

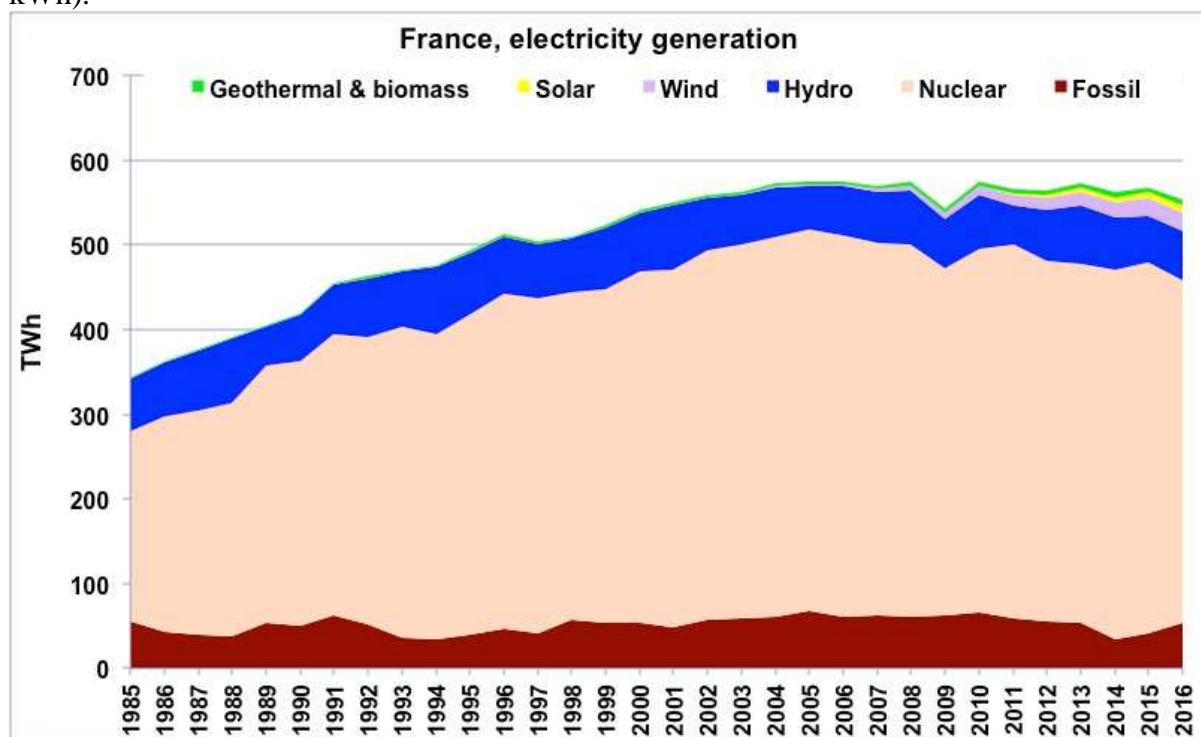
Jean-Marc JANCOVICI : 50%, ou 50% ?

50%, chiffre magique ! Depuis la promesse électorale de Hollande – destinée à se concilier les voix des Verts, historiquement antinucléaires – aux élections présidentielles et législatives de 2012 (ce en quoi il a eu raison : les Verts c’est 3% des voix, et Hollande a gagné avec 51,5%...), ce chiffre a pris place dès l’[article 1 de la loi de transition énergétique pour la croissance verte](#).

A aucun moment ce chiffre n’a été précédé d’un argumentaire permettant d’expliquer qu’il était plus approprié que 48% ou 80%, et encore moins d’un argumentaire expliquant en quoi ce pourcentage permettait d’assurer un avenir plus durable à notre espèce.

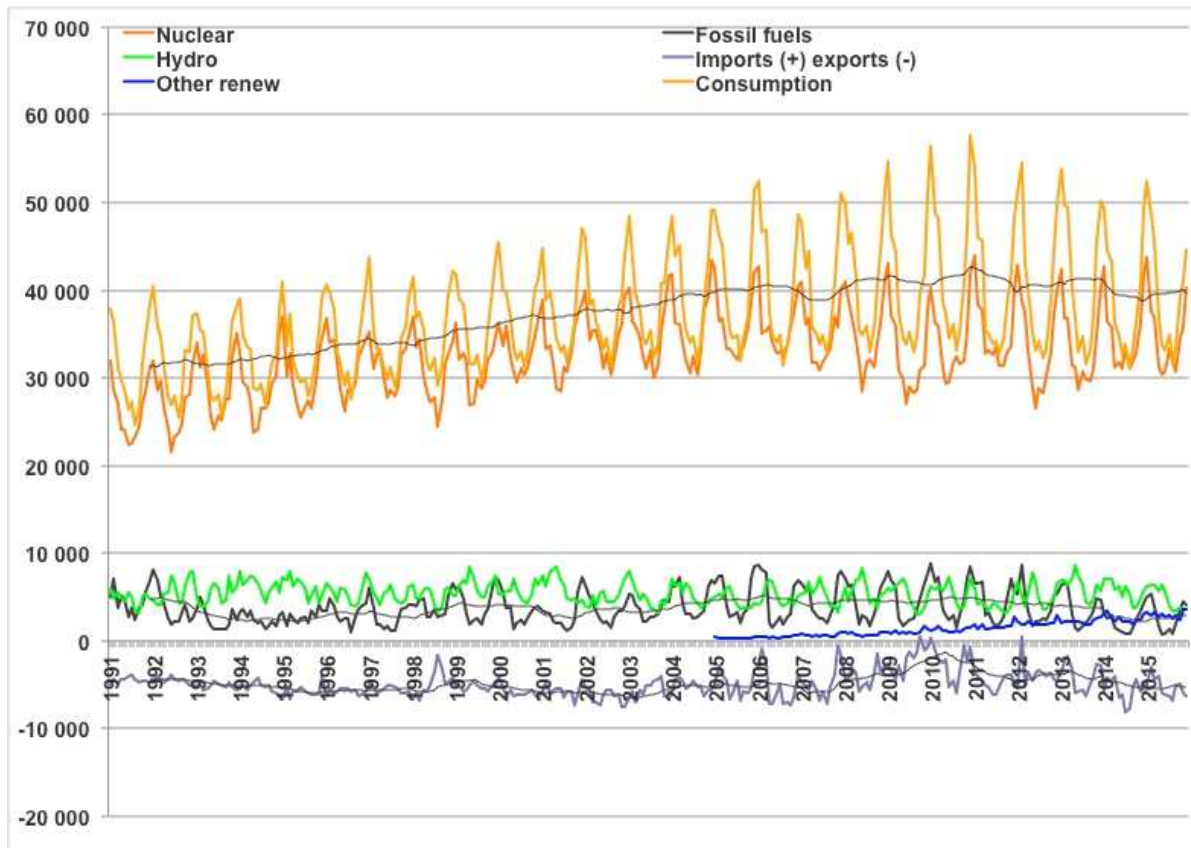
Le propos qui suit va donc vous proposer deux applications de ce pourcentage de 50%, aux conséquences totalement opposées sur le risque nucléaire, le prix pour le consommateur, les émissions de gaz à effet de serre, et l’emploi. En voiture !

Aujourd’hui en France, le nucléaire produit 400 TWh (en gros) sur 540 TWh de production annuelle (un TWh = un milliard de kWh).



Production électrique par type depuis 1965 en France. Données BP Statistical Review, 2017.

On constate facilement sur le graphique ci-dessus que le maximum de la production est passé depuis le milieu des années 2000, et que depuis cette époque la tendance est celle d’une très légère baisse. C’est également vrai, avec un petit décalage, pour la consommation (ci-dessous).



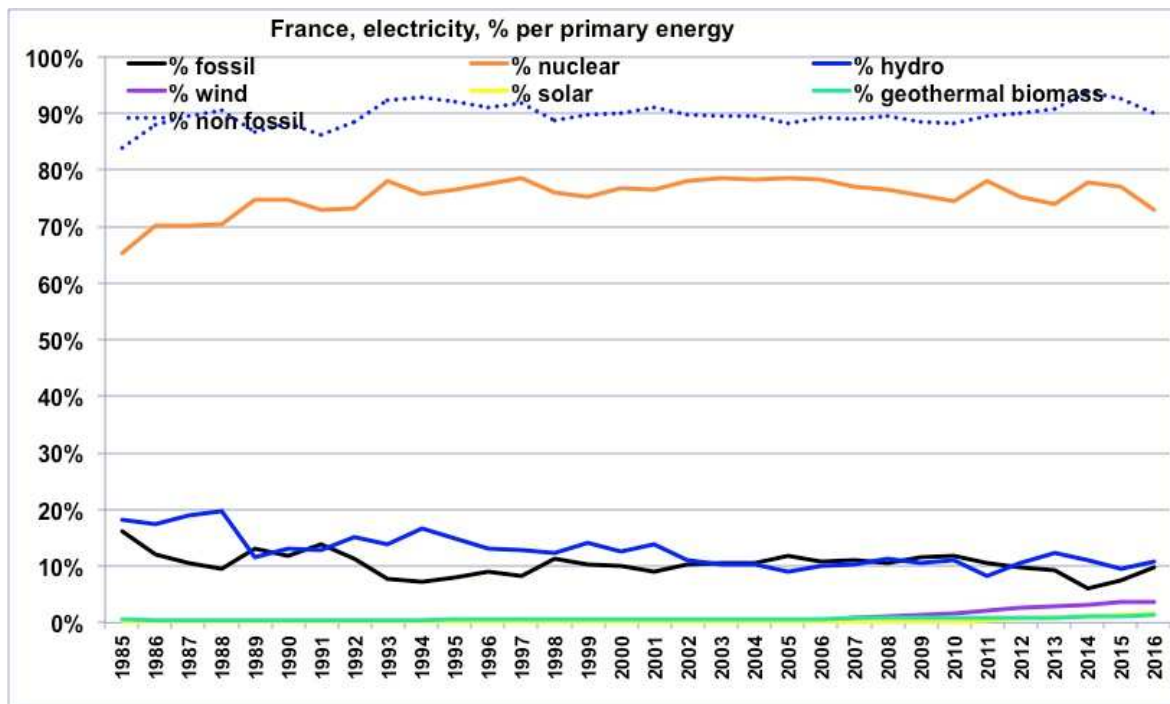
Données mensuelles de production par mode et de consommation d'électricité en France, de 1991 à 2015 (récupérer les données en série après 2015 sur le portail de l'ENTSOE est devenu à peu près impossible, à croire que c'est fait exprès...). Source des données [ENTSOE](https://www.entsoe.eu).

Il est facile de constater que la consommation est passée par un maximum en 2010 et décline légèrement sur la période qui suit.

NB1 : on constate aussi que le nucléaire contribue pour une bonne moitié au surplus de production hivernal, l'autre moitié étant fournie par du fossile mais aussi par de l'hydroélectricité. Le chauffage électrique – comme tous les usages qui augmentent en hiver, car il y en a bien d'autres – n'est donc pas alimenté essentiellement par de l'électricité fossile, loin s'en faut.

NB2 : on voit aussi sur le graphique ci-dessus que les exportations représentent en moyenne 6 à 7 TWh par mois, soit environ 50 TWh par an, et que cette valeur est relativement stable dans le temps.

Si le nucléaire a fluctué en valeur absolue depuis 1965, il est par contre assez stable en proportion depuis le milieu des années 1980.



Part de chaque mode de production dans l'ensemble depuis 1985. Source des données : BP Statistical Review.

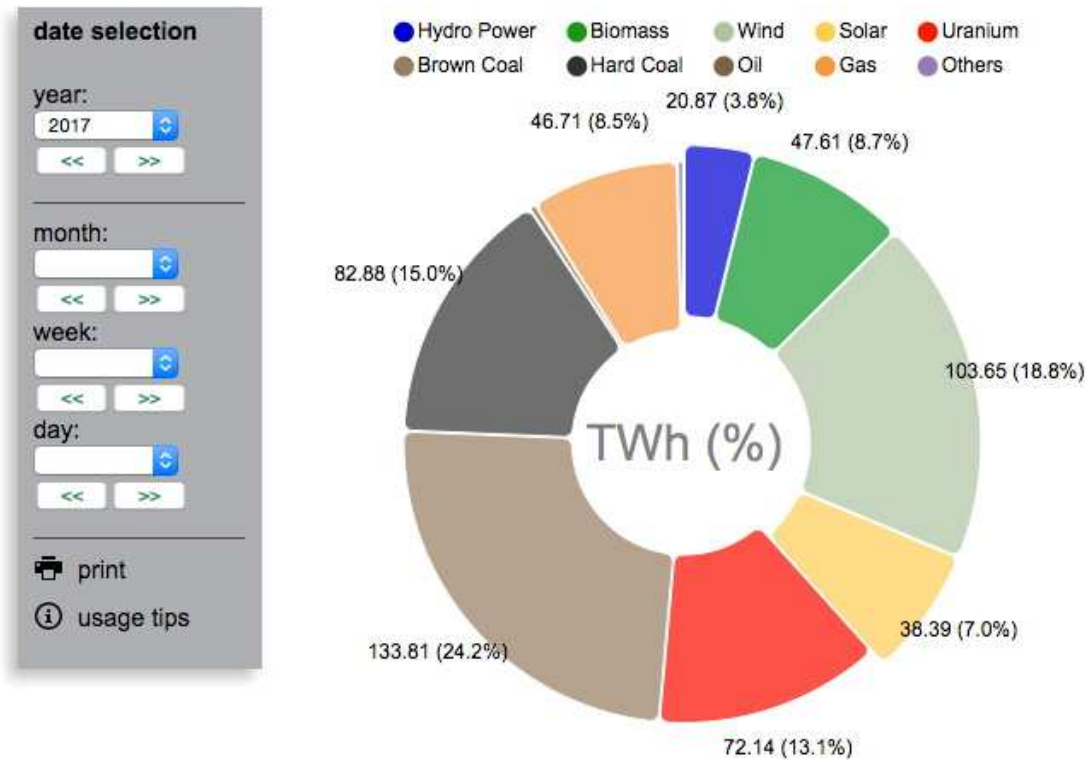
On voit facilement que depuis le début des années 1990 la part du nucléaire dans la production électrique est comprise entre 70% et 80%, que la part de l'hydroélectricité a baissé (ce qui reflète le fait que, [pour des raisons physiques](#), on atteint le maximum du potentiel pour les barrages alors que la production totale continue d'augmenter), que la part fossile baisse légèrement, et enfin que le début du développement des « nouvelles ENR » (éolien et solaire) ne concerne qu'une très faible partie de la production (malgré déjà 100 milliards engagés pour payer ces installations sur leur durée de vie), et n'a pas changé la part « non fossile » de la production électrique.

Je fais 50% – version « antinucléaire »

Nous allons maintenant examiner les conséquences d'un passage à 50% de nucléaire sur la production électrique annuelle, avec les hypothèses suivantes :

- production, exportations et consommation restent stables,
- ce qui n'est plus fait par du nucléaire (donc environ 25% de la production) l'est par un mix éolien-solaire (c'est à ce niveau que l'Allemagne est aujourd'hui parvenue, [après quelques centaines de milliards d'euros dépensés dans l'affaire](#)).

Electricity generation in Germany in 2017



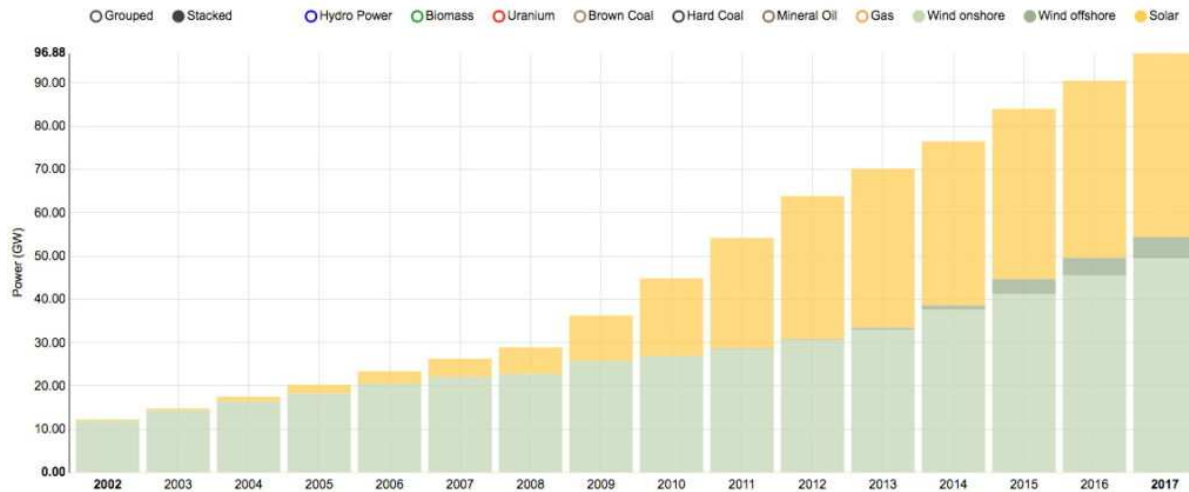
Décomposition de la production électrique allemande en 2017. Source [Energy Charts](#).

Une première chose qu'il faut avoir présente à l'esprit, c'est que le parc nucléaire existant ne va pas beaucoup diminuer parce que la production éolienne et solaire augmente.

Le consensus social, aujourd'hui, est que l'électricité est un bien essentiel qui doit être disponible à tout moment. Si un jour la population accepte l'idée que l'on peut rester quelques heures, voire quelques jours avec pas d'électricité, ou une électricité rationnée, alors ce qui suit ne sera plus valable, mais pour l'heure c'est bien dans ce contexte que l'on raisonne.

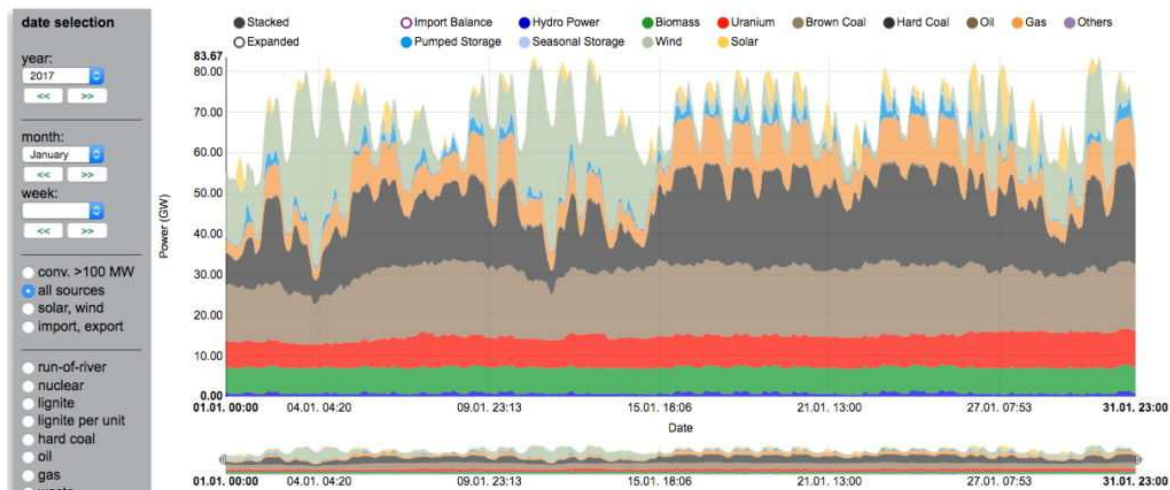
Le système de production ne doit donc pas être « juste » capable de fournir sur l'année l'électricité qui est consommée, ou même d'égaliser consommation et production mois par mois, mais il doit aussi le faire heure par heure, et même seconde par seconde, ce qui s'appelle alors couvrir l'appel de puissance consommée à tout instant.

Prenons l'exemple de l'Allemagne. Ce pays a installé 100 GW d'éolien et de solaire photovoltaïque à fin 2017.



Evolution de la capacité installée en éolien et solaire photovoltaïque en Allemagne, en GW (un GW = un million de kW). Nous sommes actuellement à 100 GW. Source [Energy Charts](#).

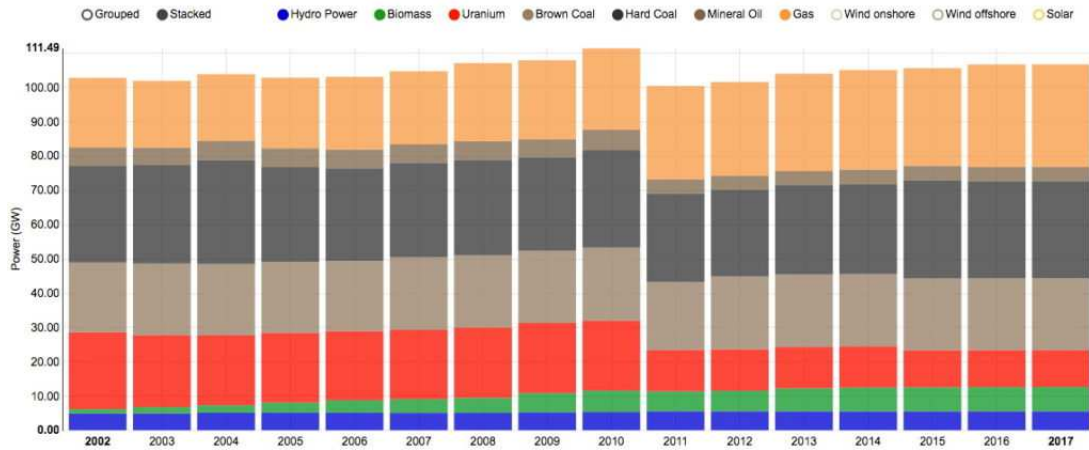
Pour autant, si nous prenons la production par mode au mois de janvier 2017, il y a des moments où la puissance effectivement fournie par cet ensemble est quasi nulle.



Puissance fournie à chaque instant par mode en Allemagne, en GW (un GW = un million de kW). Source [Energy Charts](#).

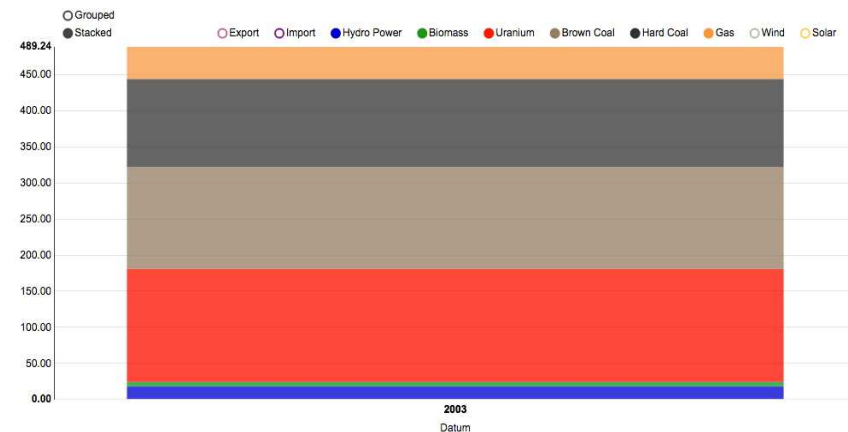
Sur la période, on voit que le solaire contribue très peu (2% de la production du mois, et zéro toutes les nuits), et que éolien+solaire peuvent certes contribuer pour une large part (plus de 30 GW les 3 et 4 janvier, ou encore les 11 et 12 janvier), mais aussi être aux abonnés absents : il y a ainsi 2 GW ou moins le 8 janvier, et quasiment tout le temps du 17 au 26 janvier, où la production de charbon est au plus haut. Le 24 janvier à 3h du matin, l'éolien produit moins de 1 GW et le solaire 0.

Et ceci étant la conséquence de cela, les allemands ont gardé la même puissance pilotable (charbon+gaz+nucléaire+hydroélectricité+biogaz) que celle qu'ils avaient avant d'investir [quelques centaines de milliards dans l'éolien et le solaire](#), pour garantir la puissance à tout instant.

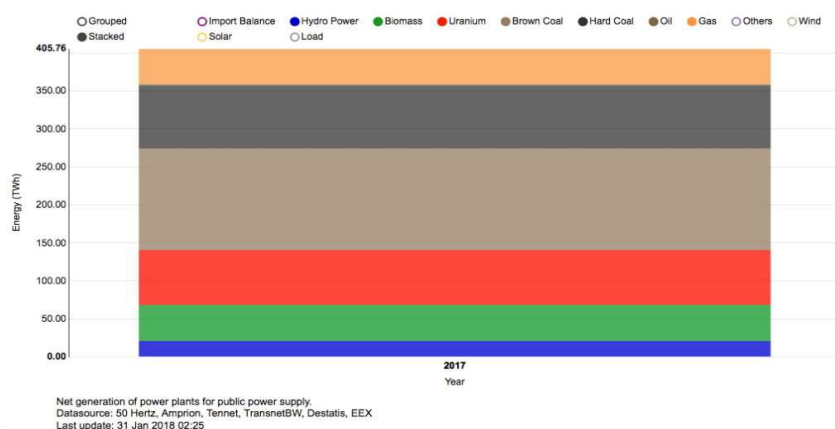


Evolution de la capacité installée en modes pilotables en Allemagne. Le total est identique (en fait même un peu supérieur) aujourd'hui à ce qu'il était avant le début de « l'EnergieWende », alors que la consommation n'a pas augmenté, et que les modes ENR se sont développés. Source [Energy Charts](#).

Par contre, si la puissance installée est restée la même, la production annuelle a significativement baissé (pour l'ensemble des modes pilotables), comme on peut le voir ci-dessous.



Production annuelle des modes pilotables en 2003. Total : environ 490 TWh. Source [Energy Charts](#).



Production annuelle des modes pilotables en 2017. Total : environ 405 TWh, soit 20% de moins (la consommation est restée à peu près identique). Source [Energy Charts](#).

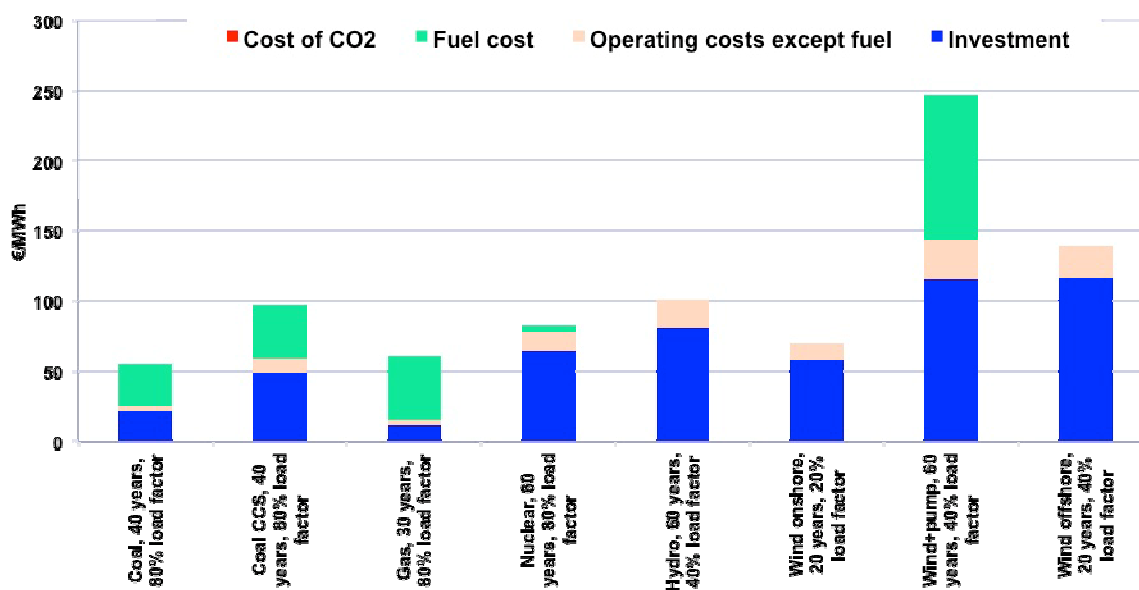
Le cas allemand est donc clair : la production ENR a effectivement remplacé une partie de la production non ENR (nucléaire avant toute chose), mais cela n'est pas vrai pour les capacités

installées. Les éoliennes et panneaux solaires n'ont pas remplacé les modes pilotables (ensemble constitué de ce qui peut produire à volonté et pas en fonction des éléments : charbon, lignite, gaz, nucléaire, hydroélectricité, biogaz) : ces modes sont venus en plus. Et, avec une puissance installée identique, mais une production annuelle diminuée, les modes pilotables **ont baissé leur facteur de charge** (et donc leurs recettes, raison pour laquelle tous les électriciens historiques en Europe ont des comptes qui se dégradent).

Pourquoi est-ce que ce qui a été constaté en Allemagne serait très différent en France, où, tout comme chez nos voisins du nord, le système social est aujourd'hui conçu pour qu'il y ait de l'électricité à tout moment ?

Il est donc raisonnable de penser que si nous allons au bout du « 50% de nucléaire » dans la production annuelle, quelle que soit l'année (ce qui suit sera valable qu'on y arrive en 2025, en 2060 ou en 2053), nous n'allons pas supprimer 17 réacteurs sur 58, mais baisser d'à peu près un tiers le facteur de charge moyen des 58 réacteurs en question. Au lieu de produire à 75% en moyenne sur l'année, ils le feront à 50%.

Mais le parc nucléaire est grosso modo un système à coûts fixes, c'est à dire que ses charges annuelles de fonctionnement ne dépendent quasiment pas de la quantité d'électricité produite (c'est une autre manière de dire que le coût de combustible est négligeable, à la différence du gaz et même du charbon). Le coût de l'électricité nucléaire est essentiellement composé de l'amortissement de l'investissement, et de charges de personnel qui sont indépendantes du niveau de production dès lors que le réacteur fonctionne (présence sur site et conduite du réacteur, maintenance, surveillance, etc).



Coût de production d'un MWh électrique selon le type de dispositif, avec les hypothèses détaillées [sur la page sur le coût de l'électricité](#).

« Charbon CCS » signifie charbon avec dispositif de capture et séquestration du CO2.

On constate que pour le nucléaire le prix de l'uranium est marginal : pour faire fonctionner un réacteur, il en coûte de le construire et d'être sur place pour le conduire et l'entretenir, qu'il produise 0,1 TWh dans l'année ou 8 TWh dans l'année.

Du coup, si le parc de réacteurs produit un tiers de moins, mais que le prix de l'électricité reste le même, le parc nucléaire dispose alors d'un tiers de recettes en moins pour des coûts qui restent

identiques. Cela va produire tout ce que l'on veut, sauf... améliorer la sûreté des réacteurs en question !

En fait, en pareil cas on va commencer par dégrader la sûreté, par manque de moyens, et la fin de l'histoire c'est que le contribuable finira par payer sous forme de recapitalisations ce que le consommateur a cru pouvoir économiser. Et avec cette option, le gouvernement conduit à une augmentation du risque nucléaire, alors qu'il vend implicitement le contraire (c'est ballot, hein ?).

L'autre option, c'est que le MWh nucléaire augmente de 50%, pour conserver les recettes et ainsi garantir la sûreté. A ce moment nous avons le même nombre de réacteurs (la baisse de la production n'a donc pas conduit à ce qui est la promesse implicite du plan, avoir moins de réacteurs), et les français payent le même nombre de milliards qu'avant, mais pour 260 TWh nucléaires au lieu de 400.

Evidemment, il faut payer en plus les 140 TWh venant de l'éolien et du solaire qui fournissent désormais les 25% à compenser : avec juste de l'éolien cela signifie 70 GW à installer pour environ 100 milliards d'euros (et donc 5 milliards par an en gros), hors renforcement du réseau, et avec du solaire plutôt 100 GW, pour 150 à 200 milliards (donc 5 à 7 milliards par an aussi), et cela est à payer en plus du maintien d'un parc nucléaire identique. Si on veut...

Ce plan a deux autres conséquences un peu désagréables : il détruit globalement de l'emploi, et ne permet pas de baisses sur le CO2 (en fait il augmente un peu les émissions planétaires).

Sur le premier point, le raisonnement est assez simple : nos importations d'uranium en France varient de 0,5 à 1 milliard selon les années. Pour une production nucléaire de 400 TWh, cela signifie en gros 1 à 2 euros d'uranium importé par MWh. Tout le reste est produit en France (la centrale, le traitement des déchets, la maintenance, etc).

Pour produire un MWh éolien ou solaire en France, qui est venu un peu moins de 100 euros (80 pour l'éolien, 100 pour le « bon » solaire) il a fallu importer 20 à 30 euros de composants fabriqués à l'étranger (c'est l'amortissement par MWh produit qui vaut 20 à 30 euros) : cellules ou panneaux photovoltaïques dans un cas, nacelles et pales de l'éolienne dans l'autre (il n'y a pas plus mondialisé que le solaire : tout est fabriqué dans quelques pays pour être vendu partout dans le monde !).

Quand on remplace un MWh nucléaire par un MWh éolien ou solaire, on augmente donc les importations à consommation constante (de 1-2 à 20-30 euros). Or augmenter les importations à consommation constante, c'est baisser le PIB, et, toutes choses égales par ailleurs, cela diminue l'emploi.

Certes, déployer des éoliennes augmente l'emploi dans la filière ENR (ça c'est indiscutable !), mais l'équation globale est que, en France, cela en détruit encore plus ailleurs. On peut souhaiter faire quand même remplacer du nucléaire par éolien et solaire, mais il ne faut pas croire que ça sera bon pour l'emploi !

Et le dernier point, c'est que le nucléaire ne produit pas de CO2 : casser un noyau d'uranium en deux, ce n'est pas oxyder un atome de carbone, la physique est formelle. Et par ailleurs, la fission d'un gramme d'uranium 235 libère autant d'énergie que la combustion d'une tonne de pétrole (merci $E=mc^2$). Avec le nucléaire, il faut donc « consommer » très peu de matière pour produire beaucoup d'énergie, et même si l'amont du cycle (construction de la centrale, mines, transport, fabrication des assemblages d'uranium) et l'aval (transport, traitement des déchets) utilise du charbon, du gaz et du fioul, ça ne fait pas beaucoup rapporté à l'énergie libérée par la fission.

Il faut aussi tenir compte des déplacements des salariés qui viennent travailler, mais au final le nucléaire c'est de l'ordre de 10 grammes de CO2 par kWh électrique (le charbon c'est près de 1000, le gaz 400). L'éolien est au même niveau, et le solaire, avec un panneau fabriqué en Chine, est largement au dessus (entre 50 et 100 avec les opérations de pose et de maintenance).

Remplacer du nucléaire par un ensemble éolien + solaire ne sert au final à rien pour faire baisser les émissions de CO2. La première version de ce « 50% » rate donc tous les objectifs :

- le risque nucléaire ne baisse pas
- le CO2 ne baisse pas
- l'emploi baisse.

On peut peut-être imaginer un peu plus pertinent ?

Je fais 50% – version « anticarbone »

Les chiffres magiques ayant la vie dure, et en outre celui-ci étant inscrit dans la loi, je vais proposer ci-dessous une autre manière de l'interpréter qui permettrait de cocher toutes les cases intéressantes : le CO2, l'emploi et la sûreté nucléaire.

Repartons des mêmes chiffres : aujourd'hui, notre pays produit 550 TWh électriques par an, dont 400 viennent du nucléaire. 50 TWh sont exportés, et la consommation domestique est donc de l'ordre de 500. Je vais supposer que les exportations sont prises sur la base, et donc sur le nucléaire. Le pays « consomme » alors 350 TWh de nucléaire sur 500 au total.

Nous allons maintenant imaginer que l'énergie renouvelable qui est développée en lien avec le réseau électrique n'est pas un ensemble éolien+solaire, mais la **pompe à chaleur**, pour remplacer les logements chauffés au fioul et au gaz, c'est à dire aux énergies fossiles.

Une pompe à chaleur est, comme son nom l'indique... une machine (thermodynamique) qui « pompe » la chaleur depuis l'extérieur d'un logement pour l'injecter dans le logement. Comme en général il fait plus froid dehors que dans le logement, on utilise cette analogie de la pompe, qui « remonte » de l'eau d'en bas vers en haut. La pompe à chaleur « remonte » des calories de là où il fait froid vers là où il fait chaud.

Elle fonctionne comme un frigo : ce dernier extrait les calories de son intérieur, puis il les rejette dans la cuisine (ce qui la chauffe un peu) ; la pompe à chaleur extrait les calories de l'extérieur du logement et les rejette à l'intérieur du logement, ce qui le chauffe.

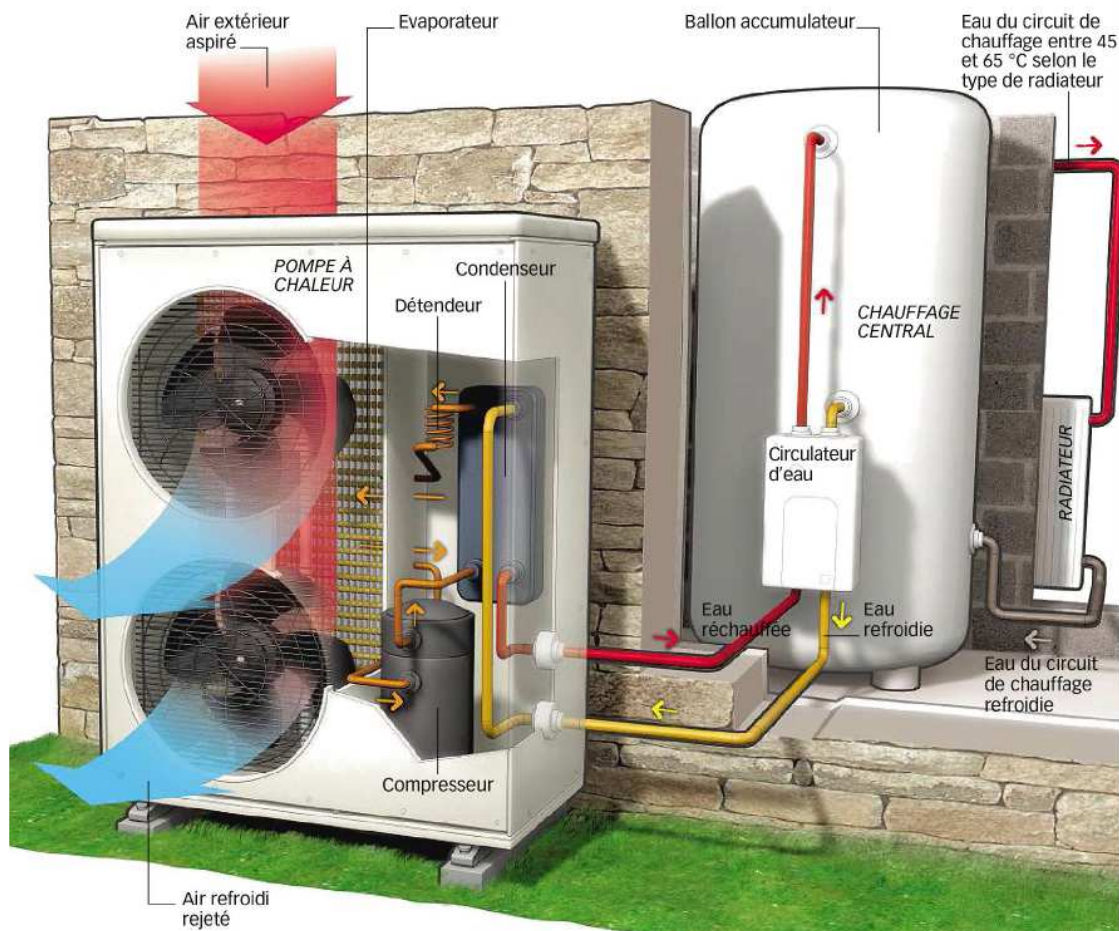


Schéma de principe d'une pompe à chaleur.

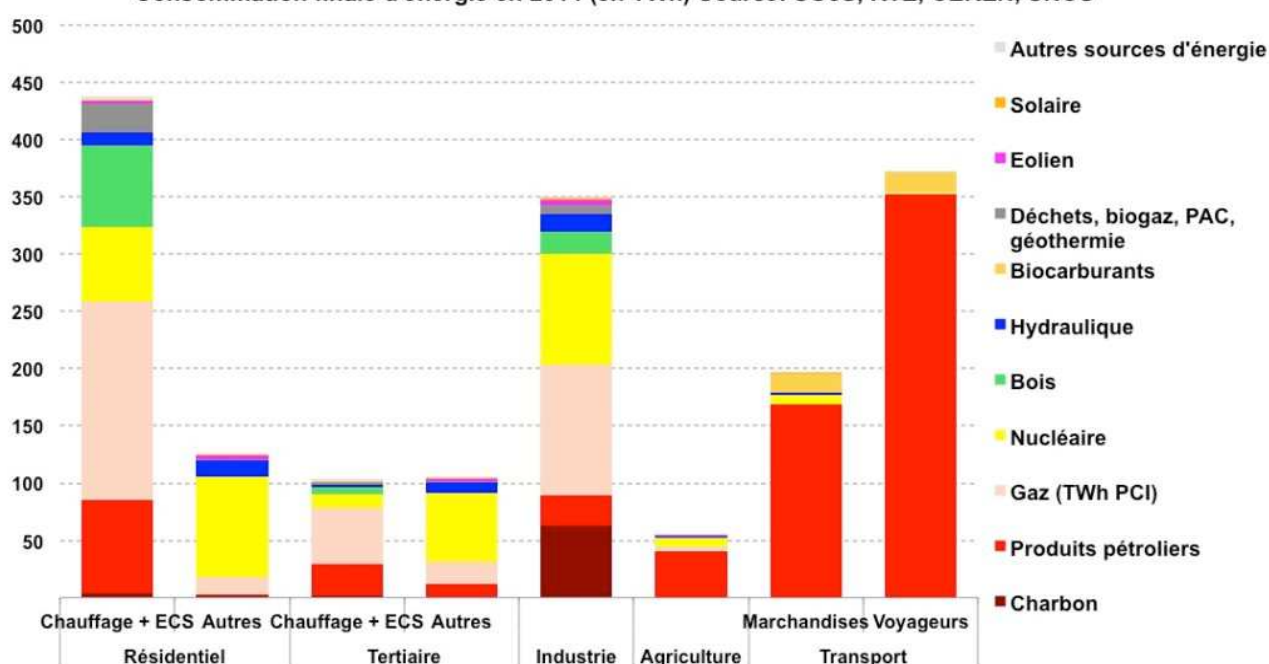
Cette machine va donc consommer de l'électricité (pour alimenter un compresseur, des pompes de circulation, un ventilateur), et « produire » de la chaleur. Et elle fait cela avec un très bon rendement : pour 1 kWh d'électricité consommée par cette pompe, il y a en général 3 à 4 kWh de chaleur qui a été transférée depuis l'extérieur dans le logement.

Or, la chaleur extraite de l'environnement n'étant rien d'autre que la chaleur du soleil, stockée par l'air ou le sol, nous avons là une énergie renouvelable. Et de ce fait, la chaleur transférée, moins l'électricité consommée, figure au bilan des énergies renouvelables, où elle est parfois qualifiée de « géothermie basse température ». En France, comme l'électricité est bas carbone, la pompe à chaleur est un mode de chauffage qui l'est tout autant (et 3 à 4 fois plus efficace qu'un radiateur électrique ordinaire).

Comme évoqué plus haut, le calcul ici va concerner le **cas de figure où tout ce qui est chauffé au fioul ou au gaz, en France, est remplacé par des pompes à chaleur**, après division par deux de l'énergie de chauffage grâce à l'isolation (en première approximation c'est l'optimum économique de la rénovation du bâtiment).

Le chauffage au gaz et au fioul représente actuellement 400 TWh (400 milliards de kWh) par an en France. C'est de loin la part la plus importante du chauffage, l'électricité ne représentant que 100 TWh !

Consommation finale d'énergie en 2014 (en TWh) Source: SOeS, RTE, CEREN, SNCU



Consommation d'[énergie finale](#) en France en 2014, en TWh, discriminée par énergie primaire qui en est à l'origine et par secteur d'utilisation.

Le chauffage résidentiel (avec la production d'eau chaude) utilise 275 TWh d'énergie fossile, le tertiaire un peu plus de 100. L'électricité, ce n'est que 60 à 70 TWh pour l'ensemble résidentiel et tertiaire, et avec l'eau chaude environ 100.

Si nous divisons cette consommation par 2 en quelques décennies en améliorant les bâtiments (au fur et à mesure que l'on rénove par exemple), ce qui fait par ailleurs partie des objectifs gouvernementaux, cela fait 200 TWh de chaleur à transférer pour ces bâtiments. Avec un coefficient de performance de 3 (c'est à dire 3 kWh de chaleur transférés pour 1 kWh d'électricité consommée) cela signifie 70 TWh d'électricité supplémentaire à produire.

On peut imaginer dans le même temps 20 TWh d'économies d'électricité (soit 5% de la consommation actuelle) ailleurs. Il faut alors assurer une production de 600 TWh (soit 550 + 70 - 20), et je vais supposer – horreur ! – que le surplus est fait au nucléaire (qui peut faire de la semi-base, comme nous l'avons vu plus haut).

Dans cette situation, nous avons alors 600 TWh électriques produits, dont 450 au nucléaire. Il y a toujours 150 TWh produits par d'autres moyens, et enfin nous exportons toujours 50. Ces 70 TWh d'électricité consommée dans les PAC créent donc de 200 (COP de 3) à 280 (COP de 4) TWh de chaleur transférée, laquelle, après déduction des 70 TWh d'électricité qui alimentent les PAC, constitue une énergie renouvelable, comptabilisées au crédit de la France.

Cela fait donc 150 (COP de 3) à 200 (COP de 4) TWh d'énergie renouvelable en plus, que je vais porter au crédit du « système électrique », puisque cette énergie renouvelable, qui n'est certes pas électrique, ne peut cependant être mobilisée que grâce à l'électricité. Notons qu'en matière d'électricité il y a plein de conventions qui se discutent. Par exemple, au titre du diagnostic de performance énergétique le législateur a demandé de comptabiliser non pas l'électricité consommée par le logement, mais 2,58 fois cette valeur. Cette convention n'a aucune espèce de pertinence pour juger de la performance thermique du bâtiment, mais c'est quand même celle qui a été prise.

A ce moment, la totalité de ce qu'il faut compter pour l'électricité est 600 TWh de production + \approx 200 TWh de géothermie mobilisée par les pompes à chaleur une fois déduite l'électricité pour les alimenter. L'ensemble fait 800 TWh, dans laquelle la part du nucléaire consommée en France est de 400 TWh, puisque la production est de 450 mais les 50 d'exports sont toujours déduits du nucléaire utilisé en France.

Avec ce calcul le nucléaire représente alors 400 TWh sur les 800 consommés au titre de l'électricité « au sens large », donc 50%. Avec cette manière de voir les choses :

- le parc a un peu augmenté (de 10 à 15 réacteurs selon leur facteur de charge), mais les recettes aussi, et donc le risque n'est pas plus élevé (et il est moins élevé que dans la version « antinucléaire » des 50%),
- 400 TWh de pétrole et de gaz importés ne sont plus nécessaires, pour une économie d'environ 5 à 7 milliards d'euros par an pour le gaz, et 8 à 10 milliards pour le pétrole
- les 13 à 17 milliards gagnés chaque année sur la balance commerciale représentent la création de 300.000 emplois dans l'économie nationale
- ce pétrole et ce gaz non consommés permettent d'éviter de l'ordre d'un quart des émissions de CO2 du pays.
- nous n'avons ni problème de stockage, ni renforcement du réseau, ni [problème de réglage de fréquence sur le réseau](#).
- enfin le prix du chauffage pour le consommateur est presque le même, et le prix de l'électricité n'augmente pas, ce qui permet d'utiliser l'argent disponible pour s'occuper de la décarbonation du reste de l'économie (et il y a du boulot !).

ça vaut peut-être le coup de choisir le bon 50% ?

Articles Connexes

[2017-11-11](#)

[**100% renouvelable pour pas plus cher, fastoche ?**](#)

Publié le 12 février 2018