

L'électricité éolienne, ses propriétés, et leurs conséquences.

B.Durand

Ingénieur et naturaliste, ancien directeur de l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie, ancien président du comité scientifique de l'European Association of Geoscientists and Engineers (EAGE)

Message :

Les propriétés de l'électricité éolienne font que celle-ci ne peut :

- ni garantir la consommation d'électricité, en France comme ailleurs en Europe,*
- ni permettre de fermer des réacteurs nucléaires en France,*
- ni faire diminuer les émissions de CO₂ de notre production d'électricité, bien au contraire.*
- ni assurer l'autonomie électrique, et a fortiori énergétique d'un territoire.*

Elle n'est pas strictement renouvelable car elle dépend d'énergies non renouvelables, et ne peut donc garantir par elle-même la sécurité à long terme de l'approvisionnement électrique ni en France ni ailleurs en Europe.

Même si son prix à la production diminuait beaucoup avec le temps, son développement en France n'en ferait pas moins inévitablement et inutilement beaucoup augmenter le prix de l'électricité pour les ménages, comme cela est déjà le cas en Allemagne et a commencé en France. Il est donc antisocial !

L'importance de la place qui lui est nécessaire pour produire des quantités significatives d'électricité fait que son développement entraînera l'inhabitabilité de surfaces très importantes, des conflits d'usages et d'intérêts croissants, des destructions de l'environnement et la défiguration des paysages ruraux de régions entières. De plus en plus d'études montrent aussi qu'elles pourraient altérer la santé des riverains, hommes et animaux, par la nature des sons qu'elles génèrent, en particulier les infrasons, inaudibles mais interagissent cependant avec les organismes, et cela pour des portées pouvant être supérieures à 10 km.

Ces conclusions contrastent fortement avec l'image idyllique qui en est actuellement véhiculée avec insistance par tous les moyens d'information.

Nos élus, préoccupés à juste titre par l'amélioration du quotidien de leurs administrés, sont motivés exclusivement par les subventions qui leur sont octroyées par les promoteurs, sans réaliser qu'ils entraînent ainsi notre pays dans une impasse, celle justement où vient de se fourvoyer l'Allemagne.

Notre gouvernement en la matière se conduit également de manière irresponsable, en s'accrochant à une loi, la Loi pour la Transition Energétique et la Croissance Verte (LTECV), dont les objectifs affichés sont irréalistes et contradictoires.

1-Rappels, à lire absolument

1-1 – *Energie et puissance* :

L'énergie est une grandeur physique intimement liée aux transformations de la matière. Aucune de ces transformations n'est possible sans mettre en jeu une certaine quantité d'énergie. Elle est de ce fait indispensable au développement et au maintien de la vie, qui ne peut subsister sans l'énergie qu'elle tire de la transformation de ses aliments. Il en est de même d'une société humaine, qui tire de sources naturelles ce qu'on appelle l'**énergie primaire**, et l'utilise pour transformer les matières premières en objets ou produits utilisables, et pour son fonctionnement.

De même qu'une **famine alimentaire** peut conduire rapidement à la disparition d'une population, une **famine énergétique** peut conduire rapidement à la disparition d'une société très consommatrice d'énergie comme la nôtre.

La question énergétique est donc centrale dans nos sociétés, en fait bien plus importante que ne le réalise actuellement l'opinion publique, et c'est peut-être la plus importante que nous ayons à résoudre au cours de ce siècle.

L'énergie se présente sous de très nombreuses formes : Energie calorifique (chaleur), énergie cinétique (liée aux mouvements), énergie mécanique (travail), énergie électrique (liée au déplacement des électrons dans un conducteur), énergie chimique (liée aux liaisons chimiques entre atomes), énergie gravitaire (liée à la pesanteur), énergie nucléaire (liée aux liaisons entre particules dans les noyaux d'atomes)... Dans un système fermé (c'est-à-dire n'échangeant pas d'énergie avec l'extérieur) la quantité totale en est invariable, mais elle peut passer d'une forme à l'autre. A chaque transformation, une partie en est transformée en énergie calorifique (chaleur) le plus souvent inutilisable par l'homme. C'est pourquoi par exemple le rendement de la transformation par une éolienne de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique de rotation des pales, puis en énergie électrique (électricité) dans une génératrice s'accompagne de pertes diverses dues aux frottements, aux bruits, et donc de la production de chaleur inutilisable, et est obligatoirement inférieur à 100 %.

L'unité de **quantité d'énergie** dans le système international d'unité (SI) est le **joule (J)**. C'est une unité très petite. Elle correspond à peu près à l'énergie nécessaire pour élever une pomme d'un peu plus de 100 grammes (101,94 g en fait) à un mètre de hauteur contre la force de pesanteur (gravitation)

La puissance est un débit d'énergie (quantité d'énergie fournie ou consommée par unité de temps). Elle s'exprime en **watt (W)**. 1 watt= 1 joule par seconde (J/s)

Ces unités étant très petites, on en utilise les multiples.

Nous utiliserons ici pour les puissances le kilowatt (kW) (1000 watts), le mégawatt (MW) (1 million de watts), le gigawatt (GW) (1 milliard de watts).

Pour les quantités d'énergie électrique, nous utiliserons l'unité utilisée par les électriciens, le **wattheure** : c'est la **quantité d'énergie** électrique fournie ou consommée par une installation de 1 watt fonctionnant constamment à cette puissance pendant 1 heure, soit 3600 secondes. Par conséquent, elle vaut 3600 joules, quantité d'énergie encore très

faible ; nous utilisons donc ici ses multiples, le kilowattheure (kWh) (1000 Wh), bien connu de ceux qui lisent leur facture d'électricité, le mégawattheure (MWh) (1 million de wattheures), le gigawattheure (GWh) (1 milliard de wattheures), le térawattheure (TWh) (1000 milliards de wattheures).

L'énergie de gravitation théoriquement récupérable en faisant chuter une tonne d'eau depuis une altitude de 1000 mètres sur la turbine d'une centrale hydroélectrique est d'un peu moins de 10 millions de joules (MJ), soit environ 2700 kWh. Pour comparaison, l'énergie chimique libérée par la combustion d'une tonne de pétrole est d'environ 4300 fois supérieure, et l'énergie nucléaire libérée par la fission d'une tonne d'uranium 235, celui qui est utilisé dans nos centrales nucléaires, est d'un peu plus de 6 milliards de fois supérieure !

On observe très souvent une confusion entre kW et kWh chez les personnes peu familières de ces questions, et malheureusement aussi beaucoup trop dans les médias. C'est une source constante d'incompréhension qui mène souvent à des dialogues de sourds. On ne saurait trop recommander à ceux qui traitent de ces questions de bien comprendre et bien mémoriser de quoi il s'agit. **Rappelons que le kilowattheure est une unité de quantité d'énergie, et le kilowatt une unité de puissance, c'est-à-dire une unité de débit d'énergie.**

1-2- Facteur de charge d'une installation électrique

Il est rare qu'une installation électrique produise ou consomme constamment à sa puissance maximale possible que l'on appelle puissance, ou capacité, nominale. Par exemple une ampoule d'une puissance nominale (en général indiquée sur l'ampoule) de 100 watts (W) ne consomme que lorsqu'elle est allumée. Si elle est allumée 10 heures de suite, elle consommera une quantité d'énergie de 1000 wattheures, soit 1 kWh. Si elle fonctionne 1000 heures, elle consommera 100 kWh.

Il y a 8760 heures dans l'année. Si cette lampe de 100 W fonctionne toute l'année à cette puissance sans interruption, elle consommera alors 876 kWh.

On appelle **facteur de charge annuel** d'une installation électrique le rapport entre la quantité d'électricité qu'elle consomme ou produit dans l'année, et la quantité qu'elle aurait pu fournir si elle avait consommé ou produit constamment à sa puissance nominale toute l'année. Si l'ampoule de 100 W n'a fonctionné que 1000 heures dans l'année à cette puissance, alors son facteur de charge annuel est de $1000/8760 = 11,4 \%$. On peut calculer des facteurs de charge pour n'importe quelle durée, de la même façon. Ce facteur de charge annuel est très important à connaître car il permet par exemple de se faire immédiatement une première idée de la rentabilité d'une installation de production d'électricité de puissance nominale donnée, à partir de la quantité d'électricité qu'elle pourra produire et donc vendre dans l'année, et du montant de l'investissement nécessaire à sa construction et de son coût annuel de fonctionnement, qui sont liés à cette puissance nominale.

A l'heure actuelle les facteurs de charge annuels des éoliennes sont faibles et ne peuvent plus guère progresser : selon leur localisation et en particulier de la vitesse moyenne du vent, ils se situent entre environ 15% et 30% dans notre pays pour les éoliennes terrestres. La technologie ne peut permettre de dépasser la limite de Betz (voir plus loin) et par

conséquent les progrès futurs attendus ne peuvent être maintenant que marginaux. Le facteur de charge des éoliennes marines est un peu plus fort que celui des éoliennes terrestres, et se situe dans une gamme de 25 à 40 % environ. En effet la vitesse moyenne du vent en mer est supérieure à ce qu'elle est à terre, où le vent est freiné par de nombreux obstacles. Par contre, l'absence de freins en mer rend les fluctuations de la vitesse du vent plus brutales : **le vent est en fait moins régulier en mer qu'à terre, contrairement à ce qui est constamment affirmé.**

1-3- fonctionnement d'un réseau électrique

Un réseau électrique est l'ensemble des lignes électriques faisant la liaison entre les installations de production d'électricité et les consommateurs. Il comprend plusieurs types de maillages, interconnectés par des transformateurs, de lignes électriques fonctionnant en **courant alternatif** à des tensions (voltages) différentes. Le réseau français, d'une longueur de plus d'un million de kilomètres, en comprend 5 principaux :

- Très haute tension (THT) : plus de 100 000 volts (très haute tension (THT)), surtout 400 000 volts (400 kV) ou 225 000 volts (225 kV). La THT assure le transport de l'électricité pour les longues distances. Elle permet en effet de diminuer considérablement les pertes d'électricité sous forme de chaleur par le réseau, qui sont d'autant plus fortes par km parcouru que la tension est basse. Ce réseau est géré par le Gestionnaire du Réseau de transport d'électricité (RTE), les autres étant gérés par ENEDIS.
- Haute Tension (HT) : 10 à 100 kV
- Haute Tension A (HTA) : 1 à 50 kV en courant alternatif ou 1,5 à 75 KV en courant continu
- Moyenne tension (MT) 15 à 35 kV
- Basse tension (BT) : 230 à 380 volts, destiné aux ménages et aux artisans, et qui représente plus de la moitié du réseau en longueur.

Deux règles essentielles doivent être respectées pour éviter le black-out (l'écroulement du réseau) et ses graves conséquences humaines et économiques :

- 1- En tous lieux et à tout instant, **la puissance électrique fournie doit être égale à la puissance consommée dans une limite de moins de 1%.**
- 2- La fréquence du courant sur le réseau doit être maintenue de façon étroite et permanente autour de sa **valeur de référence de 50 Hertz.**

L'ajustement nécessaire à chaque instant de l'offre (production) à la demande (consommation) peut se faire de deux façons :

- En faisant varier les productions de centrales électriques dites **pilotables**, commandables, ou encore dispatchables. Celles-ci sont d'une grande variété : centrales hydroélectriques, centrales à charbon, gaz ou fuel, centrales nucléaires, turbines à gaz ou à fuel. L'ajustement à la consommation, dit suivi de charge, se fait par la gestion rigoureuse d'une association de ces différents types de centrales en fonction de leur disponibilité et de leur régime possible de production.

- En stockant l'électricité produite en excès lors des périodes de basse consommation pour la déstocker lors des périodes de forte consommation. Cependant, les capacités de stockage de l'électricité en tant que telle (condensateurs) sont extrêmement limitées par rapport à l'énormité de la production d'électricité d'un pays comme le nôtre. Ce stockage s'effectue donc par transformation, dans ce qu'on appelle les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) de l'électricité en une autre forme d'énergie, énergie de gravitation par stockage d'eau dans des lacs essentiellement (plus de 95 %), et pour une faible partie en énergie électrochimique stockée dans des batteries. Le déstockage se fait par la transformation inverse avec une perte d'énergie de 25 % environ pour le cycle stockage-déstockage de l'eau, et de 30 % pour le cycle charge-décharge des batteries.

Il existe d'autres possibilités, mais elles sont pour l'instant anecdotiques : les partisans de l'éolien font actuellement une intense promotion du stockage par la méthode dite «power-to gas», qui consiste à produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau, ou encore du méthane à partir de cet hydrogène et de CO₂ par la réaction dite de Sabatier. Cet hydrogène ou ce méthane sont stockés, puis réutilisés pour produire de l'électricité à la demande avec des turbines ou des piles à combustible à hydrogène ou à méthane. Cette méthode très complexe, très coûteuse et délicate à mettre en œuvre du fait de sa complexité, est très loin d'avoir fait la preuve qu'elle peut faire l'objet d'une utilisation industrielle à grande échelle. On peut d'ailleurs remarquer à cet égard que si elle était si intéressante, on se demande pourquoi, alors que les procédés sur lesquels elle s'appuie sont connus depuis plus d'un siècle, elle n'a jamais été jusqu'à présent utilisée que pour des applications de niche pour lesquelles les quantités étaient très limitées et le prix très secondaire. Cela est le cas même en Allemagne pourtant concernée au premier chef du fait de sa proportion importante d'éolien et de solaire photovoltaïque dans sa production d'électricité. La méthode « power-to gas » a de plus un très faible rendement du cycle électricité-gaz-électricité (power-to gas-to power) avec une perte d'environ 80 % de l'énergie initiale. On perd donc de cette façon l'essentiel de l'énergie stockée, ce qui oblige à multiplier par 5 les investissements en éolien et en solaire pour mettre une même quantité d'électricité sur le réseau ! (voir à ce sujet G.Sapy 2015 : *pertes énergétiques du schéma power-to-gas + gas-to-power*

https://www.sauvonsleclimat.org/images/articles/pdf_files/etudes/Pertes%20energetiques%20Power-to-gas-to-power.pdf)

Actuellement, les capacités de stockage possibles dans un pays comme le nôtre sont d'au moins deux ordres de grandeur plus faibles que ce qui serait nécessaire pour résoudre le problème de l'ajustement de la production à la consommation. C'est pourquoi c'est l'ajustement par la gestion des centrales pilotables qui est utilisé, le stockage ne pouvant intervenir que de manière marginale. (voir à ce sujet B.Durand 2017, « *Electricité éolienne et solaire, émissions de CO₂, et prix de l'électricité pour les ménages en Europe de l'Ouest* »

http://www.sauvonsleclimat.org/images/articles/pdf_files/etudes/Electricites%20intermittentes.pdf et en particulier l'annexe 1 de ce document).

D'autre part, ce sont les grosses centrales pilotables qui assurent le réglage de la fréquence du réseau à 50 hertz, et sa stabilité, grâce à leur inertie. Les éoliennes ne le peuvent que très partiellement, et les panneaux solaires pas du tout.

2-Les propriétés de l'électricité éolienne

2-1 principes de fonctionnement d'une éolienne

Une éolienne produit de l'électricité à partir de l'énergie cinétique (mécanique) du vent. Les pales de l'éolienne actionnées par le vent font tourner le rotor d'une génératrice d'électricité.

La puissance mécanique du vent est proportionnelle au cube de sa vitesse. C'est ainsi que la puissance d'un vent de 100 km/h est mille fois plus grande que celle d'un vent de 10 km/h. Ou encore, que la puissance de la grande tempête de Décembre 1999, où le vent a soufflé par moments à 200 km/h, était environ 8 fois supérieure à celle de nos tempêtes ordinaires, où le vent n'atteint guère que 100 km/h.

Une éolienne ne peut pas transformer toute la puissance mécanique du vent en puissance électrique, car celui-ci poursuit son chemin derrière elle à une vitesse plus faible après avoir cédé à l'éolienne une partie de son énergie. On peut démontrer (loi de Betz) que le rendement maximum de la transformation de la puissance mécanique du vent en puissance électrique sur l'arbre du rotor est atteint quand la vitesse du vent sortant est le tiers de celle du vent entrant, et que ce rendement est alors de $16/27$, soit à peu près 60 %. Le rendement de transformation de l'énergie mécanique sur l'arbre en énergie électrique produite par la génératrice est par contre excellent, de l'ordre de 95 %, à condition toutefois d'une parfaite lubrification et d'un bon entretien.

Mais une éolienne est incapable d'utiliser la totalité de l'énergie du vent dans toute la gamme de ses vitesses possibles car il faut un minimum de vent (environ 10 km/h) pour qu'elle puisse démarrer, et elle ne peut supporter mécaniquement les vents très forts, au-dessus de 90 km/h environ. Elle est alors mise en drapeau. Quand la vitesse du vent dépasse environ 35 km/h, il faut déjà diminuer progressivement la prise de ses pales au vent, comme on ferait sur un bateau en réduisant la voilure. Pour les éoliennes cela se fait par une modification de l'orientation des pales sur leur axe. C'est ce qu'on appelle le pitch. La puissance électrique délivrée n'augmente alors plus au-delà d'environ 50 à 60 km/h. **On atteint donc à ces vitesses du vent la puissance nominale de l'éolienne.**

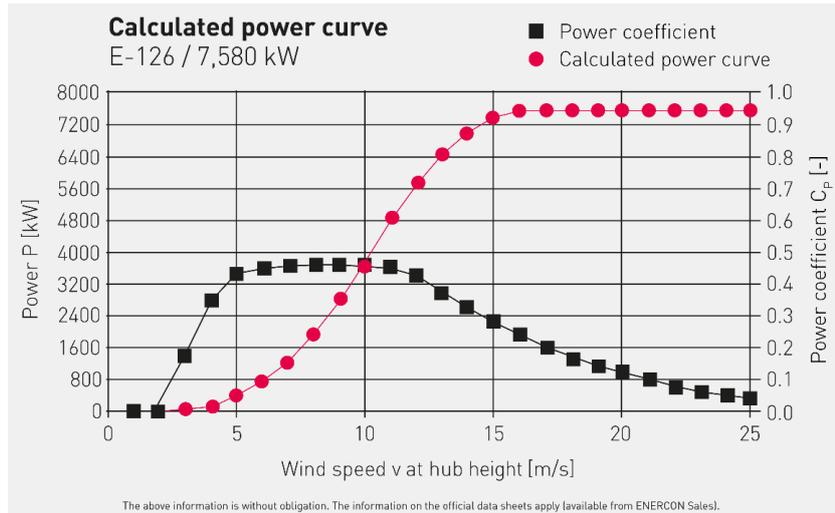


Figure 1 : En rouge, puissance délivrée par une éolienne Enercon E-126, de 7580 kW de puissance nominale, en fonction de la vitesse du vent. Cette puissance nominale est atteinte pour une vitesse de vent d'environ 16 m/s (57 km/h). En noir, coefficient de puissance C_p , c'est-à-dire proportion récupérée de la puissance mécanique du vent. Au-delà d'une vitesse de 25 m/s (90 km/h), l'éolienne est mise en drapeau pour éviter la destruction de l'éolienne. Le C_p est maximal entre environ 5 et 10 m/s (18 et 36 km/h), tandis que le facteur de charge de l'éolienne, c'est-à-dire le rapport de la puissance délivrée à la puissance nominale, augmente de 5 à 50 % environ.

Le rendement énergétique d'une éolienne, c'est-à-dire de rapport de l'énergie mécanique qu'elle fournit à l'énergie mécanique du vent qui traverse son rotor, commence par augmenter jusque vers 5 m/s de vitesse du vent est plus grande. On voit sur l'exemple de la figure 1 que ce rendement (C_p) est maximum, aux alentours de 45 %, pour les vitesses de vent comprises entre 5 et 10 m/s (18 à 36 km/h), puis diminue très rapidement. Pour connaître le rendement moyen dans l'année, il faut connaître ce qu'on appelle la distribution de Weibull, c'est-à-dire la distribution des fréquences des vitesses de vent en fonction de cette vitesse. Mais en première approximation, ce rendement moyen est à peu près proportionnel à la vitesse moyenne du vent dans l'année. Bien entendu, elle ne récupère aucune énergie du vent quand elle est mise en drapeau, pour les vents à plus de 90 km/h.

On a indiqué plus haut que le facteur de charge des éoliennes, c'est-à-dire le rapport de la puissance délivrée à la puissance nominale, se situait actuellement en France entre 15 et 30 % environ selon les sites pour les éoliennes situées à terre. Sur la figure 1, cela correspond à des puissances délivrées de 1100 kW à 2200 kW environ, soit des vitesses moyennes de vent variant de 7 m/s à 8 m/s environ. **On voit donc la grande sensibilité du facteur de charge, et donc la rentabilité, d'une éolienne à la vitesse moyenne du vent sur le site sur lequel elle est construite, puisqu'il suffit d'à peu près 1m/s de la vitesse moyenne annuelle du vent pour multiplier ou diviser par deux le facteur de charge.**

La plupart des éoliennes, et en particulier les éoliennes en mer, sont maintenant à entraînement direct, c'est-à-dire que la rotation des pales est transmise directement au rotor de la génératrice sans l'intermédiaire d'une boîte de vitesse. Mais l'électricité est alors produite sous forme de courant alternatif de fréquence et tension (voltage) variables. Une installation dite d'électronique de puissance puis un onduleur la transforment ensuite

en courant alternatif de tension (voltage) fixe, en général environ 700 volts, et à la fréquence du réseau, soit 50 hertz. Le rendement global de cette installation est au mieux de 90%. L'évacuation de cette électricité vers le réseau nécessite, quand les distances à parcourir sont importantes, ce qui est le cas en particulier des éoliennes en mer, une élévation de cette tension au moyen de transformateurs pour minimiser les pertes. Il résulte de tout cela, comme dit plus haut, une dissipation notable sous forme de chaleur inutilisable de l'électricité produite.

Tout cela fait que le rendement global (rapport de la quantité d'énergie électrique mise sur le réseau à la quantité d'énergie cinétique du vent traversant le rotor) est en moyenne annuelle nette assez faible dans la pratique, sans doute autour de 30 %.

Une éolienne, quand il y n'a pas de vent suffisant pour la faire tourner, a cependant besoin d'électricité pour le bon fonctionnement de ses annexes. Celle-ci est alors prélevée sur le réseau, et vient alors encore en déduction de la production annuelle nette.

Si l'on ajoute qu'il est nécessaire d'implanter les éoliennes à des distances de quelques centaines de mètres les unes des autres pour que les turbulences créées par les unes ne gênent pas le fonctionnement des autres, une centrale (ferme, parc) éolienne ne peut produire en fait que peu d'énergie électrique par rapport à la surface occupée, en France environ 20 GWh en moyenne par km² de surface au sol pour les fermes éoliennes terrestres, en fait encore bien moins du fait de l'existence d'une zone de sécurité autour de la centrale. C'est probablement encore moins pour les éoliennes marines, malgré un facteur de charge annuel plus important, du fait d'un plus grand éloignement des éoliennes des unes des autres, et de la nécessité d'une plus large zone de sécurité autour de la centrale pour éviter autant que faire se peut les collisions avec les navires.

2-2 L'électricité produite par une éolienne est intermittente

Nous avons vu que la production d'une éolienne était très dépendante de la vitesse du vent. Or cette vitesse fluctue considérablement en fonction des conditions météo. **Cette fluctuation se retrouve donc dans la puissance électrique d'une éolienne, et elle est considérablement amplifiée puisque la puissance du vent croît comme dit plus haut beaucoup plus vite que sa vitesse (comme le cube de cette vitesse). On appelle ce phénomène l'intermittence.**

D'autre part, ces fluctuations sont aléatoires et indépendantes de la volonté humaine. Pour cette raison, la production d'une éolienne est dite « fatale » car subie, non commandable ou encore non pilotable, par opposition à celle des centrales nucléaires, des centrales à charbon ou à gaz, et des centrales hydroélectriques de lac, qui peuvent produire à la demande, et qui sont donc pilotables par l'homme.

La figure 2 montre l'intermittence pour une centrale éolienne en mer située au large de l'Ecosse.

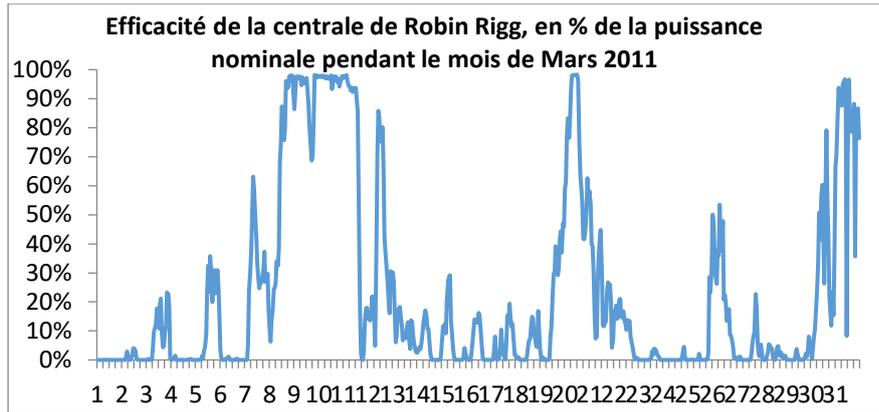


Figure 2 : Exemple de fluctuations journalières, jour après jour, de la puissance électrique délivrée par une centrale éolienne en mer : Robin Rigg, en Ecosse, pendant le mois de Mars 2011. La puissance est mesurée ici toutes les heures. **Elle est exprimée en % de la puissance maximale possible (puissance nominale)**. On observe des périodes de puissance nulle à très faible pouvant durer une semaine, correspondant à des périodes de calme (pannes de vent), et des périodes de très forte puissance correspondant à des vents très forts. Les chutes brutales de puissance pendant ces dernières correspondent à des mises en drapeau des pales pour raison de sécurité. **Il est évident que de tels profils de production ne correspondent absolument pas à un profil des besoins du consommateur en électricité.** Source H.Flocard.

On observe exactement les mêmes tendances sur la figure 3 qui représente les fluctuations de la production électrique des centrales en mer allemandes pendant le mois de Septembre 2017

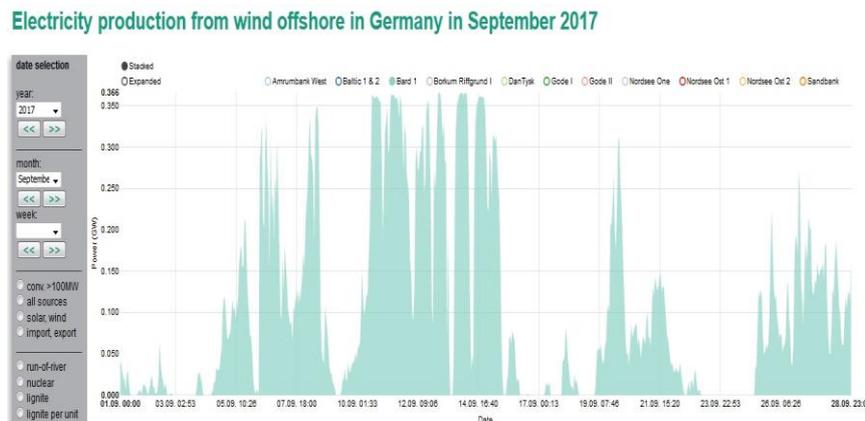


Figure 3 : profils de production journalière de l'ensemble des centrales éoliennes en mer allemandes en septembre 2017.

Pendant longtemps, les partisans de l'éolien ont affirmé que cela n'avait pas d'importance, et ont brandi le slogan «il y a toujours du vent quelque part». Selon eux, il suffisait d'avoir un suffisamment grand nombre d'éoliennes dispersées géographiquement pour que ces éoliennes s'épaulent l'une l'autre, certaines produisant alors suffisamment de courant pour se substituer aux éoliennes défailtantes ailleurs. Cette fable n'a tenu que le temps que les gestionnaires des réseaux de transport d'électricité, comme RTE en France, publient systématiquement les productions d'électricité éolienne à l'échelle européenne, et que l'on constate que c'est très largement faux: certes le cumul des

productions éoliennes à terre ou en mer des principaux producteurs européens (figure 4) montre un amortissement (qu'on appelle foisonnement) du profil par rapport à la production d'une seule centrale, comme celle de Robin Rigg (figure 2). On observe cependant une grande similitude des profils d'un pays à l'autre. **Il subsiste donc une forte intermittence de la production totale. Cela provient de ce que les phénomènes météorologiques intenses, anticyclones produisant des « pannes de vent » et dépressions à l'origine de vents très forts, sont souvent à l'échelle de l'Europe de l'Ouest tout entière.** (voir

http://www.sauvonsleclimat.org/images/articles/pdf_files/etudes/A%20Eolien%20en%20Europe,%20foisonnement%20et%20production%20de%20H2.pdf).

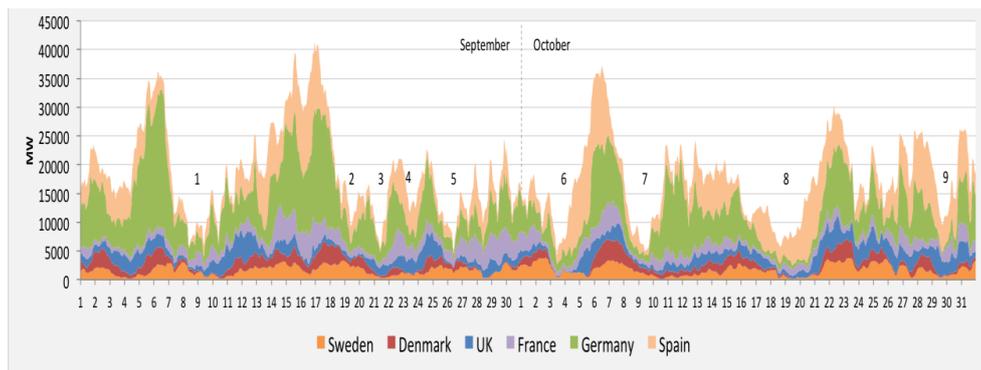


Figure 4 : production cumulée d'électricité éolienne de 6 pays européens en Septembre et Octobre 2015. Source Euan Mearns.

Sur la figure 4, qui concerne les mois de Septembre et d'Octobre 2015, les mois de Septembre et Octobre étant pourtant en moyenne bien ventés, on observe par exemple une dizaine de périodes de très faible production et 4 à 5 pics de très forte production .

Une étude très récente de l'agence allemande VGB power tech (**Thomas Linneman and Guido Vallana : Wind Energy in Germany and Europe :**

<https://www.vgb.org/vgbmultimedia/PT201903LINNEMANN.pdf>) confirme parfaitement ces observations en montrant que les fluctuations de l'éolien sont bel et bien fortement corrélées entre l'Allemagne et les 17 pays européens qui représentent l'essentiel de la production éolienne en Europe (figure 5).

D'autre part, le profil de production d'une centrale éolienne n'est pas stable dans le temps : il se modifie d'un mois à l'autre et d'une année à l'autre. Il en est de même à l'échelle européenne.

Windenergie in Deutschland und Europa: Status quo, Potenziale und Herausforderungen

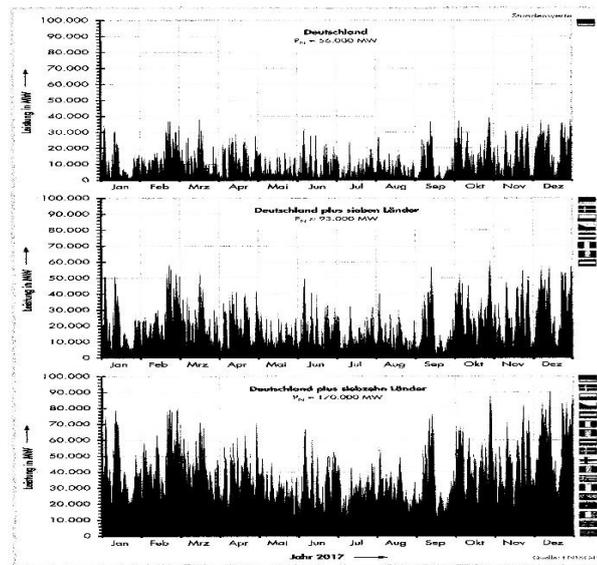


Figure 5 d'après VGB power tech: profils en 2017 de la production éolienne 2017 pour l'Allemagne, ses 7 voisins immédiats, et les 17 pays européens les plus producteurs. On constate la très grande similitude de ces profils et donc l'impossibilité pour un pays de compenser un fort déficit éolien, ou au contraire un excès de production dans l'autre. Notons que les excès de production des différents pays s'ajoutant pour l'essentiel, un très fort développement de l'éolien dans l'ensemble des pays européens nécessitera la capacité de gérer la circulation d'énormes quantités d'électricité, ce qui suppose un impressionnant et très coûteux développement du réseau européen actuel, et une très forte augmentation de sa puissance.

2-3 Les éoliennes ne peuvent pas contribuer par elles-mêmes à la stabilité en fréquence du réseau électrique :

On l'a déjà signalé plus haut, leur inertie est en effet trop faible pour cela. Ce sont les grosses centrales pilotables, nucléaires, à charbon ou à gaz, qui assurent cette stabilité. Des recherches sont en cours pour améliorer ce défaut majeur des éoliennes, sans véritable succès jusqu'à présent. En effet la physique ne les aide pas, car leur vitesse de rotation est beaucoup trop faible.

2-4 La production d'une éolienne est très faible par unité de surface au sol occupée

On considère qu'en France on peut installer en moyenne sur un km² de surface au sol environ 10 MW de puissance d'éoliennes terrestres qui produiront environ 20 GWh par an. Mais il faut aussi une distance de sécurité, qui est en France de 500 m entre les habitations et l'éolienne la plus proche. Cette distance est d'ailleurs très insuffisante : dans beaucoup de pays, elle est bien supérieure (par exemple 10 fois la hauteur des éoliennes en Bavière, soit de 1 à 2 km selon la hauteur des éoliennes). Les installations terrestres françaises les plus courantes sont des « parcs éoliens » de 4 à 5 éoliennes de 2 à 3 MW occupant environ 1 km². **C'est donc 4 km² rendus inhabitables et non 1 que l'on occupe en réalité pour 10 MW d'éolien terrestre produisant 20 GWh par an.** Pour comparaison, la centrale nucléaire du Blayais, d'une puissance de 3,6 GW, occupe 2 km² avec sa zone de sécurité pour produire 25 000 GWh (25 TWh) par an, soit deux fois

moins de surface pour plus de mille fois plus d'électricité. A cela les partisans de l'éolien répondent que l'essentiel de la surface occupée est utilisable pour l'agriculture. Certes, encore que travailler avec d'immenses hélices tournant au-dessus de sa tête ne soit pas très confortable pour l'agriculteur. Mais ces surfaces deviennent inutilisables pour d'autres usages, et en particulier pour l'habitat.

Le développement prévu de l'éolien en France ne peut donc conduire qu'à l'occupation de surfaces considérables, **qui deviendront de fait inhabitables en permanence**. Pour bien réaliser ce que cela signifie, on peut par exemple visiter certaines régions d'Allemagne ou d'Espagne, qui sont déjà équipées au niveau où notre gouvernement semble vouloir absolument amener notre pays. Il entraînera des conflits d'usage de plus en plus vifs, et des destructions de plus en plus visibles de l'environnement (déboisement, construction de voies d'accès, de lignes électriques...) et une défiguration des paysages ruraux de régions entières, comme c'est déjà le cas par exemple dans la Somme. Il présentera un danger croissant pour la faune sauvage, oiseaux et chauves-souris en particulier, et plus généralement pour la biodiversité. **On réalise aussi de plus en plus que les éoliennes pourraient bien poser des problèmes de santé à leurs riverains, hommes comme animaux, du fait des sons et vibrations qu'elles produisent, et en particulier des infrasons de fréquence très basse, inaudibles mais susceptibles cependant d'agir sur la physiologie des organismes jusque parfois à des distances considérables, de l'ordre de la dizaine de km avec les plus puissantes éoliennes actuelles** (<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2015.00031/full>.)

2-5 la production d'une éolienne, d'une centrale éolienne, et même celle d'un pays ou de l'Europe, ne coïncide pratiquement jamais avec la demande des consommateurs

Le profil de la production d'électricité éolienne est on l'a vu aléatoire à toute échelle de temps, minute, heure, mois ou année et ne peut coïncider que par hasard avec la demande des consommateurs, qui elle, a un profil assez stable dû aux habitudes communes de la plus grande part des utilisateurs (figure 6)

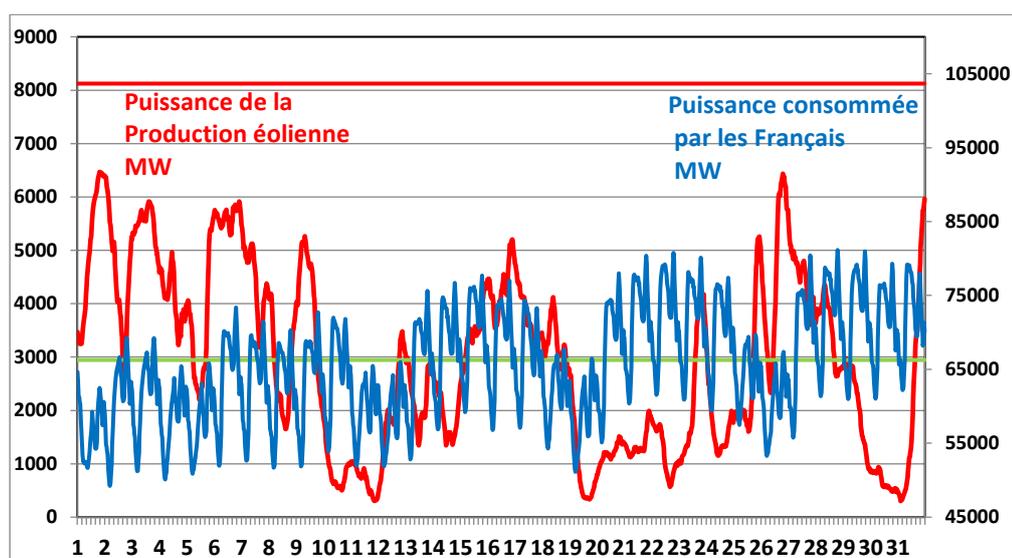


Figure 6 : comparaison, pour le mois de janvier 2014, des variations au cours du temps de la puissance électrique cumulée de la production de l'ensemble des éoliennes françaises (courbe

rouge, échelle de gauche, en MW), avec celles de la puissance électrique cumulée de la demande de l'ensemble des consommateurs français (courbe bleue, échelle de droite, en MW). La ligne horizontale verte représente pour ce mois à la fois la moyenne de la puissance de la production éolienne (échelle de gauche) et la moyenne de la puissance consommée par les Français (échelle de droite) : la puissance moyenne consommée a été d'environ 66 000 MW (66 millions de kW) et la puissance moyenne de la production éolienne de 3 000 MW (3 millions de kW) soit 22 fois moins. La ligne horizontale rouge représente la puissance cumulée maximale de l'ensemble des éoliennes installées à cette époque, soit 8 100 MW. Courtoisie H.Flocard.

Cette figure superpose, pour le mois de Janvier 2014, les variations de la demande cumulée de puissance électrique des consommateurs français, en bleu, et celles de la puissance électrique cumulée produite par les éoliennes françaises, en rouge. On observe très bien l'énorme variabilité de cette production éolienne. Pour une comparaison visuelle plus aisée des deux courbes, celles-ci ne sont pas à la même échelle, comme il est expliqué dans la légende. De plus elles ont été décalées pour que leurs valeurs moyennes se superposent sur la ligne verte.

L'échelle de gauche correspond à la **production totale d'électricité des éoliennes terrestres françaises** (il n'y a pas encore d'éoliennes en mer en fonctionnement en France) pendant ce mois de Janvier 2014. On observe les énormes fluctuations de puissance de cette production, qui résultent de son intermittence. **L'importance de ces fluctuations pose en lui-même un gros problème au réseau, qui devra être surdimensionné si la production éolienne continue à croître beaucoup en France, pour résister à ces sautes brutales de puissance.**

L'échelle de droite correspond à celle de la consommation nationale. Comme dans les autres pays industrialisés, la puissance de la consommation d'électricité varie en France de façon cyclique à l'échelle de la journée entre une valeur basse pendant la nuit et des valeurs plus hautes le jour, avec pendant le jour deux **pointes** de consommation, l'une aux alentours de midi, et l'autre aux alentours de 19 heures. Les consommations sont aussi plus faibles les samedis et dimanches. Elle varie aussi, mais plus lentement selon la saison et la température, d'une part du fait de l'habitat équipé en chauffage électrique mais aussi en période de grand froid à cause de l'utilisation de chauffages électriques d'appoint (radiateurs mobiles) qui sont branchés pour compenser les insuffisances du chauffage thermique (fioul, gaz et bois). C'est ainsi que l'on observe pendant ce mois de Janvier 2014 une augmentation progressive de la consommation moyenne du début à la fin du mois, liée à un refroidissement progressif. **Mais cette consommation oscille entre des limites qui sont très prévisibles à partir des statistiques bien connues de comportement des usagers.**

La puissance effective cumulée moyenne délivrée par les éoliennes était pendant cette période d'environ 3 000 MW (ligne horizontale du bas, en vert), alors que leur puissance cumulée nominale était d'un peu plus de 8 100 MW. Le rapport des deux, ici 37 %, est ce qu'on appelle le **facteur de charge** pour la période considérée. Il est ce mois-ci exceptionnellement élevé parce que le mois de Janvier est souvent très venté. Mais la moyenne **annuelle** du facteur de charge en France pour des éoliennes terrestres est plutôt de l'ordre de 23 %. La puissance moyenne consommée (ligne horizontale verte, échelle de droite) est quant à elle d'à peu près 66 000 MW, soit 22 fois plus.

On pourrait en déduire que pour fournir la consommation moyenne d'électricité française uniquement avec les éoliennes pendant ce mois, il aurait suffi d'en avoir installé 22 fois plus que ce qui existait en Janvier 2014. **Mais il en aurait fallu bien plus pour garantir à tout moment pendant ce mois une production d'électricité au moins égale à la consommation** : on remarque en effet que les 12, 20 et 31 Janvier, la production des éoliennes n'était que de 300 MW, faute de vent suffisant bien entendu, alors qu'au même moment la consommation était d'environ 63 000 MW, soit 210 fois plus. C'est donc en fait 210 fois plus de puissance éolienne nominale, soit 1 700 000 MW (1 700 GW) qu'il aurait fallu avoir installé pour garantir la consommation française à ces moments-là. Comme les éoliennes terrestres modernes font actuellement environ 3 MW de puissance nominale, ce sont donc environ 570 000 éoliennes de 3 MW (de 180 mètres de haut pales comprises) qu'on aurait dû implanter, soit en moyenne un peu plus d'une par km² du territoire français métropolitain !!! Au coût actuel d'environ 1,5 million d'euros par MW nominal, l'investissement total aurait été d'environ 2550 milliards d'euros, soit de quoi construire 250 réacteurs nucléaires au prix de l'EPR de Flamanville (alors que 40 de ces réacteurs permettraient de satisfaire l'essentiel de la consommation du pays) !!!

Mais en érigeant autant d'éoliennes on créerait un autre problème : on observe en effet que le premier et le 27 Janvier, la puissance effective des éoliennes a atteint environ 6500 MW, soit 80 % de leur puissance nominale. La puissance cumulée de ces 570 000 éoliennes aurait alors atteint environ 1 400 000 MW (1400 GW) alors que les besoins n'étaient que d'environ 60 000 MW !!! Que faire de cette énorme production excédentaire ? L'exporter dans les pays voisins, mais encore faut-il qu'ils en aient besoin, alors que justement leurs éoliennes produiraient au même moment de considérables excédents ? Passer cette production par pertes et profits, en mettant les éoliennes en drapeau dès que leur production dépasse la consommation ? Cela ferait baisser leur facteur de charge bien au-dessous des 37 % observés figure 3, illustrant une fois de plus l'énorme gaspillage associé à ce gigantesque investissement éolien. Ou gaspiller encore plus d'argent en transformant cette électricité en hydrogène par électrolyse de l'eau, comme c'est la proposition à la mode en ce moment ?

3 – Les conséquences

3-1 La consommation d'électricité, en France et en Europe ne peut actuellement et pour longtemps, faute de capacités suffisantes de stockage, être garantie que par des centrales pilotables, et non par des éoliennes qui sont non-pilotables (ni par des panneaux solaires qui le sont aussi).

Nous avons vu qu'il y avait deux raisons à cela :

- les centrales pilotables sont nécessaires pour ajuster à tout instant la production d'électricité à sa consommation.
- les centrales pilotables sont indispensables pour stabiliser la fréquence du réseau.

Une grande question est de savoir quelle proportion d'électricité éolienne peut être mise dans le mix électrique, c'est-à-dire dans l'ensemble des productions d'électricité des différents types de centrales. Jusqu'à présent, les pays qui n'ont accès qu'à de faibles ressources en hydroélectricité et ne veulent pas de nucléaire comme l'Allemagne ou

l'Irlande n'ont pas encore réussi à dépasser 20 %, et cela déjà au prix d'une invasion spectaculaire de leurs paysages ruraux par des éoliennes de plus en plus gigantesques.

3-2 L'éolien ne permet pas de diminuer la puissance (capacité) totale des centrales pilotables d'un pays.

En effet l'éolien est soumis comme c'est visible sur les figures 2 à 5 à des « pannes de vent » qui peuvent être à l'échelle de l'Europe. Lorsqu'elles se produisent, les centrales commandables doivent être capables de fournir instantanément la puissance manquante pour garantir la consommation et éviter l'effondrement du réseau électrique (le «black out »).

Cette puissance totale doit être dimensionnée pour faire face à une absence de vent au plus fort de l'hiver pendant la pointe de consommation de 19-20 heures. A noter qu'alors des centrales solaires ne sont alors d'aucun secours car il fait déjà nuit.

C'est pourquoi le développement des électricités non pilotables, éolien et solaire, ne s'est accompagné d'aucune diminution des capacités (puissances) totales des centrales pilotables, en Allemagne aussi bien qu'en France (Figure 7) et plus généralement nulle part en Europe. En Allemagne, la fermeture des réacteurs nucléaires a été compensée par une augmentation des capacités des centrales à gaz pour l'essentiel, d'un peu de centrales à biomasse, et les capacités de centrales à charbon ont été conservées.

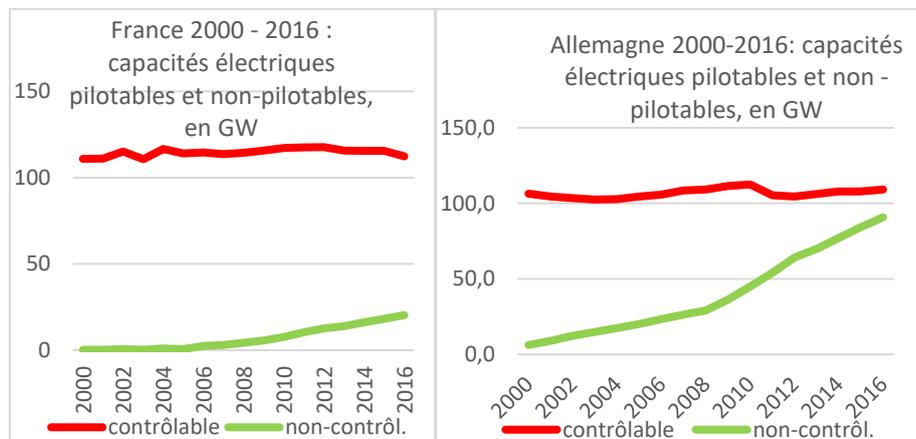


Figure 7 : France et Allemagne : comparaison pour la période 2000-2016 de l'évolution des capacités (puissances) totales de centrales contrôlables (pilotables) et non-contrôlables (non-pilotables) (éolien et solaire photovoltaïque). Pour la France, données Entso-e. Pour l'Allemagne, d'après N.Meilhan <http://leseconoclastes.fr/2017/09/un-vent-de-desinformation-souffle-sur-le-monde-2-0/>

3-3 L'éolien et le solaire, même avec une forte diminution de leurs prix à la production, ne peuvent que faire augmenter le prix de l'électricité pour les ménages.

Cela n'est toujours pas compris par l'opinion publique du fait de la propagande effrénée des promoteurs de l'éolien. Il y a trois raisons à cette augmentation automatique:

- 1- Du fait de l'incapacité pour l'éolien, ou le solaire photovoltaïque, non-pilotables, de permettre la diminution des capacités de centrales pilotables, leurs puissances nominales ne peuvent que s'ajouter à celles de pilotables. Il y a donc un double investissement pour produire la même quantité d'électricité.
- 2- Pour une même production totale, les centrales pilotables sont obligées de partager la production avec les non- pilotables et produisent donc beaucoup moins qu'elles ne le pourraient, en d'autres termes leur facteur de charge est contraint de diminuer. Comme elles ont toujours à peu près les mêmes charges fixes (salaires, remboursement du capital, maintenance...), le coût de production au kWh de l'électricité qu'elles produisent augmente.
- 3- Le développement du non-pilotable demande une extension et un renforcement considérables des réseaux électriques, ce qui est très coûteux. 4 000 km de lignes à très haute tension sont par exemple actuellement en construction en Allemagne pour cela, malgré la forte opposition des populations concernées.

Les figures 8 et 9 permettent de mieux comprendre tout cela : La figure 8 représente le cas d'un ménage qui, séduit par les arguments des promoteurs, décide de se couper du réseau et de ne produire son électricité qu'avec une éolienne. Une fois l'éolienne installée, ce ménage constate immédiatement ce qu'il n'avait pas compris jusqu'alors: la production de cette éolienne (courbe rouge) ne correspond pas du tout à sa consommation (courbe bleue). Bien sûr, il peut essayer de ne consommer qu'en fonction de la vitesse du vent, mais l'exercice est impossible, d'autant plus que le profil de production ne sera pas le même d'un mois sur l'autre.



Figure 8 : Schéma montrant l'impossibilité pour une maison coupée du réseau électrique de produire sa consommation d'électricité uniquement avec une éolienne, et le recours nécessaire soit à un groupe électrogène, soit à une batterie de stockage

Il a alors le choix entre deux solutions, ou un mix des deux :

-Acheter un groupe électrogène qui produira quand le vent sera insuffisant, soit environ 80 % du temps dans l'année.

_Acheter une batterie de stockage qui accumulera l'électricité produite par vent fort, et la restituera par vent faible.

Il lui faudra de plus acheter des câbles de liaison et un système électronique de gestion. **Il constatera alors que l'électricité leur coûtera bien plus cher que le seul coût de production de l'électricité éolienne.**

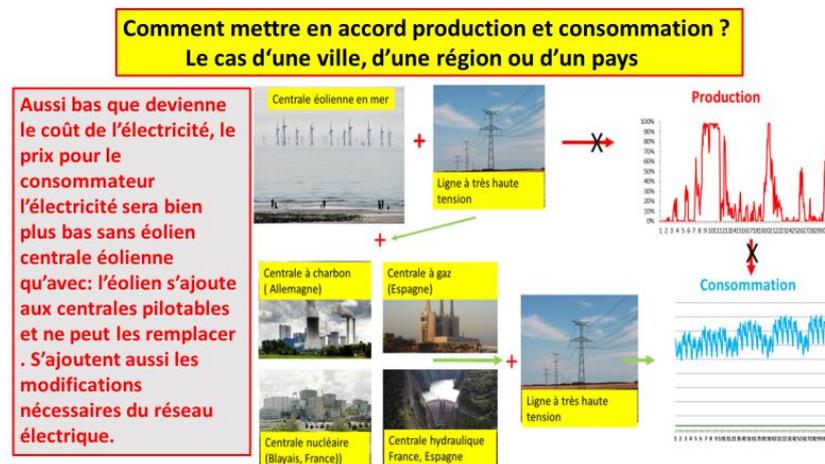


Figure 9 : Schéma montrant l'impossibilité pour un pays de produire sa consommation d'électricité uniquement avec des éoliennes, et le recours nécessaire à des centrales pilotables.

Dans le cas d'une ville ou d'un pays (figure 9), il est également impossible de ne produire l'électricité qu'ils consomment uniquement avec des éoliennes (ou du solaire photovoltaïque, pour les mêmes raisons). De plus, étant donné l'énormité des quantités d'électricité en jeu, le stockage de l'électricité ne peut intervenir que marginalement. Il faut donc recourir à ces centrales pilotables, qui jouent le rôle du groupe électrogène de la maison isolée.

Les gouvernements, ne pouvant pas répercuter les augmentations sur les entreprises exportatrices ou électro-intensives pour raison de concurrence internationale, les répercutent essentiellement sur les ménages et les petites entreprises non exportatrices.

Les augmentations dues au développement des électricités non-pilotables en fonction de leurs proportions dans le mix électrique sont évidentes pour l'Allemagne, et maintenant pour la France (figure 10)

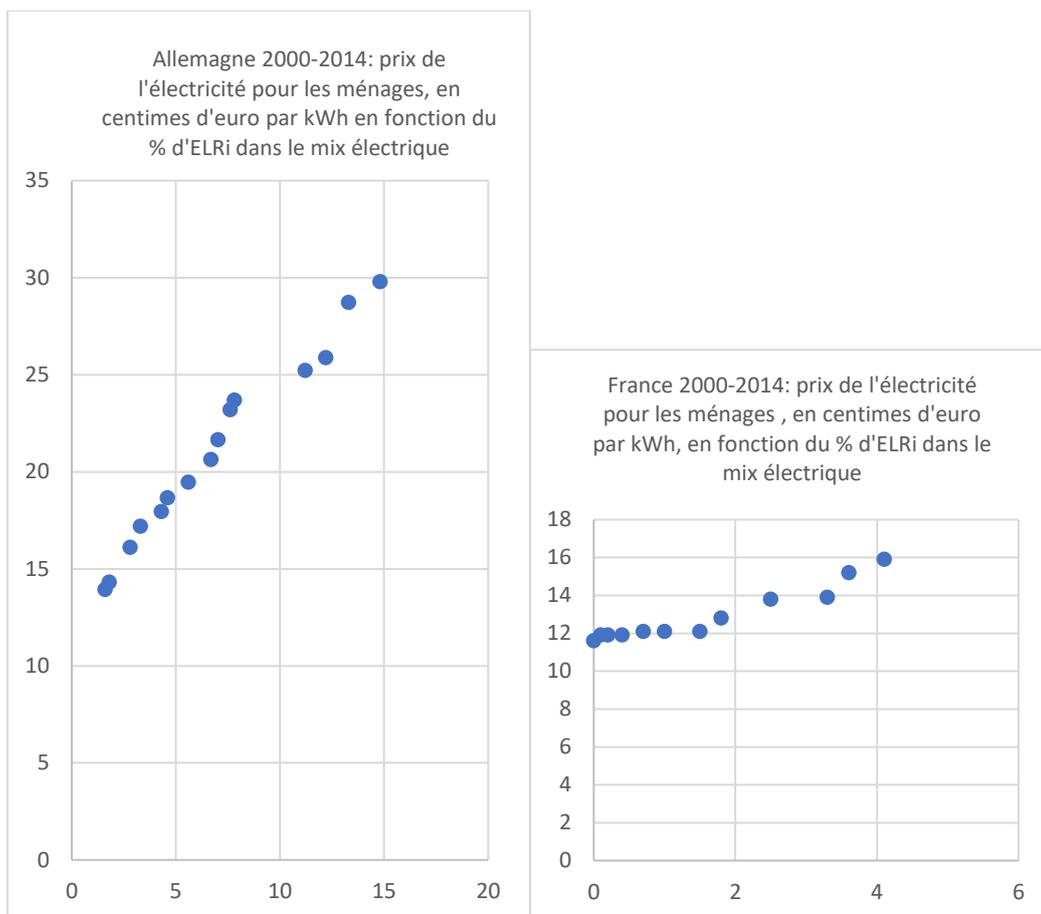


Figure 10 : Allemagne (à gauche) et France (à droite) 2000-2014: Relation entre, en abscisses la proportion de non-pilotables (Electricités renouvelables intermittentes (ELRi) dans le mix électrique en %, et en ordonnées le prix de l'électricité payé par les ménages en centimes d'euros par kWh, de 2000 à 2014. On observe pour l'Allemagne une augmentation quasi linéaire, à raison de 6,4 % d'augmentation de prix par % supplémentaire de non-pilotables dans le mix électrique, et pour la France, une augmentation également quasi linéaire mais au-dessus d'une proportion de 1,5 % de non pilotables à raison d'environ un tiers d'augmentation de prix pour 3,5 % supplémentaires d'ELRi. Cette augmentation en France a commencé dès le début de mise en œuvre du développement de l'éolien et du solaire acté par le Grenelle de l'environnement.

3-4- L'éolien (et le solaire photovoltaïque) ne permettront pas de fermer de réacteurs nucléaires en France.

En effet, l'impossibilité actuelle de diminuer la puissance totale de nos centrales pilotables pour garantir en tout temps la consommation implique que pour fermer un réacteur nucléaire, il faut le remplacer par la même puissance de centrales pilotables, qui ne peuvent être chez nous, faute de disposer de suffisamment de ressources hydroélectriques ou en biomasse, que des centrales à combustibles fossiles. C'est d'ailleurs exactement ce qui s'est passé en Allemagne, où les réacteurs nucléaires fermés ont été remplacés pour l'essentiel par des centrales à gaz, et où les puissances existantes de centrales à charbon ont été intégralement conservées.

Le développement de l'éolien (et du solaire photovoltaïque) ne permettront donc pas en France de fermer de réacteurs nucléaires en France, ce qu'a peut-être enfin

commencé à comprendre Monsieur Nicolas Hulot quand il a été placé en charge des réalités et non des rêves, mais toujours pas ses « amis ».

3-5 L'éolien (et le solaire photovoltaïque) ne peuvent pas faire diminuer les émissions de CO₂ de la production d'électricité française, mais au contraire contribueront à les faire augmenter.

Il y a à cela une très bonne raison : **la production d'électricité française est déjà pratiquement décarbonée** : des grands pays industrialisés, la France est celui dont les émissions de CO₂ de la production d'électricité sont les plus faibles, dix fois inférieures à celle de l'Allemagne, où règnent les centrales à charbon (figure 11). Elle le doit à l'importance du nucléaire et de l'hydroélectricité dans son mix électrique.

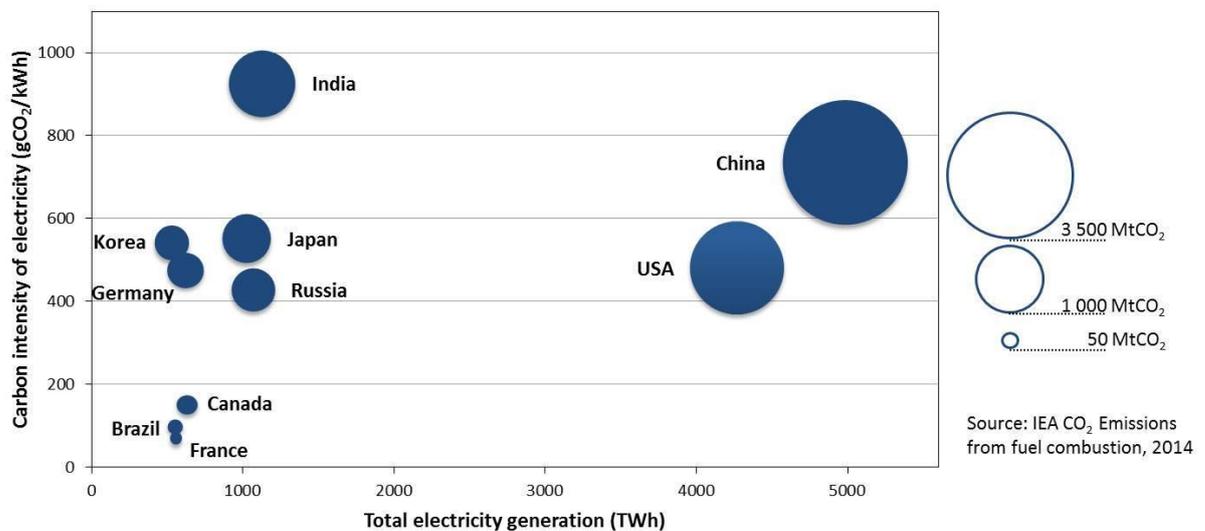


Figure 11 : Emissions de CO₂ de la production électrique des dix premiers producteurs d'électricité du monde. Sont indiquées en abscisse la production brute totale d'électricité en térawattheures (TWh), et en ordonnée la quantité de CO₂ émise en grammes par kWh produit. La taille des cercles est proportionnelle aux quantités totales de CO₂ émises.

Mais le développement du non pilotable accompagné de la réduction de notre capacité en nucléaire, qui est la politique affichée par la récente loi sur la transition énergétique et la croissance verte (LTECV) votée par le Parlement nous conduit tout droit à une augmentation considérable des émissions de CO₂ de notre production d'électricité, pour la mettre au même niveau que celles de l'Allemagne (figure 12), de plus en plus dénoncée par la communauté internationale. **La mise en application de la LTECV conduira donc au résultat inverse de celui affiché officiellement, qui est la diminution de nos émissions de CO₂ pour éviter une augmentation dangereuse de la température de la surface terrestre.**

Cette contradiction n'a peut-être pas échappé non plus à Monsieur Hulot. Malheureusement, il est tenu de faire appliquer la loi ! Mais notre parlement peut à nouveau légiférer !

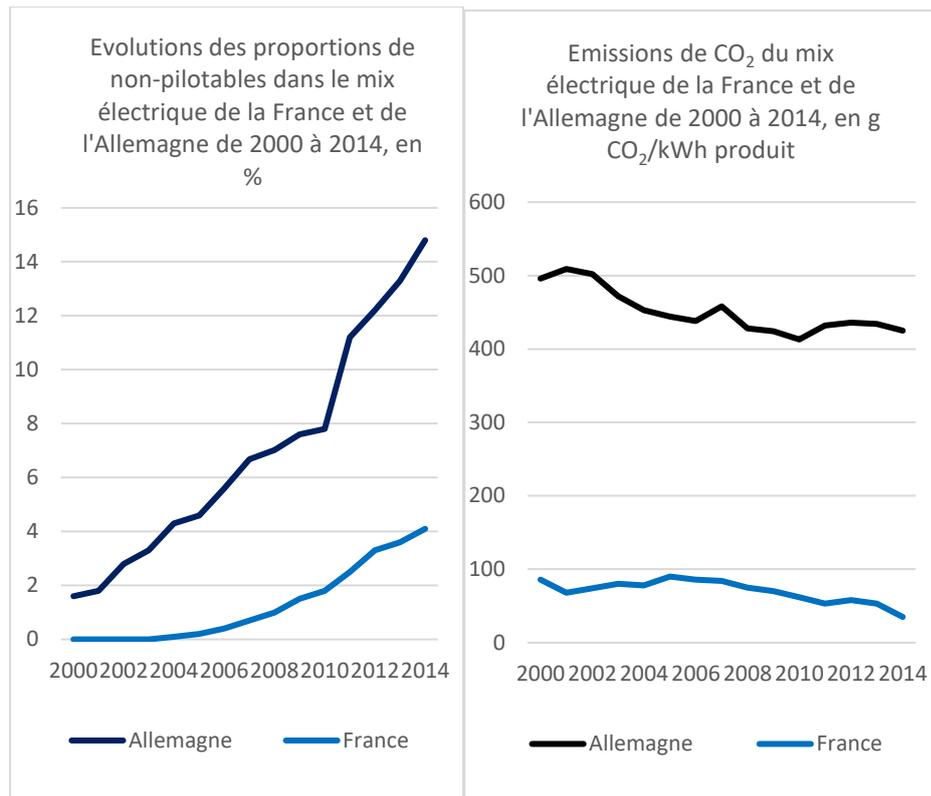


Figure 12 : Allemagne et France : comparaison, pour la période 2000-2014, des évolutions, à gauche de la proportions de non-pilotables (ELRI) dans le mix électrique, en %, et à droite, des émissions de CO₂ de ce mix, en g/kWh .

On observe que l'Allemagne, malgré une progression spectaculaire de la proportion d'éolien et de solaire (ELRI) dans son mix électrique, n'a pas réussi à faire baisser vraiment ses émissions de CO₂ de 2000 à 2014. La baisse la plus sensible a eu lieu avant 2006, quand la proportion d'ELRI était encore faible, et elle est en fait due principalement au remplacement de centrales à charbon par des centrales à gaz, dont les émissions de CO₂ sont d'environ la moitié par kWh produit que celles des centrales à charbon. Par la suite, l'Allemagne n'a pas poursuivi cette politique, pour une raison de coût, mais aussi à cause de la grande puissance du lobby et des syndicats charbonniers dans ce pays. Par rapport à 2014, les émissions de CO₂ de sa production électrique ont encore augmenté :

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/fuenf-millionen-tonnen-mehr-treibhausgase-a-1161374.html>

Il est ironique que l'Allemagne, qui s'affiche volontiers comme La Mecque du respect de l'environnement, soit un des rares pays au monde qui n'ait pas réussi à faire baisser les émissions de CO₂ de son électricité depuis 2010, malgré une progression spectaculaire de sa production d'électricité éolienne et solaire, alors qu'elle clame l'urgence d'une diminution des émissions de CO₂, dans la ligne des objectifs affichés par la COP 21 à Paris. Voir <http://lemontchampot.blogspot.fr/2017/10/eoliennes-la-fin-dun-modele.html>

Notons aussi que les émissions de ses centrales à combustibles fossiles en particulier à charbon, s'accompagnent de l'émission de polluants atmosphériques dont plusieurs études ont signalé la dangerosité, non seulement en Allemagne, mais dans l'Europe

entière (voir par exemple <http://lemontchampot.blogspot.fr/2017/12/la-face-cachee-des-emissions-allemandes.html>)

Quant à la France, ses émissions ont été spectaculairement inférieures à celle de l'Allemagne pendant toute cette période. On pourrait cependant croire que la diminution observée après 2005 est due au développement des ELRi, malgré son peu d'importance. Mais en fait ce développement n'a pratiquement joué aucun rôle : comme en Allemagne, cette diminution est due bien plus au remplacement progressif de centrales à charbon par des centrales à gaz. En outre, en 2013, 3 réacteurs nucléaires de la centrale du Tricastin, auparavant affectés aux besoins d'électricité de l'enrichissement de l'uranium par diffusion gazeuse, ont pu, suite au remplacement de ce procédé par l'ultracentrifugation, 50 fois moins consommateur d'électricité, être affectés à la consommation ordinaire, diminuant ainsi encore le recours aux centrales à combustibles fossiles. Ce sont donc ces réacteurs nucléaires, qui sont principalement à l'origine de la diminution de ces émissions de CO₂.

3-6 L'électricité non-pilotable (éolien mais aussi solaire photovoltaïque) n'est pas strictement renouvelable, car elle dépend pour sa construction et son fonctionnement de sources d'énergie non renouvelables. Elle ne peut de ce fait garantir la sécurité de l'approvisionnement électrique ni de notre pays, ni du reste de l'Europe.

En effet, si l'énergie mécanique du vent et celle des radiations solaires sont renouvelables, (mais cependant à un rythme imposé par leur flux (débits) naturels, assez faibles par unité de surface comme on l'a vu pour l'éolien, mais aussi pour le solaire), l'électricité éolienne et l'électricité photovoltaïque ne le sont que dans la mesure où leurs installations de production peuvent fonctionner indéfiniment.

Ce n'est pas le cas pour deux raisons :

- **Ni les éoliennes, ni les panneaux photovoltaïques ne peuvent être fabriqués avec la seule énergie qu'ils produisent et cela de très loin : Leur fabrication demande donc la contribution d'autres formes d'énergie, essentiellement celles fournies par les combustibles fossiles dans les pays qui les fabriquent (Allemagne, Chine, Danemark, Espagne...)**
- **En l'absence de possibilités suffisantes de stockage, elles ne sont pour l'instant utilisables pour l'essentiel qu'associées à des centrales pilotables, utilisant principalement les combustibles fossiles dans la plupart des pays, et le nucléaire en France.**

L'électricité éolienne et l'électricité photovoltaïque ne sont donc pour l'essentiel pas plus renouvelables que ces sources d'énergie qui les assistent dans leur fabrication et leur fonctionnement, et n'offrent pas plus de sécurité de notre approvisionnement énergétique que celles-ci.

Cette situation est très préoccupante pour l'Europe à cause de la diminution très rapide depuis 2000 de ses productions de combustibles fossiles, qui l'oblige à dépendre dans une proportion de plus en plus importante de l'extérieur pour son approvisionnement (figure 13).

D'après la Statistical review of world energy 2016 de la compagnie britannique British Petroleum (<https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>), la consommation de combustibles fossiles de l'ensemble des secteurs consommateurs (production électrique mais aussi transport, chauffage, etc.) représentait en 2015 une proportion plus faible de la consommation totale d'énergie primaire (**hors bois de chauffage non commercialisé**) dans l'ensemble **EU 28 + Norvège** qu'il y a 50 ans (**figure 13 partie gauche**). Mais cette proportion demeure toujours très élevée, de l'ordre de 75% !

Les ELRi (Electricités Renouvelables intermittentes = éolien + solaire photovoltaïque) ne représentaient encore qu'environ l'équivalent de 30 Mtep, soit un peu moins de 2 % de la consommation totale d'énergie primaire !

La diminution de la consommation de combustibles fossiles, et des émissions de CO₂ qui vont avec, n'a donc été que très peu due en Europe au développement des ELRi, mais à ceux du nucléaire et de l'hydroélectricité, et à des économies d'énergie, volontaires, ou forcées par la crise économique.

On observe aussi que malgré une diminution de consommation de combustibles fossiles très sensible depuis 2006, atteignant environ 300 Mtep en 2015, le déclin des productions de combustibles fossiles de l'ensemble EU 28 + Norvège est pour cette période à peu près de la même valeur.

La dépendance quantitative de l'Europe aux combustibles fossiles importés n'a donc pas décliné pendant cette période, et elle a même augmenté en proportion de ses besoins en énergie primaire, de 60 à 70 % environ.

Toujours selon la BP statistical review, la **partie droite** de la figure 8 montre les productions de combustibles fossiles de l'ensemble EU 28 + Norvège de 1981 à 2015 : le charbon décline depuis 1982, le pétrole depuis 2000 et le gaz depuis 2004. La période de prix très élevés de 2003 à 2014 n'a pas inversé le cours de l'histoire, malgré les progrès des techniques de production et les meilleures rentabilités des exploitations pendant cette période. Ce phénomène inéluctable est la conséquence de l'épuisement des réserves.

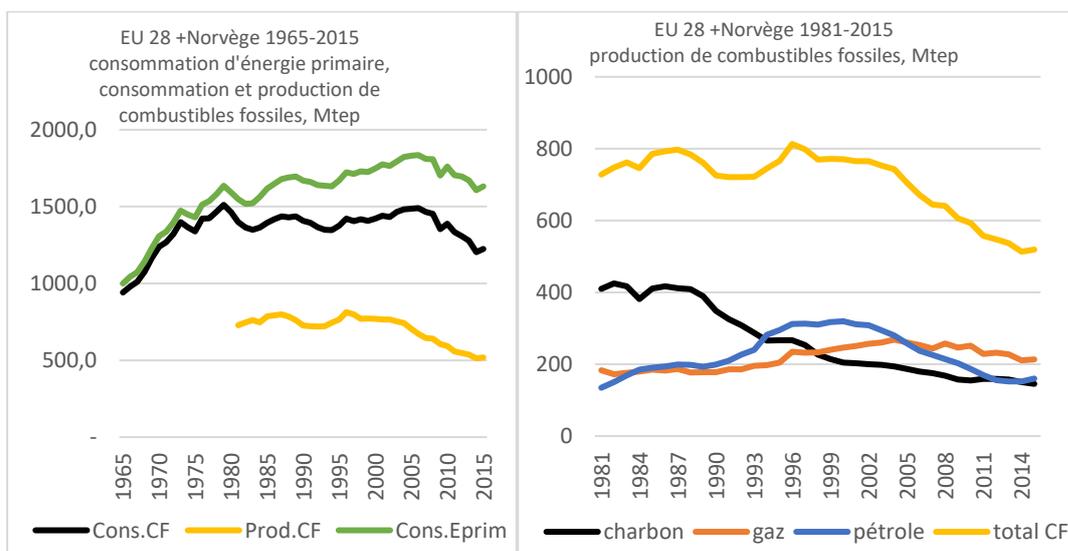


Figure 13: Europe des 28 + Norvège : **A gauche**, évolution sur les cinquante dernières années de la consommation d'énergie primaire (Cons.Eprim), de la consommation de combustibles fossiles (Cons.CF) et de la production de combustibles fossiles (Prod.CF) ; **A droite**, évolution des productions de charbon, gaz, pétrole et du total des combustibles fossiles (total CF) de 1981 à 2015 (BP ne donne pas de statistiques de production avant 1981). La consommation d'énergie primaire des statistiques de la BP ne comprend pas celle de bois de chauffage, mais celle-ci ne représente en moyenne en Europe qu'environ 5 % de la consommation d'énergie primaire. L'unité d'énergie est le million de tonne-équivalent-pétrole (Mtep). Source : BP statistical review of world energy 2016.

Mais ce phénomène d'épuisement des réserves de combustibles fossiles, s'il est déjà très marqué pour l'Europe, ensemble de vieilles nations qui puisent depuis longtemps déjà dans leurs ressources énergétiques, est aussi en cours à l'échelle mondiale, en premier lieu pour le pétrole. Les géologues des combustibles fossiles annoncent pour dans 10 à 15 ans le début du déclin des productions mondiales cumulées de combustibles fossiles, tant est grande notre consommation actuelle ! Et dans l'état actuel des choses, les ELRi, dont la construction et le fonctionnement en dépendent étroitement, ne leur survivront pas pour l'essentiel. **Ces sources d'énergies doivent dit-on être développées car « on ne doit pas mettre tous ses œufs dans le même panier » : voici encore une fable qui ne résiste pas à l'examen des faits, car les ELRi, étant enchaînées aux autres sources d'électricité sont exactement dans le même panier qu'elles . Et l'Allemagne, qui a peu d'hydroélectricité, s'est condamnée pour longtemps, en développant autant qu'elle l'a fait les ELRi et en refusant le nucléaire, aux combustibles fossiles, à leurs émissions de CO2, et aux pollutions atmosphériques associées.**

3-7 L'électricité éolienne à elle seule ne permet ni une « décentralisation électrique », car elle ne peut être utilisée sans centrales de soutien, ni a fortiori une décentralisation énergétique.

L'éolien est célébré par certains comme le symbole de la «décentralisation énergétique». Cette notion n'est pas pour autant clairement expliquée. Il s'agit semble-t-il d'une production d'énergie par un territoire à définir, qui est suffisante pour assurer sa consommation d'énergie, et ainsi ne pas dépendre pour cela d'un autre territoire, fût-il voisin. Certains, comme par exemple en ce moment la Présidente de la Région Occitanie dont l'éolien est visiblement un des chevaux de bataille, parlent même de faire de cette Région un territoire à énergie positive, c'est-à-dire produisant plus d'énergie qu'il n'en consomme, et donc exportateur d'énergie.

Nous allons prendre ici l'exemple de la Communauté d'Agglomérations Royan-Atlantique (CARA), dont la population est d'environ 80 000 habitants permanents, le triple en période estivale, et la surface d'environ 600 km². La CARA n'a pas beaucoup d'industries et en particulier pas d'industries lourdes. La quantité d'électricité consommée dans ce « territoire » par ses habitants permanents est dans ces conditions en moyenne d'environ 6200 kWh par habitant et par an, soit au total à peu près 500 GWh pour les seuls habitants permanents. Le maximum de **puissance** de la consommation de ceux-ci y a lieu comme ailleurs en France au plus fort des hivers très froids lors de la pointe de 19 à 20 heures. Il est alors de l'ordre de 100 MW. Mais il faut tenir compte de la présence en été d'environ 160 000 habitants supplémentaires, qui induiront une consommation et une demande de puissance supplémentaires pendant environ 2 mois. Nous estimons ici la

quantité annuelle totale d'électricité ainsi consommée par la CARA à environ 650 GWh et la puissance maximale nécessaire, marge de sécurité comprise, à 200 MW. La **quantité totale** d'électricité consommée annuellement peut être théoriquement fournie, compte-tenu d'un facteur de charge local qui est d'environ 18 % à terre, par 400 MW d'éoliennes, soit 200 éoliennes de 2 MW (150 mètres de haut avec pales) qui réparties de manière homogène sur toute la surface de la CARA s'y trouveraient à raison d'environ une de ces éoliennes tous les 3 km². **Etant donné les distances obligatoires de sécurité, la CARA deviendrait alors inhabitable en permanence pour sa plus grande partie.** Mais, on l'a vu, cette «solution» d'autonomie électrique est impossible à mettre en œuvre pour deux raisons, comme expliqué en 2-5:

- l'intermittence de cette électricité, qui fait que sa production ne sera pratiquement jamais en concordance avec la consommation.
- la nécessité de les associer à des centrales à forte inertie pour garantir la stabilité de la fréquence de 50 hertz sur le réseau électrique, ce que les éoliennes ne peuvent pas faire.

Notons au passage que la CARA ne serait pas capable de construire ces éoliennes et devrait donc les importer, ce qui serait une curieuse façon de concevoir l'autonomie !

Une solution d'«autonomie » électrique serait-elle alors d'assister ces éoliennes par une autre source locale d'électricité ou par des stockages ? Un examen rapide montre qu'en l'état, une source locale ne peut être une source « naturelle ». La CARA n'a pas de ressources hydroélectriques, ni de forêts en quantités suffisantes pour alimenter des centrales à biomasse. Les hypothétiques hydroliennes très à la mode en ce moment ne pourraient apporter que très peu de chose, et ne pourraient pas plus garantir la stabilité en fréquence. Des panneaux solaires ne produiraient rien la nuit. Quant au stockage de l'électricité éolienne ou solaire en excès par des batteries pour la restituer à la demande, ce ne peut être qu'une aide marginale étant donné les limites des méthodes actuelles, comme expliqué en 1-3. Il en est de même du stockage par des stations de pompage-turbinage (STEP) entre deux réservoirs d'eau (dont le réservoir inférieur pourrait être la mer), étant donné la très faible altitude du rivage qui ne permettrait pas de créer des dénivelées importantes.

Le plus simple, et de loin le moins coûteux en investissement, serait d'utiliser une centrale à gaz installée sur la côte pour un approvisionnement par mer. Le choix du gaz est aussi préférable à celui du fuel ou du charbon, car bien que polluant, il l'est moins que les deux autres. Le rendement des centrales à gaz dites à cycles combinés est aussi nettement supérieur à celui des autres centrales à combustibles fossiles. Dans ces conditions, l'éolien assurerait environ 20 % de la consommation d'électricité annuelle, soit environ 130 GWh et la centrale à gaz 80 %, 520 GWh. Et 4 fois moins d'éoliennes seraient nécessaires. La puissance de la centrale à gaz devrait être, comme indiquée plus haut d'environ 200 MW, pour pouvoir assurer sans problèmes les fortes pointes de consommation en hiver lors des « pannes de vent », mais aussi assurer la consommation des touristes en été. Mais il ne s'agit toujours que d'apparence, puisqu'il faudra importer de grandes quantités de gaz, la CARA n'en produisant pas. Il y aurait double dépense en capital (éoliennes + centrale à gaz) et donc un prix de l'électricité bien plus élevé. Par contre cette centrale à gaz permettrait, contrairement aux éoliennes, de stabiliser en

fréquence le réseau. Mais si jamais elle tombait en panne ce serait alors une catastrophe pour la CARA ! Disposer d'une centrale de secours prête à prendre le relais serait donc prudent. Et une rupture durable de l'approvisionnement en gaz, pour des raisons techniques ou géopolitiques, aurait des effets désastreux !

Pour mieux comprendre les difficultés de ce type d'entreprise, on peut lire par exemple cette étude très complète sur l'île d'El Hierro aux Canaries, que les médias du monde entier présentent régulièrement comme un cas d'autonomie électrique réalisé avec des énergies renouvelables, alors que c'est très loin d'être le cas (<https://www.sauvonsleclimat.org/fr/base-documentaire/com-el-hierro-electricite-renouvelable>)

Mais la solution la moins coûteuse, si l'on veut absolument couvrir la CARA d'éoliennes géantes, **on se demande d'ailleurs bien pourquoi puisque ses habitants sont déjà correctement alimentés en électricité**, est bien sûr de rester raccordé comme actuellement au réseau national. Cette « solution » ne coûterait aucun investissement supplémentaire pour assister les éoliennes comme dans le cas précédent. Par contre elle augmenterait comme dans celui-ci notablement le coût de l'électricité pour le consommateur, puisqu'il faudrait bien qu'il paye d'une manière ou d'une autre cet investissement tout à fait inutile en éoliennes. En ce qui concerne les émissions de CO₂, on éviterait celles de la centrale à gaz, mais on renforcerait celles émises par d'autres centrales à gaz en France ou en Europe.

On voit qu'il ne peut y avoir ici aucune autonomie électrique locale réelle assurée par des éoliennes, ni même par du solaire photovoltaïque. Il faudrait de toutes façons soit importer du gaz de l'étranger, soit compter sur la collectivité nationale et sur les grosses centrales pilotables comme celle de Braud-et-Saint-Louis qui alimente déjà la CARA. D'autre part, ce n'est pas dans la CARA que ces éoliennes seraient fabriquées, mais en Allemagne, au Danemark, en Espagne et bientôt en Chine. **Et il ne s'agirait pas pour autant d'une autonomie énergétique : Il ne s'agirait en effet ici que d'électricité, qui ne représente en France qu'environ 25 % de la consommation d'énergie finale.** Dans la CARA comme ailleurs en France, une très grande part de la consommation d'énergie provient en fait de la consommation de carburants pétroliers par les transports et de fuel pour le chauffage. Or il n'y a pas la moindre goutte de pétrole à extraire localement.

Les « parcs » éoliens de 4 à 5 éoliennes géantes installées près des villages du Nord-Est de la Charente Maritime ne sont pas là non plus pour assurer l'autonomie électrique de ces villages, qui n'ont absolument pas besoin d'une telle quantité d'électricité, et même n'en ont pas besoin du tout car ils sont déjà correctement approvisionnés. Leur autonomie électrique est de plus impossible à réaliser sans centrale locale de soutien (groupe électrogène à fuel ou à gaz par exemple). L'essentiel de l'électricité produite est en fait « refoulée » vers le réseau à très haute tension.

Observons d'ailleurs que la tendance actuelle n'est pas du tout à la décentralisation, ne serait-ce qu'électrique, grâce aux éoliennes, mais à la concentration d'éoliennes de plus en plus puissantes sur les zones les plus favorables, et à la multiplication des lignes à très haute tension (THT) à travers l'Europe, pour mutualiser les productions. C'est donc l'inverse d'une décentralisation. L'Allemagne installe par exemple de très fortes puissances d'éoliennes en Mer Baltique, alors que ses principaux centres de

consommation d'électricité sont bien plus au Sud, en Rhénanie et en Bavière ! Elle veut construire 4000 km de lignes à très haute tension pour acheminer le courant produit, malgré la forte résistance des populations concernées. Ces notions d'autonomie énergétique (en fait seulement électrique) et de territoire à énergie positive grâce à l'éolien sont en fait des leurres qui parlent à l'imagination, mais n'ont pas de rationalité. C'est ce qu'on peut appeler le mythe de Robinson Crusoé, tout seul sur son île. Curieusement, ceux qui rêvent de cette autonomie, c'est à dire ceux qui voudraient ne dépendre de personne, sont les premiers à célébrer la communauté des hommes et la démocratie.

Conclusion :

A partir des caractéristiques du fonctionnement des éoliennes et de l'électricité qu'elles produisent, nous avons démontré sur des bases physiques et quantitatives, qu'elles ne peuvent remplir en France correctement aucun des «services» que nos médias et tant de nos élus prétendent actuellement qu'elles nous rendent. En fait, l'éolien ne sert à rien dans notre pays, sinon à faire augmenter tout à fait inutilement le prix de l'électricité pour les ménages. Cela pour engraisser des sociétés étrangères, des promoteurs astucieux et malheureusement parfois des élus locaux complaisants, intéressés ou « idéologisés ». Du fait des surfaces considérables qu'il occupe pour produire finalement peu d'électricité, l'éolien dégrade aussi l'environnement, suscite des conflits d'usages et d'intérêts, et est de plus en plus préoccupant pour la santé publique, là encore tout à fait inutilement pour les citoyens ordinaires. Cette distance considérable entre la publicité flatteuse qui leur est faite et la réalité physique est très préoccupante, car cette publicité est tellement omniprésente qu'il ne peut s'agir que d'une manipulation systématique de l'opinion pour la rendre docile aux intérêts des promoteurs, des lobbys industriels et des affairistes en tous genres.

Les sommes énormes mises en jeu, prélevées pour l'essentiel sur les ménages par des taxes sur l'électricité et maintenant sur les carburants, et les taxes d'acheminement de l'électricité, seraient beaucoup plus utiles ailleurs, en particulier pour les objectifs de défense du climat et de sécurité énergétique, que l'éolien est dit officiellement poursuivre. Elles seraient avantageusement utilisées par exemple pour aider à réduire la consommation de combustibles fossiles dans l'habitat et les transports, combustibles qui sont les sources les plus importantes d'émission de CO₂ et de polluants atmosphériques dans notre pays, et qui de surcroît sont quasiment intégralement importés, au grand dam de notre balance commerciale. Une partie des milliards que nous dépensons chaque année en pure perte avec les taxes pour soutenir l'éolien et le solaire aurait aussi par exemple pu servir à bâtir une industrie de batteries au lithium (Li), inexistante en France, pour alimenter la flotte de véhicules électriques que notre ministre annonce pour notre pays à l'horizon de 2030. Elle aurait pu aussi permettre de créer des milliers de maisons médicales dans les territoires ruraux, qui en manquent cruellement. De plus, ces sommes n'iraient plus comme actuellement vers des pays étrangers, au détriment de l'activité économique en France et donc de l'emploi, et là encore, de notre balance commerciale.

Nos élus, préoccupés à juste titre par l'amélioration du quotidien de leurs administrés, sont motivés exclusivement par les subventions qui leurs sont octroyées par les promoteurs et leurs alliés, sans réaliser qu'ils entraînent ainsi leurs concitoyens dans une

impasse, celle justement où vient de se fourvoyer l'Allemagne, puis l'Europe. Notre gouvernement en la matière se conduit également de manière irresponsable, en s'accrochant à une loi, la Loi pour la Transition Énergétique et la Croissance Verte (LTECV), dont les objectifs affichés sont irréalistes et contradictoires. Comprendra-t-il enfin que les lois de la République, si elles sont contraires comme celle-ci aux lois de la physique, se fracasseront dessus, au détriment des citoyens ?

A lire également

<https://ideesreueessurlenergie.wordpress.com/2017/03/08/cest-pourtant-absurde-fritz-vahrenholt-traduit-de-lallemand/#>

<http://epaw.org/echoes.php?lang=fr&article=n673>

<http://lepeuple.be/eolien-le-debut-de-la-deroute-en-allemande-et-dans-le-monde-en-belgique-on-perfuse-le-moribond-avec-vos-taxes/15847>

<http://www.bvoltage.fr/leolien-pompe-a-fric/>

<http://www.ifrap.org/domaines-dexpertise/agriculture-et-energie>