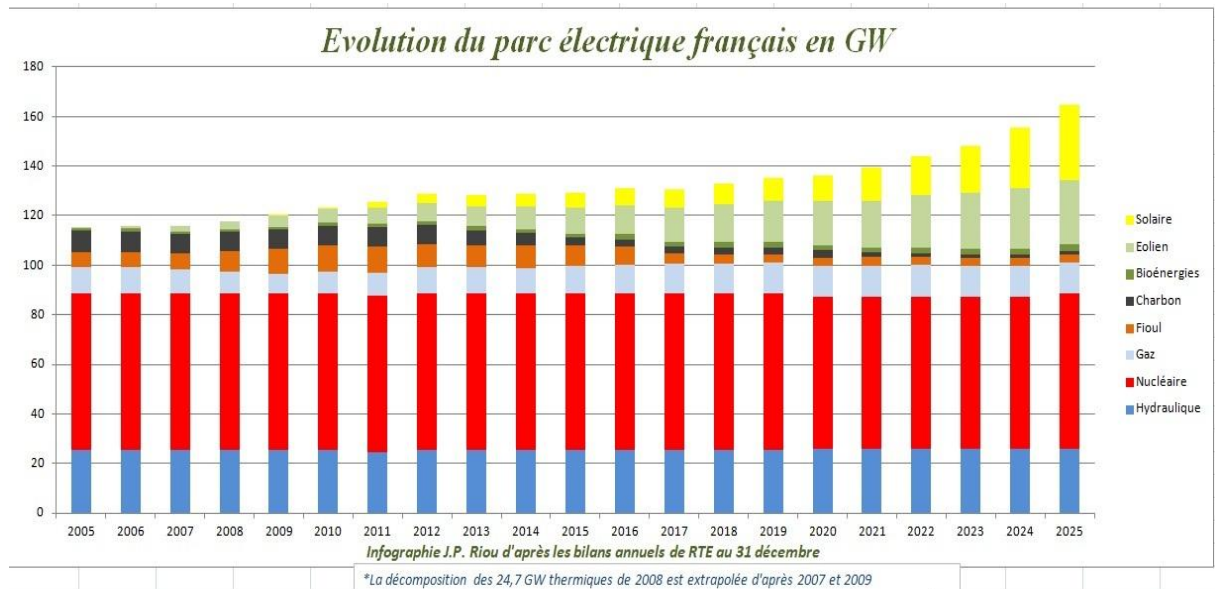
L'hydroélectricité, en bleu, est produite par trois types de centrales : Les centrales **au fil de l'eau**, à faible hauteur de chute d'eau, dont la production fluctue au gré des variations de débit du fleuve sur lesquelles elles sont installées, et dont la puissance ne peut donc être que très peu pilotable par un opérateur. Celles dites **d'éclusée**, installées sur des barrages de rivières à fort débit mais avec de moyennes hauteurs de chute, sont pilotables pour une petite partie de leur puissance. Celles installées sur des **lacs de barrage** de grandes dimensions avec de fortes hauteurs de chute sont pilotables. On a considéré ici que la moitié seulement de la production hydroélectrique était pilotable.

Source	France 2008	France 2024	Allemagne 2008	Allemagne 2024
	TWh	TWh	TWh	TWh
charbon	26,4	0,7	285,4	120,8
gaz	21,9	17,4	90,3	89,1
fuel	5,2	1,8	9,7	4,9
nucléaire	439,4	380,5	148,5	0
bioénergies	2,1	7,8	23,3	40,7
déchets	3,8	4,5	9,7	11,3
géothermie	-	0,1	0,018	0,2
hydro pilotable	34,2	38,8	13,2	14,5
hydro non pilot.	34,1	38,7	13,2	14,4
éolien	5,7	47,2	41,4	138,9
solaire	0,041	24,8	4,4	74,3
autres	-	-	2	1,2
total	573,8	569,5	641,2	510
CO ₂ , g par kWh	92	49	541	380
Prix, euro/MWh	121,3	284,7	214,8	395,1

On observe d'une date à l'autre : 1- Pour la production totale d'électricité : peu de variation en France et une forte diminution en Allemagne coïncidant avec la forte diminution de l'appel au charbon après 2013. 2- Pour les émissions de CO₂ de la production d'électricité : une forte diminution en France, mais à partir d'un niveau déjà faible, et également une diminution en Allemagne, mais tout en restant à un niveau très élevé. Ces diminutions, en France comme en Allemagne, coïncident avec la diminution de l'appel au charbon, très émetteur, observées sur la figure 1. 3- Pour le prix moyen de l'électricité facturé aux ménages : une très forte

augmentation, presque un doublement en Allemagne, mais à partir d'un niveau très élevé, et plus qu'un doublement en France.

La figure 2 ci-dessous représente l'évolution des puissances installées (capacités de production) pour produire ces catégories d'électricité, en haut pour la France d'après les données du réseau du Gestionnaire du réseau de transport d'électricité (RTE), en bas pour l'Allemagne d'après le Fraunhofer Institute (https://energy-charts.info/charts/installed_power/chart.htm?l=fr&c=DE&year=-1)



-Courtoisie JP Riou

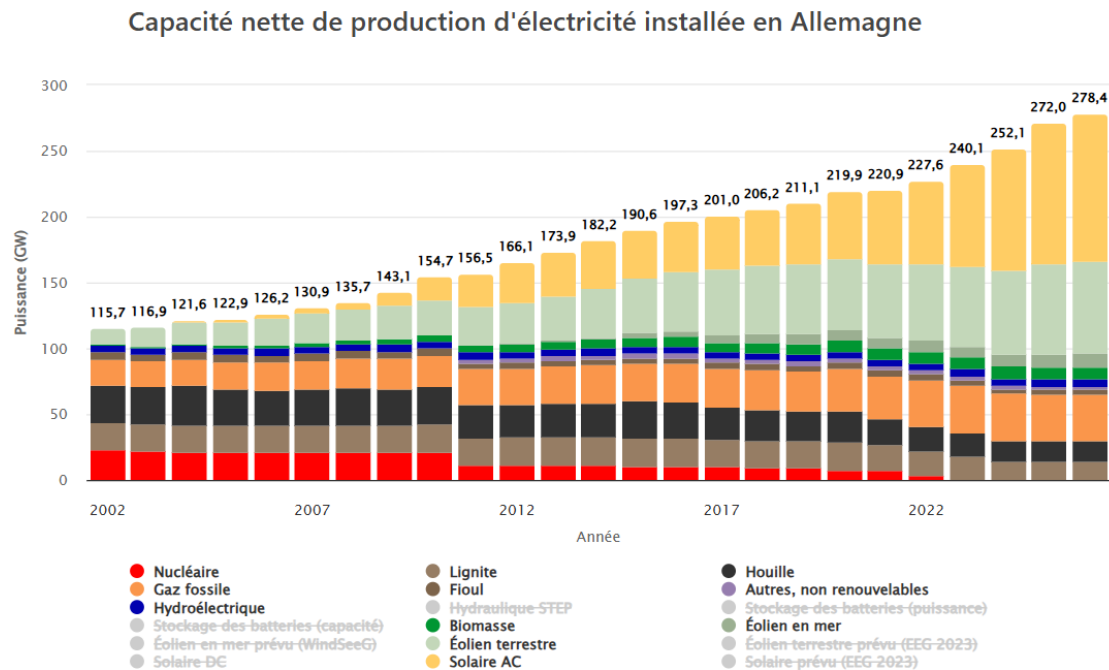


Figure 2. Nota : Les proportions des puissances installées en France des différents combustibles fossiles, gaz, fuel et charbon n'étant pas fournies par RTE pour 2008, elles sont donc pour cette année extrapolées des valeurs de 2007 et 2009, ce qui est certainement très près de la réalité.

En France ces puissances totales installées étaient en 2008 de 114 GW dont 102 de centrales pilotables (en excluant donc l'hydroélectricité non-pilotable), et de 157 GW dont 94 de pilotable en 2024.

En Allemagne avec les mêmes conventions, elles étaient de 136 GW dont 105,2 de pilotable en 2008, et de 252 GW dont 85 de pilotable en 2024.

Il y a donc eu pendant cette période une très forte croissance des puissances **totales** installées en France et encore plus en Allemagne, mais elle a essentiellement été due au développement de parcs éoliens et solaires photovoltaïques, non pilotables. **On note par contre une diminution de la puissance pilotable, relativement modérée en France, mais forte en Allemagne à partir de 2020.** Pour autant, la production d'électricité n'a pas augmenté, mais diminué, de peu en France et de beaucoup en Allemagne (voir tableau).

Cette distinction entre centrales pilotables et centrales non pilotables est essentielle pour juger de l'intérêt de ce développement de l'éolien et du solaire PV dans les deux pays.

Un réseau électrique permet de répartir la production d'un ensemble de centrales électriques en tous les lieux qu'il dessert en fonction de la consommation locale. Il fonctionne en courant alternatif et cela implique qu'en chaque lieu et à chaque instant la puissance électrique fournie soit égale à la puissance demandée par les consommateurs, ce qui se traduit par le maintien de la fréquence du courant, 50 hertz, à 1 % près sous peine de blackout. Les Européens sont alimentés en électricité par un ensemble de réseaux interconnectés opérés par des gestionnaires de réseau, en France le Gestionnaire du réseau de transport d'électricité (RTE). Cet ensemble est administré par le Réseau européen des gestionnaires de réseau de transport d'électricité (en anglais European Network of Transmission System Operators for Electricity, ENTSO-E).

Il est impossible d'alimenter un réseau électrique avec uniquement des centrales non pilotables, telles que les parcs éoliens et solaires photovoltaïques, parce que la puissance qu'elles fournissent fluctue considérablement en fonction de la météo et de l'ensoleillement et ne peut donc que très occasionnellement et cela de façon aléatoire coïncider avec celle demandée par les consommateurs. Elles sont donc strictement inutilisables par un consommateur, sauf à les associer avec de la puissance produite par des centrales pilotables. Celles-ci font l'ajustement nécessaire en puissance pour que la puissance totale fournie par cet ensemble coïncide à chaque instant avec la puissance demandée par les consommateurs : les centrales pilotables diminuent leur puissance et donc leur production quand la puissance et la production des intermittentes augmentent, et les augmentent dans le cas inverse.

C'est la puissance totale disponible des centrales pilotables qui gouverne en fait la quantité maximale d'électricité qui peut être mise sur un réseau. **Car il s'agit là d'un jeu à somme constante** : à consommation donnée, ce qui est produit par les centrales non pilotables ne peut plus l'être par les centrales pilotables. Et en cas de défaillance du non pilotable (absence de vent et/ou de soleil), le pilotable doit garantir à lui seul la consommation. Il faut donc en permanence pouvoir disposer d'autant de puissance pilotable que nécessaire pour garantir en toutes circonstances la consommation. **L'investissement en éolien et solaire est un investissement supplémentaire qui ne produit pas d'électricité supplémentaire et donc ne sert à rien d'un point de vue quantitatif.**

On constate en effet que pour la France comme pour l'Allemagne, le développement de l'éolien et du solaire PV n'a pas permis de produire plus d'électricité, de façon spectaculaire dans le cas de l'Allemagne, et que la quantité d'électricité produite est en rapport avec la puissance totale en centrales pilotables et non avec la puissance totale (pilotable + non pilotable).

D'autre part, quelle que soit la puissance installée en éolien et solaire PV, la **puissance disponible** en pilotable doit toujours pouvoir équilibrer la **puissance** appelée par les consommateurs, pour pallier en toutes circonstances une absence de vent (en France une fois ou deux par mois en moyenne) et/ou une absence de soleil (la nuit mais aussi en cas de couverture nuageuse pour ce dernier. Se rappeler aussi que le solaire photovoltaïque, pour une même puissance installée, produit en moyenne quatre fois moins d'électricité pendant les trois mois d'hiver que pendant les trois mois d'été), qui peut se produire plusieurs jours de suite et parfois se répéter lors des épisodes anticycloniques accompagnés de grand froid en hiver dans une grande partie de l'Europe. On estime que la puissance électrique garantie par l'ensemble des parcs éoliens, c'est-à-dire disponible en toutes circonstances n'est en France que de l'ordre de 1% de leur capacité installée, 4 à 5 % à l'échelle de l'Europe (1). Et bien sûr la puissance électrique garantie par les parcs photovoltaïque est nulle, puisque chaque nuit il n'y a pas de soleil en Europe. **Augmenter sans cesse les puissances installées d'éolien et de solaire photovoltaïque ne changera rien à cette situation.**

Si l'on se souvient que le 8 Février 2012 la puissance électrique consommée a atteint en France 102 GW, il est évident que la puissance pilotable **disponible** installée en France n'est pas en mesure de faire face à une telle pointe de consommation.

L'Allemagne n'a pas besoin d'autant de puissance pilotable que la France parce que contrairement à celle-ci elle utilise peu l'électricité pour le chauffage domestique. Mais sa puissance pilotable ayant cependant fortement diminué, elle est obligée maintenant de faire appel à de la puissance pilotable d'autres pays via les interconnexions électriques européennes pour garantir sa sécurité et la stabilité de son réseau électrique. Consciente de ce problème, elle veut maintenant construire de nouvelles centrales à gaz sans pour autant supprimer de centrales à charbon, ce qui aura pour dommages collatéraux de la rendre très vulnérable à son approvisionnement en gaz, parce qu'elle doit totalement l'importer, et de dégrader le bilan carbone de sa production d'électricité.

Notons à ce propos que le prix au jour le jour de l'électricité sur le marché unique européen de l'électricité tel qu'il est conçu actuellement est celui du coût de production marginal (= le prix du kWh supplémentaire produit) le plus élevé de toutes les centrales en fonctionnement en Europe. Un recours accru au gaz joint au fonctionnement actuel du marché expose donc toute l'Europe à des prix de l'électricité très élevés dans les pays les plus dépendants du gaz quand le prix de marché du gaz augmente fortement, ce que l'on a constaté avec la guerre en Ukraine.

En réalité il n'y a pas à choisir entre électricités intermittentes non pilotables, éolien et solaire photovoltaïque, et électricités pilotables comme on l'entend dire si souvent, mais bien entre catégories de pilotables pour assister l'éolien et le solaire photovoltaïque que l'on décide de construire. Les possibilités sont assez variées, mais beaucoup des sources pilotables disponibles sont en fait très limitées par la nature. Par exemple les centrales à bioénergie (bois, biogaz...), qui produisent actuellement une part non négligeable de l'électricité allemande (voir tableau), sont limitées par les quantités de biomasse disponibles annuellement pour cet usage, et donc in fine par la photosynthèse, processus certes naturel, mais en fait très inefficace (2). Les possibilités des centrales hydroélectriques, autre source importante d'électricité pilotable, sont limitées par la pluviométrie et la hauteur moyenne des reliefs existants dans le pays considéré (3).

En définitive, seuls le nucléaire et/ou les combustibles fossiles sont à même de pouvoir fournir l'ordre de grandeur des quantités d'électricité nécessaires à l'échelle de la grande majorité des pays industriels. Des exceptions sont les pays à forte pluviométrie et à fort relief moyen comme en Europe l'Autriche, la Suisse et la Norvège où l'hydroélectricité peut fournir la totalité (Norvège, en raison aussi de sa faible densité de population) ou une très grande partie (Autriche, Suisse) des quantités nécessaires. L'Allemagne est mal lotie. La France est en position intermédiaire avec des possibilités importantes mais très insuffisantes au regard de ses besoins.

Quels enseignements tirer de l'examen de ces données ?

Les électricités non-pilotables, éolienne et solaire PV, ne peuvent pas apporter d'électricité supplémentaire, du fait qu'à consommation donnée l'électricité qu'elles produisent n'est alors plus produite par les centrales pilotables qui les assistent. On le vérifie à l'examen des données présentées ici pour la France et l'Allemagne, où la production d'électricité n'a pas augmenté avec le développement de ces électricités pour la première, et a beaucoup diminué pour la seconde. Il est donc faux de prétendre, comme on l'entend ou le lit sans arrêt actuellement, qu'en attendant le nouveau nucléaire qui n'arrivera pas avant 2035, il faut bien construire de l'éolien et du solaire PV pour pouvoir produire plus d'électricité. **Seule une augmentation de la puissance disponible en centrales pilotables le permettra.**

Notons que la France étant pour l'instant largement excédentaire en électricité, il n'y a pas d'urgence actuellement à produire plus d'électricité. La sagesse est cependant de préparer l'avenir en mettant immédiatement en chantier une augmentation de notre puissance de pilotable qui le moment venu pourra fournir l'électricité nécessaire, **et surtout de ne plus augmenter notre puissance non pilotable d'éolien et de solaire photovoltaïque qui ne le pourra pas et ne pourra pas garantir non plus nos pointes de consommation.**

Les électricités non pilotables sont en réalité inutiles d'un point de vue quantitatif, puisqu'en leur absence les centrales pilotables qui leur sont associées pourraient produire toute l'électricité produite par leur association. Et l'affirmation sans arrêt lue et entendue que tel parc éolien une fois construit produira de l'électricité pour tant de milliers d'habitants est également fausse. Les habitants en question n'auront en fait pas plus d'électricité qu'avant. L'électricité qui leur sera fournie comprendra simplement plus d'électricité intermittente non pilotable et moins d'électricité pilotable, cela à un prix plus élevé comme démontré dans ce qui suit.

Le développement de l'éolien et du solaire PV s'est accompagné en France et en Allemagne d'une très forte augmentation du prix moyen de l'électricité pour les ménages et l'industrie. Ceci s'explique par la nécessité : 1- d'un double investissement (pilotable + non pilotable) pour produire on le voit ici la même quantité d'électricité en France et une quantité nettement plus faible d'électricité en Allemagne 2- de développer et renforcer le réseau électrique pour relier les parcs éoliens et solaires au réseau. Mais aussi du fait de l'augmentation du coût de production de l'électricité par les centrales pilotables, qui sont obligées de produire moins qu'elles ne le pourraient pour faire place à l'électricité non pilotable alors qu'elles conservent les mêmes frais fixes (salaires, frais financiers, maintenance...). Et parce qu'il faut bien faire du bénéfice, ceci se traduit par des augmentations des prix moyens sur le marché de l'électricité. A noter que cette augmentation des coûts est maintenant financée non plus

seulement par l'augmentation des factures d'électricité, mais aussi par l'impôt, en France comme en Allemagne, ce qui conduit l'opinion à la sous-estimer.

Enfin on observe que le choix fait par l'Allemagne du gaz et du charbon comme principales sources d'électricité pilotable pour assister l'éolien et le solaire photovoltaïque s'est certes traduit par une diminution relative des émissions de CO₂ de sa production d'électricité parce que le recours croissant à l'éolien et au solaire photovoltaïque s'est traduit par une diminution symétrique du recours aux combustibles fossiles, mais que celles-ci restent encore bien plus importantes que celles de la France, qui a fait le choix du nucléaire.

L'affirmation selon laquelle il faut développer l'éolien et le solaire en France parce qu'ils n'émettent pas de CO₂ est également fautive, car elle ne tient pas compte des émissions de la totalité de leur cycle de vie, de leur construction à leur démantèlement (4). Les émissions de CO₂ de la production électrique française sont parmi les plus faibles au monde parce que sa production **pilotable** repose essentiellement sur le nucléaire et l'hydroélectricité dont les émissions, calculées par analyse du cycle de vie, sont très faibles et inférieures à celles de l'éolien et du solaire photovoltaïque. Alors qu'en Allemagne cette production repose essentiellement sur les combustibles fossiles, très émetteurs.

Conclusion

Le développement massif des électricités intermittentes non-pilotables, éolien et solaire photovoltaïque, au détriment du nucléaire a été une erreur stratégique majeure très coûteuse pour l'Allemagne, mais aussi pour l'EU 27 qui suit sous son influence cette politique depuis déjà 30 ans. Le Chancelier allemand et la Présidente de la Commission Européenne l'ont enfin reconnu publiquement cette année, mais il est bien tard et les dégâts sont très importants et peut-être même irréversibles. L'Allemagne y a certes gagné une diminution relative des émissions de CO₂ de sa production d'électricité (mais cette diminution aurait été bien plus forte si elle avait conservé toute la puissance de nucléaire dont elle disposait (21 GW). Mais cela au prix d'une addiction durable aux combustibles fossiles, fuel, charbon et de plus en plus gaz, et donc d'une dépendance géopolitique croissante à ce dernier, entraînant des risques de rupture d'approvisionnement et d'envolée des prix comme l'a démontré la guerre en Ukraine. Au prix aussi d'une très forte augmentation dans la majeure partie de l'Europe du prix de l'électricité pour les ménages et pour l'industrie, et même du recours à l'impôt pour subventionner l'éolien et le solaire photovoltaïque, diminuant ainsi le pouvoir d'achat des ménages et la compétitivité des entreprises. Au prix encore de risques croissants sur la stabilité du réseau électrique et donc de blackout au fur et à mesure de la croissance des proportions d'électricités intermittentes dans la production totale **instantanée** d'électricité, **Cette proportion ne doit pas dépasser 50% de la demande instantanée des consommateurs** sous peine de risque très élevé de blackout, comme la démonstration en a été faite le 18 avril 2025 aux dépens des consommateurs de la péninsule ibérique. Mais un développement massif de ces électricités intermittentes est une erreur stratégique encore plus grave pour la France, car elles n'ont même pas la justification comme en Allemagne de faire baisser de manière significative les émissions de CO₂ de la production électrique. **Elles sont inutiles aussi bien d'un point de vue quantitatif, que qualitatif pour faire diminuer les émissions de CO₂ de notre production d'électricité.** Et si l'Allemagne, dont la balance commerciale est fortement excédentaire, peut sans trop de dommages acheter des panneaux solaires et de plus en plus des éoliennes à la Chine qui en est devenu le premier fabricant mondial, c'est préoccupant pour la France, dont la balance commerciale est fortement déficitaire. C'est pourtant cette énorme erreur stratégique que nos gouvernements

successifs ont commise depuis le Grenelle de l'environnement et s'apprêtent même à amplifier, en voulant imposer contre vents et marées une troisième programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE3) où est inscrit ce développement massif.

La guerre en Ukraine, puis celle en Iran ont mis en évidence aux yeux de tous la très préoccupante vulnérabilité des pays de l'EU 27 à leur approvisionnement en pétrole et gaz, qui sont importés à plus de 90 % du fait des très faibles ressources disponibles sur leur territoire. Mais peu de gens ont réalisé, y compris parmi nos politiques, que les déclin des productions mondiales possibles de pétrole et de gaz sont attendues bien avant le milieu de ce siècle, et qu'il en sera aussi de même pour le charbon (5). Cela parce que les alertes à ce sujet, faites inlassablement et depuis déjà bien longtemps par des spécialistes de ces questions, n'ont pas été relayées par le complexe médiatico-politique ou bien ont été ridiculisées. Ce qui se passe actuellement sera donc bientôt devenu la norme si nous n'arrivons pas d'ici là à faire diminuer considérablement en un temps très court notre consommation.

Pour cela l'électrification des usages, véhicules et chauffage électrique en particulier, permettrait de faire un grand bout du chemin. Mais comment faire si nous nous obstinons à développer massivement de l'éolien et du solaire PV qui ne nous servent à rien pour produire plus d'électricité et diminuer nos émissions de CO₂ et qui, par le gaspillage de sommes énormes et l'augmentation considérable du coût de production de l'électricité que ce développement massif entraîne, contrarient de façon évidente cette électrification.

Supprimer les subventions à tout nouveau projet de parc éolien ou solaire photovoltaïque serait une première mesure de bon sens, surtout de la part d'un gouvernement aussi contraint budgétairement que le nôtre. Et il faudrait faire vite, car il vaut mieux prévenir qu'avoir à guérir.

Il faut dire ici un mot de l'utilisation de systèmes de stockage-déstockage d'électricité, des batteries, lesquelles, en association avec les électricités intermittentes permet en théorie de jouer le même rôle que les centrales pilotables. Mais il faudrait pouvoir disposer d'une puissance totale de stockage du même ordre que celle des centrales pilotables, environ 100 GW en France actuellement, pour pouvoir faire face à elle seule à une «panne» de vent et de soleil telle que celles observées sur la plus grande partie de l'Europe de l'Ouest lors des journées froides d'hiver, et aussi disposer alors d'une quantité stockée disponible suffisante pour faire face à une durée de l'ordre de la semaine en période froide, environ 10 TWh car ces pannes peuvent avoir une durée de cette ordre. Il faudrait aussi pouvoir disposer à nouveau de cette quantité stockée très rapidement, plusieurs périodes de ce genre pouvant se reproduire au cours du même hiver. C'est irréaliste.

De tels systèmes sont cependant déjà mis en œuvre pour écrêter des pointes exceptionnelles de consommation, ce qui permet de réduire un peu la puissance nécessaire en centrales pilotables. A plus petite échelle, les batteries sont aussi de plus en plus utilisées pour favoriser l'autoconsommation de l'électricité fournie par les panneaux solaires que les particuliers font installer sur leur toit. Mais tout cela reste marginal et renchérit encore les coûts de production.

1-Thomas Linnemann and Guido S. Vallana (2019) : Wind Energy in Germany and Europe Status, potentials and challenges for baseload application Part 2 : European Situation in 2017. VGB PowerTech 31 2019.

2-le rendement énergétique de la photosynthèse, calculé par unité de surface au sol comme le rapport entre la quantité d'énergie accumulée dans les plantes et les quantités d'énergie

qu'elles ont reçues du soleil, est de l'ordre du %. Il faut donc des surfaces considérables pour produire des quantités notables de « bioélectricité ».

3- Dans un pays, l'énergie potentielle annuellement disponible dans l'eau de pluie ayant atteint le sol pour être transformée en hydroélectricité est en théorie égale à $m \cdot g \cdot h$, m étant la masse totale de cette eau, g l'accélération de la pesanteur et h la hauteur moyenne du relief (342 mètres en France métropolitaine). Mais la majeure partie de cette eau n'est en réalité pas disponible pour un turbinage (évapotranspiration de la végétation, infiltration, ruissellement). La France est maintenant proche de la limite de ses disponibilités ainsi que les autres pays de l'EU27.

4-L'Analyse de cycle de vie (ACV) est une méthode d'évaluation visant à quantifier les impacts environnementaux d'un produit ou d'un service, dans un objectif d'éco-conception ou pour choisir parmi plusieurs produits ou services le plus performant. Tous les impacts potentiels sur l'environnement et les consommations de ressources sont étudiés, depuis l'extraction des matières premières jusqu'au traitement des déchets (« du berceau à la tombe »).

5- <https://aspofrance.org/2026/04/13/petrole-et-gaz-naturel-point-de-situation-2025-bernard-durand-octobre-2025-revisé-mars-2026/>