

# Negawatt : quelques commentaires.

Selon Negawatt, les Français de 2050 vivront frugalement. Entassés dans des appartements à petites surfaces au sein de zones à fortes densités de population, ils mangeront essentiellement des légumes, voyageront peu pour leurs loisirs et à vitesse réduite. Globalement, ils consommeront moins pour minimiser les transports de fret. Et ce sera une société de service, l'industrie ayant disparu.

En dehors de leurs zones urbaines, ils iront à vélo voir la campagne française qui consistera en une immense zone d'agriculture et de sylviculture industrielle, égayée par 40 000 éoliennes, 1100 Km<sup>2</sup> de panneaux solaires, 200 à 300 centrales au gaz, 38 000 unités de méthanation, le tout relié par des milliers de Km de lignes électriques et de tuyaux de gaz.

## Analyse

Le scénario Negawatt ([https://negawatt.org/IMG/pdf/synthese\\_scenario-negawatt\\_2017-2050-2.pdf](https://negawatt.org/IMG/pdf/synthese_scenario-negawatt_2017-2050-2.pdf)) est basé sur un modèle informatique d'équilibrage énergétique partiel, comme la plupart de ses congénères, en particulier ceux qui sont utilisés par l'Union européenne pour élaborer les réglementations. Les faiblesses de ces modèles sont connues :

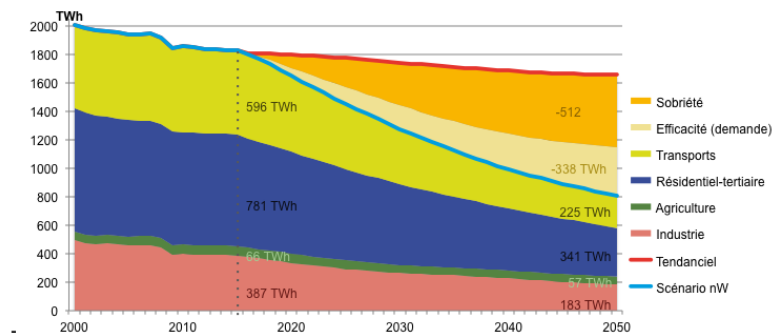
- impossibilité de simuler vraiment le monde technico-économique d'une société moderne, beaucoup trop complexe. En particulier, il faut articuler micro-économie (certains détails affectant un secteur peuvent s'avérer de première grandeur) et macro-économie (analyse « en moyenne »). Il faut aussi mettre en équation l'élasticité de l'évolution de chaque secteur en fonction des évolutions des autres car tout est d'interaction croisée dans nos économies.
- ils ne tiennent pas compte, en général, des interactions avec les domaines extérieurs à leur champ d'étude : géographique (France ou Europe considérée comme un système isolé) ou sectoriel (non prise en compte des contraintes sociales)
- ces modèles sont affectés du « biais de confirmation » de leurs auteurs : ils cherchent plus à démontrer à tout prix que leurs objectifs a priori sont faisables au lieu de fixer les objectifs au vu des résultats du modèle. Cela se traduit, en général
  - en cas d'incertitude, à prendre toujours l'extrémité la plus favorable de l'intervalle.
  - de considérer comme certaine l'aboutissement de technologies non encore matures, voire à l'état de prototype
  - l'empilement de tous ces arbitrages favorables, parfois mineurs, parfois osés, donne en final un paysage délirant pour un examen objectif et avec du recul, ce qui échappe aux auteurs pour les raisons données plus haut.

Le scénario Negawatt est l'archétype de ces faiblesses. On pourra approfondir les questions d'évolution énergétique à 2050 par l'excellent rapport( <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Rapport-Energies-2050-les.html>) de Percebois et Mandil. Même s'il se doit

d'être politiquement correct, il est assez objectif, très bien documenté (et pas tendre avec Negawatt).

## Principe de base

Tous ces scénarii du type Negawatt conduisent à prévoir un nombre délirant d'équipements de production d'énergie. Pour essayer de rendre la situation moins énorme, il leur faut d'abord montrer qu'on peut y arriver avec une consommation énergétique drastiquement inférieure à l'actuelle. C'est ainsi que le graphique de Negawatt le plus important est le suivant :



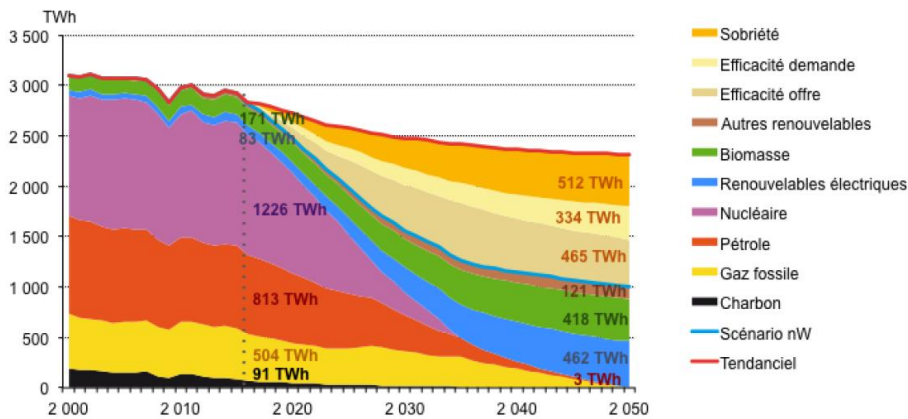
Sur ce graphique l'objectif est de passer la consommation d'énergie en France de 2000 TWh à 900 TWh, soit une diminution de 55%. Mais l'effort est en réalité plus important, puisque la population française va augmenter de 10 % dans la période. Par habitant, l'effort est plutôt de 60%.

Les gisements de réduction sont représentés par les portions « sobriété » (60 % du gisement) et efficacité (40 %). Malgré des circonvolutions ambiguës du texte, la « sobriété », c'est pour la population moins de confort (on chauffe moins...), moins de loisirs (on ne se déplace plus), moins de liberté de choisir son mode de vie (on habite des zones à forte densité pour limiter les transports) etc.... Tout cela est exprimé à demi-mot dans le texte.

Pour le chauffage des locaux, au titre de l'efficacité, si on peut admettre qu'il a effectivement des progrès à faire en matière d'isolation, une des ruptures prévues est la généralisation des pompes à chaleur. Or, si c'est bien un gain par rapport aux convecteurs par effet joule, la généralisation se heurte à bien des contraintes selon le contexte. De plus, le fait d'avoir une pompe à chaleur encouragera les utilisateurs à climatiser l'été.... Enfin, une pompe à chaleur a une durée de vie limitée : c'est un équipement mécanique complexe. D'ici 2050, il faudra en changer plusieurs fois.

Pour le reste, n'est vraiment cité que le recyclage comme élément majeur de gain de l'industrie. Mais les principaux matériaux recyclables, ceux qui font du volume, sont déjà recyclés à plus de 80 % ! La consommation de matières serait réduite quasiment à zéro (on consommerait 6 fois moins d'acier...) donc on n'en produirait plus. On trouve là l'exemple du biais que j'ai précédemment cité : il ne vient pas à l'idée de l'auteur que, par exemple, la majeure partie de nos aciers sont exportés... Sur le graphique, on voit que l'industrie passe de 387 à 183 TWh. Or, l'industrie lourde, celle qui consomme, a déjà fait depuis longtemps sa révolution énergétique. Cette baisse drastique revient à dire que Negawatt considère qu'il n'y aura quasiment plus d'industrie manufacturière en France en 2050.

Le deuxième diagramme le plus important est la répartition par sources d'énergie :



Bilan en énergie primaire du scénario négaWatt, par ressource énergétique

Il s'agit d'énergie primaire, c'est mieux pour impressionner car la chute du nucléaire en paraît plus importante puisque c'est la chaleur nucléaire qui figure, pas l'énergie électrique.

On voit tout de suite sur ce schéma que Negawatt repose sur deux sources qui représentent chacune 40 %:

- les ENR (majoritairement intermittentes, mais, et ce n'est vraiment clair nulle part, secourue par du gaz ou de la biomasse.)
- la biomasse sous toutes ses formes : méthanisation, gazéification, biocarburants et combustion.

### La biomasse

De ce fait, il est nécessaire d'aller voir l'équivalent de Negawatt pour l'agriculture, qui est le scénario Aferres 2050. Car c'est lui qui est censé démontrer la faisabilité du programme biomasse de Negawatt. Ce scénario est très critiqué. On trouvera un commentaire, par exemple, à <http://imposteurs.over-blog.com/article-une-analyse-critique-du-scenario-negawatt-par-ailanthus-invictus-94312604.html> (Ailanthus invictus est agronome).

Ce scénario reprend les procédés décrits plus hauts par des « démonstrations » successives très optimistes des possibilités d'utilisation de la biomasse. Le premier principe est de minimiser l'utilisation des terres agricoles à des fins alimentaires pour optimiser la forêt et toute la végétation et en faire une agro-usine à biogaz, biocarburant et bois de chauffage. Par exemple, pour ce faire (et cela rejoint la « sobriété ») le scénario programme même le plateau repas type des français en 2050 : c'est « L'assiette Aferres 2050 ».

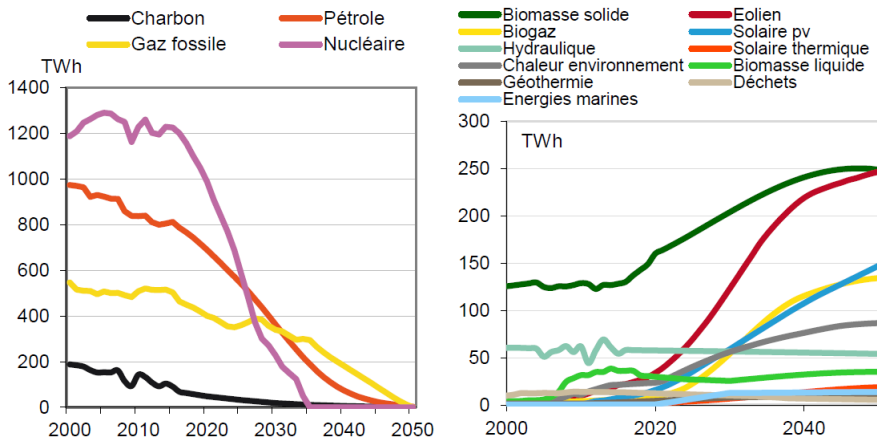
Il prévoit également la polyculture simultanée sur les parcelles : jusqu'à 6 récoltes de 6 produits en même temps.

Le bouclage total de la filière bois semble par ailleurs problématique (il manquerait quelques dizaines de millions de m<sup>3</sup>, et on irait chercher des gisements (par ex en montagne) à des coûts astronomiques.) Le scénario affirme respecter la biodiversité mais il y a quand même un doute si on exploite le moindre kg de foin et de taillis ! A début du 19<sup>ème</sup> siècle, dans une France 3 fois moins peuplée et peu industrialisée, il ne restait plus de forêts exploitables à moins de 300 km de Paris ; le charbon arriva en sauveur. Comment se fait-il que ça pousserait cent fois mieux maintenant ?

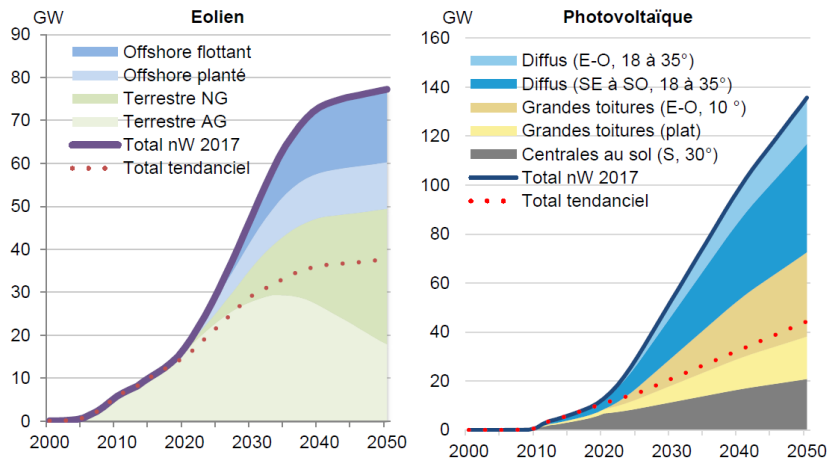
Etc...etc...

## La génération d'électricité.

- les ENR :



*Mobilisation des ressources énergétiques fossiles et fissile et des énergies renouvelables dans le scénario négaWatt*



*Evolution des puissances installées d'énergies éolienne et photovoltaïque*

L'éolien fournira 247 Twh, avec 77 GW de puissance installée, dont, d'après Negawatt, 18 000 éoliennes terrestres (pour 49 GW). Or, pour la même puissance, l'Allemagne a installé 26 000 éoliennes . En mer, 28 GW installés, soit au mieux de l'ordre de 6000 éoliennes. (Disposées tous les 300m, cela occupe quand même 2000 km de côtes...)

Ces chiffres sont ils crédibles ?

En France, en 2016, on a eu 21 TWh pour 10 GW de puissance installée, dernier chiffres connus, soit 2 TWh/Gw ; en Allemagne 72 TWh pour 49 GW installés soit 1,5 TWh/ GW. Negawatt prévoit plus de 3 TWh/Gw ; c'est incompréhensible, même avec un parc important offshore. (Le plus on installe d'éoliennes, le plus on va vers des secteurs peu venteux)

Pour 247 TWh, il faudrait plutôt 120 GW et 40 000 éoliennes. Cela représente une consommation de matières de 60 millions de tonnes de béton et 8 millions de tonnes d'acier et beaucoup de cuivre...

Pour le solaire, Negawatt prévoit 147 TWh pour 140 GW installés. A 8 m2 du KW crête, cela fait une surface de 1120 Km2

L'Allemagne produit 34 TWh pour 40 GW installés. Les hypothèses pour la France paraissent plus plausibles pour le solaire. Par contre, il pose vraiment un problème d'adaptation du réseau, comme nous allons le voir.

Par ailleurs, il existe de nombreuses situations documentées où la France est restée sans aucun vent plusieurs jours en hiver. Il faut donc prévoir d'autres types de production (l'hydraulique, qui reste constante et sans doute des centrales à « biogaz » dans le scénario Negawatt) pour alimenter le réseau ces jours là. Le scénario Negawatt envisage sans doute une pointe lissée aux alentours de 70 GW, il faut donc 60 GW de centrales à gaz en tablant 10 GW assurés en hydraulique l'hiver.

Comme nous allons le voir, ce gaz est fourni par méthanisation, gazéification de biomasse mais aussi par méthanation à partir de l'énergie électrique des éoliennes et du solaire.

Ces ENR produiraient 394 TWh d'intermittent plus 50 TWh d'hydraulique, soit 444 TWh. La consommation d'électricité est estimée à 315 TWh (35% de 900). Le bouclage est à effectuer entre la production « utile » des ENR plus l'électricité fournie par le stockage des périodes en excès (sous forme de gaz) après correction du rendement de l'opération de stockage. Mais nous n'avons pas la valeur de l'hypothèse de rendement, qui devrait être faible comme nous allons le voir. Negawatt ne donne pas ses hypothèses détaillées et les codes des algorithmes pour vérifier les bouclages globaux.

### **Le power to gaz (méthanation)**

C'est aussi un des éléments clé du système et le sujet à la mode.

C'est une fabrication de méthane par une réaction connue entre CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub> à haute température en présence de catalyseur, en général du Nickel. L'idée est d'obtenir d'abord de l'hydrogène par électrolyse. Le rendement global serait de 55% sans récupération des pertes du système, 80 % avec récupération de chaleur. Cette option soulève plusieurs problèmes :

- l'énorme complexe industriel (centralisé ou diffus) que cela implique. En effet pour ne pas « perdre » l'électricité excédentaire les jours de soleil et de grands vents, il faut être capable de l'absorber en temps par les usines de méthanation. Imaginons une journée à 100 GW de solaire et 50 GW de vent au maximum, avec une consommation, en été de 40 GW ; cela fait 110 GW de capacité d'électrolyse à installer.



Figure 5 – Electrolyseur alcalin ELT, 760 m<sup>3</sup>/h – 30 bars

Pour avoir une idée de la question, voilà la technologie actuelle la plus courante. On utilise non pas de l'eau mais de la potasse avec tout ce que cela comporte de gracieusetés environnementales. L'unité ci-dessus est d'environ 3 MW ; il en faudrait 36 000. Il est probable d'ailleurs qu'il faudrait changer de technologie car celle-ci n'aime pas les « stop and go » fréquents imposés par l'intermittence.

Mais ce n'est pas tout. Il faut aussi du CO<sub>2</sub>. La principale source de CO<sub>2</sub> identifiée dans Negawatt est le CO<sub>2</sub> co-issu avec le méthane de la méthanisation, qui est assez facile à isoler (dans les fumées, ou même dans l'air, c'est incroyablement coûteux et énergivore, c'est ce qui plombe le stockage souterrain).

Le rendement global, électrique à électrique, serait au mieux, en considérant d'énormes progrès technologique, de 20 à 30 % ce qui rend problématique le bouclage énergétique de l'électricité dans le scénario, comme nous l'avons déjà vu plus haut.

Enfin, le problème principal est d'ordre géographique. L'hydrogène pur se transporte mal, donc il serait normal d'installer les électrolyseurs près des unités de méthanisation, pour le CO<sub>2</sub>...et pas trop loin de réservoirs souterrains de stockage de gaz. Cela ne permet sans doute pas de concevoir de grands complexes et conduit à un « mitage » qu'on devra relier par le réseau électrique et par le réseau gaz.

### **Le réseau électrique.**

La question de l'adaptation des réseaux de gaz et d'électricité n'est pratiquement pas abordée ; tout au plus on compte, comme d'habitude, sur « un foisonnement » des ENR qui n'existe pas : on peut le constater en temps réel sur le site de RTE (eCO<sub>2</sub>mix) ou Fraunhofer (Energy charts).

Pire, le réseau futur est considéré comme plus stable que le réseau actuel ! Or, les éoliennes ont des sautes de puissance énormes en moins d'une heure (cela est dû au fait que la puissance varie comme le cube de la vitesse du vent) ; quant au soleil, si le profil de puissance est prévisible, il est quasi inexploitable ; un jour d'hiver ensoleillé, on passera de 0 à 120 MW par exemple en moins de 4 heures ! L'exemple allemand, et la croissance du nombre d'interventions critiques des ingénieurs pour stabiliser le réseau montre les difficultés.

Mais il faudra le renforcer ce réseau. D'abord parce que les centres de production d'ENR ne seront pas près des centres d'utilisation.(l'off shore notamment, là encore, il faut suivre les difficultés allemandes). Il faudra de nombreuses lignes Ht et THT pour cela.

Mais il faudra aussi renforcer considérablement les réseaux BT et MT à cause du solaire diffus. En effet, à certains moments, le solaire produira bien plus que ne pourrait transporter

un réseau de distribution seulement dédié à la consommation. C'est cette prise de conscience dans tous les pays d'Europe qui ont stoppé ou diminué brutalement les subventions pour éviter des coûts exponentiels.

Negawatt est muet sur les détails techniques de ces extensions énormes du réseau ; pire, il considère que la production « décentralisée » améliorera sa conduite ! Les ingénieurs de réseau qui se relaient 24h/24 pour assurer l'équilibre permanent entre offre et demande apprécieront !

Globalement, il faudra construire un réseau capable de connecter entre eux 300 GW de puissance installée au lieu de 120 actuellement.

### **Les coûts, les emplois.**

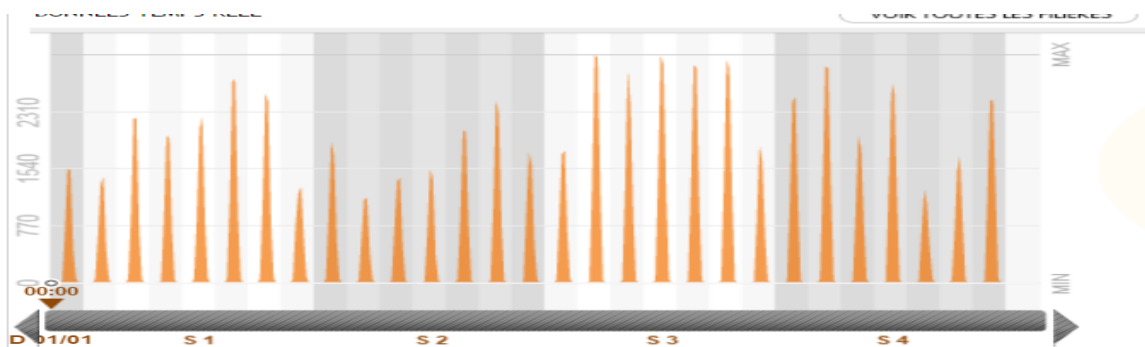
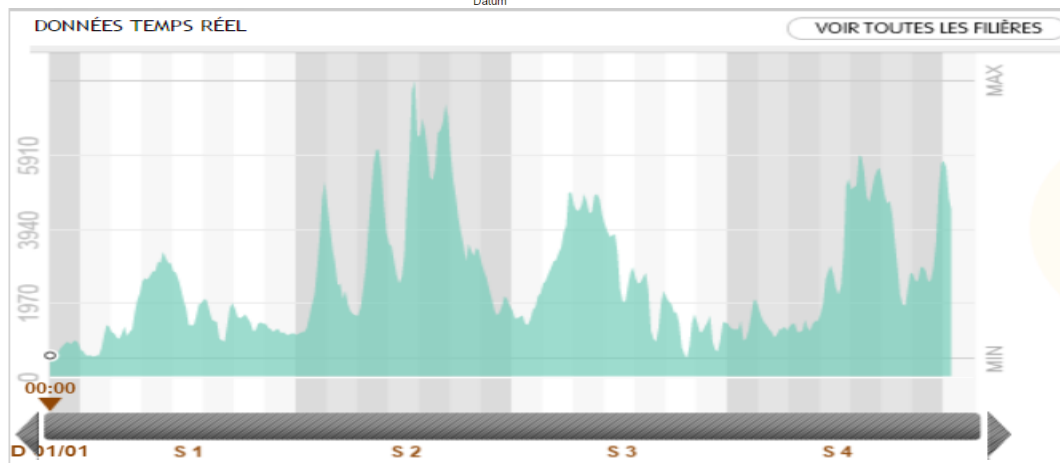
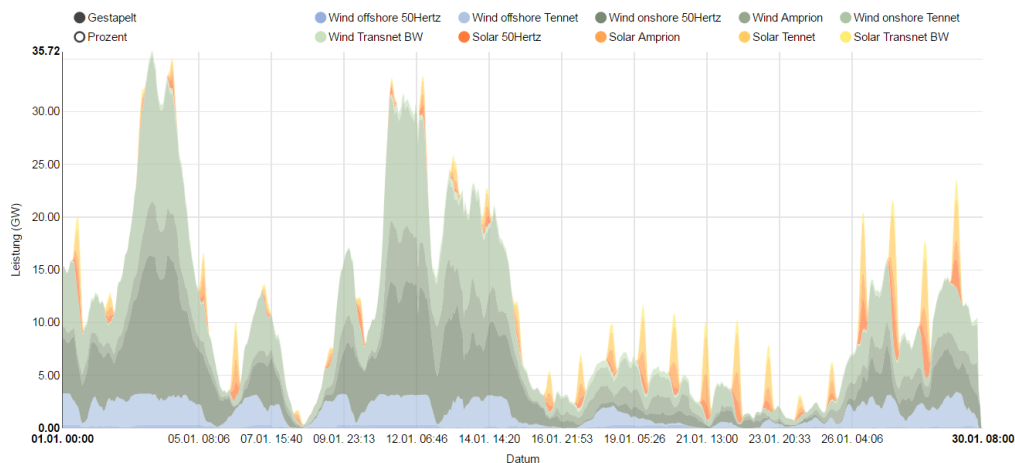
La synthèse à notre disposition ne permet pas de juger les chiffres proposés ni des méthodes, en particulier d'actualisation, qui sont primordiales s'agissant de prévisions à 35 ans. En outre, la grande incertitude concerne les coûts de maintenance et la durée de vie des équipements nécessaires : éolien en mer, panneaux de toiture, pompes à chaleur, unités d'électrolyse et de méthanisation, tout cela paraît bien complexe à maintenir en état.

### **Annexe : analyse des ENR au mois de Janvier 2017**

Si la nuit et la journée de Noël ont été très ventées, mettant le réseau allemand en difficulté, (il a fallu vendre de l'électricité à prix négatifs à l'Autriche), l'ensemble du mois de Janvier a été très contrasté, mettant en lumière les difficultés que rencontrerait un réseau avec 80 GW d'éoliennes et 140 GW de solaire.

On regardera les réseaux français et allemands comme un réseau unique où les effets d'échelle et de foisonnement devraient être importants : il alimente 150 millions de personnes, et s'étend de la Baltique à la Méditerranée.

Les deux pays ont ensemble 59 GW d'éolien et 46 GW de solaire, ce qui est encore très loin du scénario Negawatt.



Le 13 janvier, à la pointe du soir, on remarque la baisse et remontée brutale, en quelques heures, de 45 GW ; dans le scénario Negawatt, proportionnellement, ça serait le double ; aucune des technologies présentées dans le scénario n'est capable d'encaisser cela.

On remarque aussi qu'au moment où les températures ont été très basses, du 16 au 26 les ENR allemandes ont produit entre 3 et 4 GW et les françaises environ 3 GW (il y avait un peu plus de vent en France).

En Allemagne, on est même passé à zéro le 23. Ceci confirme bien qu'il faut une puissance de secours égale à la consommation à la pointe même sur un réseau de 115 GW d'ENR aussi vaste que la France et l'Allemagne.