

DOCUMENT DE TRAVAIL

AVIS SUR LA TRANSITION ENERGETIQUE.

(Le rêve du remplacement du nucléaire par des éoliennes et des panneaux solaires face à la dure réalité de la physique du réseau électrique)

PARTIE A

PREMIERE ETAPE¹ DE L'INTRODUCTION DES NOUVELLES ENERGIES RENOUVENABLES DANS LA PRODUCTION D'ELECTRICITE (JUSQU'EN 2018)

OBJECTIF : DIMINUTION DES GES ?

Il ne faut pas se tromper d'objectif principal et revoir, au besoin, les objectifs secondaires s'ils se révèlent contreproductifs. Après le Grenelle de l'environnement, nous croyions avoir compris que pour lutter contre le changement climatique, la France avait comme objectif principal de contenir l'augmentation de température moyenne du globe nettement en dessous de 2° C et, pour cela, d'agir pour diminuer les émissions de GES (Gaz à Effet de Serre) et en particulier du CO₂.

Mais, en accord avec les décisions européennes, la France s'est engagée à :

- Réduire de 20% ses émissions de GES ;
- Améliorer de 20% son efficacité énergétique ;
- Augmenter à 23% la part des énergies renouvelables dans sa consommation finale d'énergie ;

Seuls les deux premiers objectifs sont compatibles avec l'objectif principal et la situation de la France ; quant au dernier, il surgit sans qu'on ait démontré sa totale cohérence avec le premier. *De plus, ces objectifs définis sous la forme d'un pourcentage des quantités atteintes en 2010 plutôt que sous la forme d'une quantité par habitant à respecter (comme, par exemple, la quantité maximale de GES par habitant) pénalisent les pays déjà vertueux dans le domaine comme la France.* De telles règles ne peuvent qu'être jugées injustes et contestables par ceux auxquels on voudra les appliquer.

En ce qui concerne *les énergies renouvelables*, leur augmentation peut, dans certains cas être un moyen de diminuer les GES, *à condition que l'on ne perde pas de vue l'objectif principal* et qu'on s'assure que cette solution est pertinente comparée à d'autres, autrement dit que *l'on hiérarchise et choisisse les moyens en fonction de leur efficacité.* Ce n'a pas été fait et, en outre, on s'est focalisé très, trop fortement sur l'électricité. Ainsi, il a été décidé d'introduire des éoliennes et des panneaux photovoltaïques (que nous appellerons, dans la suite, NENR²) dans le réseau électrique ce dont nous allons examiner les conséquences.

LE SYSTEME ELECTRIQUE

¹ Dans une deuxième partie, nous examinons les conséquences des lois, décrets, et PPE de la transition énergétique.

² Nouvelles Energies Renouvelables : éolien et solaire.

Rappelons quelques faits et contraintes sur le système électrique qui permettent d'appréhender la problématique de l'insertion des NENR dans ce système. L'énergie électrique doit être fabriquée **exactement** au moment où on veut l'utiliser. Ceci s'effectue par la mise en fonctionnement de divers moyens de production qui :

- brûlent un combustible : uranium, charbon, fioul, gaz : les centrales thermiques,
- ouvrent des vannes pour que l'eau des barrages ou des fleuves fasse tourner les turbines : les centrales hydrauliques.

Les centrales thermiques présentent des contraintes de fonctionnement sur le nombre et la fréquence des arrêts et démarrages ainsi que sur les variations de puissance (amplitude, vitesse, fréquence). Il existe, bien évidemment, des contraintes hydrauliques pour les centrales établies sur des fleuves et rivières qui doivent, à une petite modulation près, turbiner toute l'eau qui se présente à la différence des centrales de lac car l'eau retenue par les barrages représente un stock d'énergie toujours disponible, après un court délai, pour actionner les turbines qui produiront l'électricité. Heureux sont les pays comme la Norvège dont l'énergie électrique est à 95% hydraulique !

La consommation électrique varie selon l'heure de la journée et la saison. Sur les courbes de la demande des consommateurs fournies en annexe B, on voit que la variation entre la pointe de jour et le creux de nuit est importante (de l'ordre de 16 000 MW en moyenne). ***Les moyens de production doivent donc permettre de suivre, à tout moment, exactement cette demande***³; sans cela, la fréquence sort de sa plage admissible, il y a des coupures et risque de panne générale. Ainsi, les moyens de production sont appelés en fonction de leur mérite économique (premiers appelés, bien sûr, les groupes nucléaires), mais aussi de la possibilité pour l'ensemble du parc de suivre la demande du jour en compatibilité avec ce qui était réalisé la veille et ce qui sera réalisé le lendemain et dans l'année. Ceci est accompli sans trop de difficulté avec les moyens de production classiques qui sont mobilisables et modulables en fonction des besoins. La nature et le dimensionnement du parc de production doit remplir un certain nombre de fonctions qui sont schématiquement les suivantes :

1. fournir la consommation de pointe quel que soit le jour où elle se produit;; autrement dit, le parc doit être capable d'atteindre une certaine puissance garantie (définie en fonction des prévisions de consommation et du risque amissible) ;
2. fournir l'énergie demandée par les consommateurs, donc être capable d'effectuer des variations de production qui suivent exactement la courbe de la demande⁴ ;
3. maintenir la fréquence et la tension dans leurs limites contractuelles et pour cela pouvoir :
 - modifier sa puissance en plus ou en moins :
 - en quelques secondes (réglage primaire automatique agissant sur la réserve primaire),
 - en quelques minutes (réglage secondaire automatique agissant sur la réserve secondaire pour maintenir la fréquence et les échanges d'énergie contractuels aux frontières),
 - Dans les 20 minutes (mise en œuvre manuelle de la réserve tertiaire) ; et au-delà (mise en œuvre de la réserve différée),

³ Dit plus simplement, l'électricité ne se stocke pas.

⁴ Comme on l'a vu, l'écart entre le minimum et le maximum journalier est de l'ordre de 16 000 MW. En ce qui concerne l'écart maximal sur l'année, on a constaté, en 2018, que le creux d'été a été de 30 448 MW et que la pointe d'hiver a été de 96 609 MW.

- effectuer un réglage de la tension sur l'ensemble du réseau grâce aux sources de tension que sont les alternateurs des unités de production en service.

Ces règles de réserves permettent de faire face aux différents incidents qui peuvent se produire : variation imprévue de la consommation, perte brutale de production⁵.

Il existe, évidemment, des règles, pour le réseau, également, par exemple : résistance à la perte de tout ouvrage.

L'INTRODUCTION DE L'EOLIEN ET DU SOLAIRE

Les productions NENR sont intermittentes⁶, non commandables et non prévisibles longtemps à l'avance. Ceci conduit aux conséquences suivantes par rapport aux trois exigences détaillées précédemment :

1. A la différence du parc classique dont la puissance garantie⁷ est proche de la puissance nominale, les éoliennes ne garantissent qu'une puissance égale à 5%⁸ de leur puissance nominale et c'est moins pour le solaire⁹ ; Pour pallier ce déficit de puissance garantie, il faut donc disposer, en parallèle, de moyens classiques qui permettront (en y ajoutant la faible garantie des NENR) d'atteindre la puissance de la consommation de pointe. ***L'investissement en NENR n'évite donc pas de devoir disposer de moyens de production classiques¹⁰*** (déjà en service ou à construire) de l'ordre de la puissance nominale des NENR.
2. Le facteur de charge (rapport entre l'énergie réellement produite et celle qui serait produite par la fourniture de la puissance nominale toute l'année) est de 23% pour l'éolien et de 11% pour le solaire. On constate, donc, que pour la fourniture d'énergie, le recours à un parc classique est également nécessaire pour pallier à l'absence de vent ou de soleil et suivre exactement la courbe de demande. On aurait pu penser adjoindre aux NENR des moyens de stockage, mais c'est inenvisageable techniquement et économiquement actuellement et à moyen terme comme on l'explique en annexe A. D'autre part¹¹, quel que soit le moment où ces NENR produisent et quelle que soit la valeur de leur production (entre 5% et β % de leur puissance nominale), il faut accueillir la totalité de leur énergie électrique sur le réseau, donc modifier le programme de fonctionnement du parc classique qui aurait été décidé en leur absence pour répondre à la demande d'électricité des consommateurs. β est inférieur à 100% car les puissances fournies par les différentes NENR de chaque type sont corrélées, mais non identiques et ne fournissent donc pratiquement jamais leur pleine puissance en même temps. La figure 1 fournit les moyennes et déciles des puissances fournies. Pour les études de marges, il serait raisonnable de prendre au moins la puissance du centile qu'on ne peut calculer ici car la répartition n'est pas connue¹².

⁵ Après action des réglages automatiques, on reconstitue les réserves par appel aux unités de production en réserve.

⁶ Fluctuantes dans l'année, dans la journée et peuvent s'avérer négligeables plusieurs jours de suite.

⁷ Calculée, pour un risque donné, en fonction des puissances des unités de production et de leur probabilité de panne fortuite.

⁸ Chiffre fourni dans les notes de l'Académie des sciences

⁹ Ainsi, on ne peut compter sur lui pour passer une pointe d'hiver à 19h, puisqu'il fait nuit.

¹⁰ Au sens où ces moyens sont commandables.

¹¹ Du moins avec les règles actuelles où les autorités imposent la priorité d'accès au réseau pour les ENR.

¹² Et n'est manifestement pas normale.

3. *Tant que le volume de NENR est suffisamment faible pour que le parc classique puisse faire face aux fluctuations de ces dernières, le fonctionnement des NENR économise du combustible qui dépend du ou des moyen(s) mis à l'arrêt ou dont on réduit la puissance pour faire place à la production NENR : eau, gaz, charbon, uranium.*
4. Les NENR ne peuvent pas participer aux réglages de fréquence puisque ceux-ci exigent de monter ou baisser la puissance de l'unité de production en fonction de la fréquence du réseau et des ordres du dispatching central alors que les NENR, n'ont aucune réserve d'énergie à disposition pour ce faire. Il faut donc que le parc classique prenne à sa charge la part de réglage que les NENR ne peuvent fournir au réseau. Une idée¹³ a été émise de faire participer les ENR à la baisse de production, seulement à la baisse. Malheureusement, cela ne soulage pas du tout le parc classique puisqu'il doit continuer à pallier les manques des NENR pour les variations de puissance qui sont sollicitées à la hausse une fois sur deux (quel que soit le type de réglage examiné)¹⁴.
 - Pour le maintien de la tension, on peut utiliser les possibilités qu'ont certaines éoliennes de modifier leur puissance réactive. Cela ne fait pas pour autant les NENR, des sources de tension constantes, lesquelles doivent mailler le réseau, en nombre adéquat, pour que tout simplement celui-ci fonctionne. Même avec une technologie novatrice d'aérogénérateurs munis de machines synchrones et d'électronique de puissance sophistiquée, les NENR restent des sources de tension peu fiables, incapables de tenir la tension dans une poche de réseau séparé¹⁵ et de fournir une puissance de court-circuit¹⁶ garante de stabilité du système.
 - ***Leur spécificité*** d'être intermittents et mal prévisibles ***oblige à revoir à la hausse les règles antérieures¹⁷ de dimensionnement de toutes les réserves de puissance (en montée et en descente), pour faire face à une variation de leur production qui peut être très rapide, imprévue et malvenue*** comme par exemple une chute de la puissance des éoliennes survenant au moment de la pointe de consommation.
 Au-delà d'une certaine proportion de production intermittente, l'équilibre production-demande devient plus difficile à établir et plus antiéconomique puisqu'il faudra maintenir en service un volet important de centrales capables de variations rapides et successives pour faire face :
 - non seulement aux perturbations classiques (fluctuations de la consommation, incidents comme la perte d'une unité de production, ce qui est réalisé depuis toujours dans le cas d'un parc classique) ;
 - mais aussi aux perturbations des NENR qui s'y rajoutent puis deviennent prépondérantes (fluctuations et perte de production rapide des NENR) ;***Puis, si l'on augmente encore la proportion de NENR, la stabilité et le maintien de la tension et de la fréquence du réseau sont mis en péril.*** Le document d'EDF : « Insertion de production éolienne et photovoltaïque dans les réseaux publics des zones non interconnectées » impose, quant à lui, comme règle, que la somme totale des puissances aléatoires injectées ne dépasse pas, *à tout instant*, 30% de la puissance

¹³ Voir : Actu-environnement ; Intégration technique de l'éolien au réglage du système électrique

¹⁴ Cela montre le type de recherche de solutions effectuées pour introduire le plus possible de NENR dans le réseau.

¹⁵ Laquelle peut se constituer lors d'un incident.

¹⁶ Voir : EDF ; systèmes électriques insulaires ; Insertion de la production éolienne et photovoltaïque dans les réseaux publics.

¹⁷ Les règles définies dans le cas d'un parc de production classique ; hydraulique, nucléaire, thermique à flamme.

appelée sur le réseau, mais, il s'agit de réseaux où le parc est constitué de moyens hydrauliques et thermiques classiques capables de modulations rapides de puissance. Ce chiffre de puissance maximale de NENR injectée dépend du parc existant accueillant les NENR et de sa capacité à compenser des fluctuations selon la règle de vitesse et de profondeur des variations que l'on veut couvrir pour constituer les réserves. Nous n'avons pas connaissance d'une telle étude menée par RTE et de la règle qui en résulte.

LE CAS DE LA FRANCE

Dans le cas de la France où la consommation n'augmente pas¹⁸ et où le parc de production actuel est largement suffisant (la France est exportatrice d'électricité), si l'on garde la capacité de production actuelle (en MW), donc tout le parc nucléaire, on conservera la garantie de puissance nécessaire au système électrique à laquelle s'ajoute celle de l'éolien (pour # 5%). La production NENR viendra en remplacement d'une autre production ce qui économisera son combustible (gaz, charbon, uranium ou eau pour une usine hydraulique de lac) comme on l'illustre en annexe B. Au fur et à mesure de l'augmentation des NENR, le combustible économisé ne sera pas toujours celui qui crée le plus de CO2 (le thermique à flamme). En effet, le choix des moyens de production en service doit :

- faire face (en augmentant et diminuant sa production) aux variations de la demande diminuée de la production des NENR avec la vitesse et l'ampleur de variation adéquates ;
- constituer les réserves de puissance (en volume et temps de réaction voulus).

Ceci peut amener, à certaines périodes, à réduire la production nucléaire, plutôt que la production thermique classique avant d'avoir effacé l'ensemble de cette dernière au profit des NENR. Dans ce cas, on ne génère aucune réduction d'émission de CO2.

Ainsi, l'introduction de NENR dans le parc existant est coûteuse¹⁹ et ne génère qu'un gain modeste en combustible donc en CO2 associé. On pourra déclasser, éventuellement quelques centrales thermiques en comptant sur la puissance garantie apportée par les NENR. Néanmoins, il faut s'assurer, au préalable, que le suivi de la courbe de consommation et la constitution des réserves peuvent s'effectuer quel que soit le jour de l'année compte tenu des possibilités de modulation de puissance du nouveau parc de production.

Comme expliqué plus haut, au-delà d'une certaine proportion de production intermittente, l'équilibre production-demande devient difficile à établir et plus antiéconomique puisqu'il faudra baisser, encore plus, la production nucléaire tout en maintenant en service un volet suffisant de centrales capables de variations rapides et successives (hydraulique de lac et thermique à flamme). Puis, le maintien de la tension et de la fréquence du réseau et sa stabilité sont mis en péril et le système devient difficilement exploitable. La règle du maximum de 30% de puissance injectée par les NENR, évoquée précédemment, est certainement trop élevée pour

¹⁸ La cause principale est la baisse de la consommation industrielle due à l'érosion du tissu industriel du pays. On pourra lire, à ce sujet, de nombreux ouvrages dont le dernier paru : « La France vendue à la découpe de Laurent Izard.

¹⁹ Coût de l'obligation d'achat de l'électricité NENR, des nuisances écologiques associées aux NENR et des GES générés par leur fabrication et installation diminué de l'économie de combustible des moyens classiques dont on réduit la puissance.

la France et les pays européens si l'on cherche un haut niveau de sécurité. On voit mal, par exemple, comment constituer, en toutes circonstances, une réserve cohérente avec cette règle de 30% et un haut niveau de sécurité du réseau, car il faudrait, pour constituer les réserves, avoir démarré à puissance basse (ou avoir prêtes à démarrer dans le cas des turbines à gaz) les unités permettant de faire face à l'incident dimensionnant qui pourrait être plus ou moins proche de la perte de la production NENR courante. Bien évidemment, ces réserves n'ont pas à faire face à une perte brutale de toute la production éolienne car elles seraient, alors constituée d'une réserve primaire qui serait techniquement impossible à constituer. Elles doivent compenser une perte de la production NENR qui s'échelonne sur un petit nombre d'heures. C'est la statistique de la production NENR et de ses variations qui permet de caler ces réserves. Au vu de ce qui précède, si l'on veut garder un haut niveau de sécurité du réseau (ne pas couper les consommateurs) il faut adopter un seuil inférieur à 30%

Il faut noter que cette règle de limitation de la puissance injectée par les NENR est applicable à l'ensemble du réseau européen interconnecté et il n'y a pas de raison de ne pas la décliner dans chaque pays. Sinon, un pays à forte proportion de NENR exporterait ses problèmes de déséquilibre production-demande sur les autres pays.

En définitive, l'augmentation de la réserve de puissance imposée par les NENR exige la constitution de réserves coûteuses et pas toujours compatible avec le parc de production existant. Une illustration de cette difficulté a été démontrée le 10 janvier 2019 où la production éolienne de l'Allemagne qui était de 40 GW a chuté à presque zéro en quelques heures : l'écroulement du réseau a été évité en demandant aux grands consommateurs²⁰ français de s'effacer.

On en trouvera une description sur le site :

Distribution de la fée électricité by JPC24M(CC BY-SA 2.0) — [JPC24M](#), CC-BY

Et sur le site du journal La Croix, le seul à notre connaissance qui ait donné une explication de la quasi-panne :

<https://www.la-croix.com/Debats/Courrier/Panne-deelectricite-2019-01-31-1200999302>

Avant la panne, la production était de 79 GW dont 2 d'éolien en France et de 74 GW dont 40 d'éolien en Allemagne. La production totale du réseau européen interconnecté peut être estimée à environ 300 GW. Les productions éoliennes totales du réseau interconnecté (évaluées d'après les productions françaises et allemande et les ratios moyens) étaient, au plus de 75 GW. On voit donc que cette production éolienne de 75 GW était inférieure à la production éolienne maximale acceptable selon la règle du 30% sur l'ensemble du réseau qui était de 90 GW (30% de 300 GW). La règle des 30% était donc respectée, ce qui n'a pas empêché l'incident où on a frôlé la panne générale. Il faut admettre que le choix de la valeur de 30% est trop élevé et qu'une valeur de 20 %, comme expliqué précédemment est plus appropriée.

Néanmoins ce choix de 20% n'a de sens que si le réseau est exploité de sorte à disposer d'une réserve (évidemment coûteuse) permettant de faire face à la perte d'une part importante de la production NENR. Ce n'était pas le cas.

LES RAPPORTS DE L'ACADEMIE DES SCIENCES

Si le lecteur a quelques doutes sur ce qui précède, nous espérons qu'il voudra bien **lire la courte note de l'académie des sciences intitulée : La question de la transition énergétique est-elle bien posée dans les débats actuels ?**

(http://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/lpdv_190417.pdf)

²⁰ Effacer les grands consommateurs pour éviter l'écroulement du réseau ne se justifie qu'en extrême urgence

Il y est écrit en particulier : *C'est la croissance-de l'offre d'électricité produite par les renouvelables qui a nécessité l'ouverture de nouvelles capacités de production thermiques à charbon (13 GW) et un développement de l'exploitation du lignite. De sorte que l'Allemagne continue à être l'un des pays européens les plus gros émetteurs de CO2 pour un prix de l'électricité le plus élevé. On ne peut pas parler d'un succès. La France est, parmi les pays développés, l'un des plus faibles émetteurs de gaz à effet de serre par habitant (environ deux fois moins qu'en Allemagne, trois fois moins qu'aux Etats-Unis).*

Le lecteur pourra lire également la note suivante :

Cahier d'acteur La transition énergétique doit tenir compte des réalités scientifiques, technologiques et économiques

http://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/82_academie_des_sciences.pdf

Comment les pouvoirs politiques ont-ils pu ignorer aussi superbement les avis de l'Académie des sciences ? En tenir compte aurait été la moindre des choses s'ils considèrent que la France doit rester un grand pays scientifique et industriel !

CONCLUSION SUR LA PREMIERE ETAPE²¹ DE L'INTRODUCTION DES NOUVELLES ENERGIES RENOUVENABLES DANS LA PRODUCTION D'ELECTRICITE

L'Allemagne montre-t-elle la voie ?

Si l'Allemagne est un modèle dans certains domaines comme son tissu de PME solidaires et patriotes qui irrigue le pays, elle ne l'est pas du tout dans le domaine énergétique.

En effet, *les rejets de CO2 par kWh sont de 58 g pour la France et de 560 g pour l'Allemagne soit quasiment 10 fois plus ; et les rejets totaux de CO2 par habitant sont de 4,4 tonnes pour la France et de 8,9 tonnes pour l'Allemagne et soit 2 fois plus* d'après l'AIE (Agence Internationale de l'Energie). D'ailleurs, on constate qu'en Allemagne, malgré l'introduction massive de NENR, la capacité de production pilotable thermique ne décroît pas pour les raisons détaillées plus haut.

Dans le classement des pays européens qui émettent le moins de CO2 par kWh produit, on trouve la Norvège, la Suède puis la France, l'Allemagne arrivant très loin derrière.

En toute logique et équité, c'est donc à l'Allemagne, bien avant la France de faire des efforts de réduction de l'émission du CO2 dans tous les domaines.

La production d'électricité est-elle un des grands émetteurs de CO2 en France ?

Regardons maintenant les chiffres d'émission de CO2 annuels en France :

La production d'électricité seule ne rejette que 28 MT CO2 (chiffres de RTE)²² alors que, selon l'INSEE, le transport routier rejette 122 MT, l'habitat et le tertiaire 78 MT, l'industrie 71 MT,

²¹ Dans une deuxième partie, nous examinons les conséquences des lois, décrets, et PPE de la transition énergétique.

²² , l'INSEE répertorie uniquement la rubrique : « Transformation d'énergie » : Cette rubrique inclut d'autres processus que la production d'électricité transitant par le réseau comme les raffineries ou l'autoproduction, toutes productions dont les émissions ne sont pas considérées dans la « transition énergétique » et totalise 47 Mt.

l'agriculture et la sylviculture 12. *Ainsi, la production d'électricité n'est absolument pas le secteur prioritaire de la réduction de CO2 alors que l'introduction des NENR dans le système électrique représente une dépense totale engagée jusqu'à aujourd'hui²³ considérable de l'ordre de 150 Milliards d'euros comme expliqué plus loin.*

Qui plus est, comme les éoliennes et les panneaux photovoltaïques ne sont pas produits en France, *cette politique de développement des NENR pour produire de l'électricité alourdit encore un peu plus notre balance commerciale déficitaire, comme l'explique le rapport de la cour des comptes* : Le soutien aux énergies renouvelables mars 2018 à sa page 36 :

Tableau n° 2 : évolution de la balance commerciale des équipements EnR depuis 2009

Commerce extérieur (M€)	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016p
Exportations d'équipements*	796	1016	1166	1221	1181	1161	1206	1187
Importations d'équipements*	-1685	-3937	-2884	-1738	-1673	-2225	-1799	-1899
Balance commerciale des équipements	-889	-2921	-1718	-517	-492	-1232	-593	-712

Source : Cour des comptes d'après étude « Marchés et emplois dans le domaine des EnR » de l'ADEME, Juillet 2017 .

Quelle est le coût de la tonne de CO2 économisée par les NENR ?

On trouvera le détail des calculs en annexe C :

Le coût de la tonne de CO2 évité par les NENR est approximativement de : 348 € alors que le prix que l'on prévoit d'intégrer au tarif des taxes sur les produits énergétiques ne sera que de 100 € en 2030 et seulement 56 € en 2020.

Ce calcul ne peut être très précis, mais il donne la mesure de la rentabilité de l'effort consenti pour introduire les éoliennes et les panneaux solaires dans le réseau.

Les problèmes d'environnement

Ne faudrait-il pas aussi tenir compte de la dégradation du paysage et des nuisances apportées par les éoliennes ? Ainsi, par exemple, une éolienne de 4 MW de 160 m de haut, visible des dizaines de kilomètres à la ronde demande un massif de béton de 700 m² sur 4 m de profondeur et une aire de stockage de 6000 m². Pour réaliser ce massif de béton de 2800 m³, il faudra une noria de 280 camions avec une toupie de 10m³ chacun²⁴, sans compter l'acheminement de l'éolienne proprement dite. Au bout de 20 ans, fin de vie de l'éolienne, ce massif de béton ne sera détruit que sur 1m de profondeur si la promesse de l'exploitant est tenue et s'il n'a pas disparu avant l'arrêt et le démontage de l'éolienne.

Conclusion sur la première étape d'introduction des NENR

On paye donc fort cher l'introduction des NENR dans le réseau électrique avec un coût de la tonne de CO2 évité prohibitif de 348 € par tonne. Il y avait mieux à faire pour réduire les émissions de CO2 ; l'objectif d'augmentation des NENR est donc contreproductif vis-à-vis de l'objectif premier de réduction du CO2. On ne peut pas (en conservant le parc actuel) faire diminuer beaucoup l'émission de CO2 en rajoutant des NENR car il faut continuer à faire fonctionner les moyens thermiques à variation rapide pour le suivi fin de la courbe de

²³ Celle de tous les contrats signés jusqu'à fin 2017. Les productions des NENR correspondantes ont déjà commencées où vont commencer avant fin 2020. On parle de la somme de tous les débours annuels de ces contrats.

²⁴ Qui aura la charge de remise en état des chemins d'accès aux éoliennes ?

consommation, la compensation des fluctuations des NENR et la réaction aux incidents. Ainsi, il faudrait que le volume de NENR en fonctionnement soit inférieur à une limite (probablement 20%²⁵ de la puissance produite sur le réseau ou moins selon la réserve qu'on est en mesure de constituer) au-delà de laquelle l'exploitation du réseau sera périlleuse.

PARTIE B

LES NOUVEAUX OBJECTIFS DONNES A RTE (PRECISE EN 2018) SONT-ILS REALISABLES ET PERTINENTS ?

LES LOIS ET LA PROGRAMMATION PLURIANNUELLE ENERGETIQUE

La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) a été promulguée **le 17 août 2015**. Elle fixe les objectifs en matière de développement des EnR et notamment :

- Augmenter la part des énergies renouvelables à 23 % de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32 % en 2030 ;
- **Atteindre 40 % de la production d'électricité d'origine renouvelable en 2030 ;**
- Atteindre 38 % de la consommation finale de chaleur d'origine renouvelable en 2030 ;
- Atteindre 10 % de la consommation de gaz d'origine renouvelable en 2030 ;
- Multiplier par cinq la quantité de chaleur et de froid renouvelables et de récupération livrée par les réseaux de chaleur et de froid à l'horizon 2030.

Pour atteindre ces objectifs, le gouvernement s'est doté d'un outil de programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), qui fixe des objectifs quantitatifs pour chaque filière renouvelable sur une période de dix ans. La PPE doit être revue tous les cinq ans, à l'exception de la première révision qui interviendra en 2018.

Le 27 novembre 2018 le gouvernement a présenté la Programmation Pluriannuelle de l'Energie que l'on retrouvera en :

<https://www.gouvernement.fr/programmation-pluriannuelle-de-l-energie-quelle-ambition>

. Les décisions concernant l'électricité sont les suivantes :

- 1. L'arrêt des centrales à charbon d'ici à 2022 est confirmé.**
- 2. L'ambition des énergies renouvelables est affichée. Le développement d'une nouvelle filière d'éolien en mer, triplement de l'éolien terrestre, multiplication par cinq du photovoltaïque à l'horizon 2030. C'est un engagement fort du Gouvernement et une utilisation concrète de la fiscalité des carburants**
- 3. Dans le domaine du nucléaire, l'objectif d'une diversification du mix électrique et d'une réduction du nucléaire à 50% d'ici à 2035 est maintenu,**

Ainsi, les objectifs donnés à RTE sont l'intégration d'une part croissante d'ENR dans le réseau électrique, jusqu'à 40%, et une réduction de la production nucléaire à 50 %.

²⁵ expliquée au paragraphe : « le cas de la France »)

LES CONSEQUENCES

40% d'ENR.

Si l'on veut atteindre 40% d'ENR, comme il n'y a plus de sites hydrauliques équipables, c'est les NENR qui doivent être développées à hauteur de $40 - 12,4^{26} = 27,6$ % de la production totale, donc pour une énergie annuelle de $549^{27} \times 0,276 = 152$ TWh ; En gardant les ratios de 2018, on obtient que l'énergie éolienne est de 111,20 TWh et l'énergie photovoltaïque de 40,8 TWh. Ceci conduit aux puissances suivantes : pour l'éolien 60 GW et pour le photovoltaïque 34,8 GW. Par ailleurs, les puissances actuelles étant de 15,1 GW pour l'éolien et de 8,5 GW pour le solaire, l'objectif de la PPE conduit à : pour l'éolien ; $3 \times 15,1 = 45,3$ GW et pour le solaire : $5 \times 8,5 = 42,50$ GW. Les deux objectifs sont comparables. Examinons quelle est la dépense associée (avec les chiffres de la PPE) : On rajoute une puissance éolienne de $15,1 \times 2 = 30,2$ GW et une puissance photovoltaïque de $8,5 \times 4 = 34$ GW. En prenant un facteur de charge de 23% pour l'éolien et de 11% pour le solaire, les productions annuelles sont les suivantes : $30,2 \times 8\,760 \times 0,23$ GWh = 60,4 TWh pour l'éolien et $34 \times 8\,760 \times 0,11$ GWh = 32,8 TWh pour le solaire. Le total fait : 93,20 TWh. La cour des comptes, pages 52 et 53 de son rapport, donne un coût des NENR futures égal à 95 € par MWh, ce qui conduit à une dépense annuelle de $93,20 \times 95$ M€ = 8,854 G€. Sur les 20 ans de durée de vie des installations, la dépense est de $20 \times 8,854$ G€ = 177 G€. Cette **dépense de 177 Milliards d'euros est considérable**. Il faudra recommencer dans 20 ans pour cette nouvelle production et avant 20 ans pour la production déjà en place.

Voyons maintenant, les aspects techniques :

Plaçons-nous dans le cas du deuxième objectif et dans le cas du décile supérieur de production pour les deux types de NENR²⁸ (voir la figure 1). Pour l'éolien, la puissance est de 7 200 MW en 2018 et de $3 \times 7\,200 = 21\,600$ MW lors du triplement. Pour le solaire elle est de 5 900 MW en 2018 et sera de : $5 \times 5\,900 = 29\,500$ MW au quintuplement. Le total est de 51 100 MW. Selon notre critère de stabilité du réseau, pour que cette valeur de production NENR soit toujours bien inférieure à 20% de la production totale, cette dernière devrait, alors, être supérieure à $(51\,100 / 0,2)$, soit : 255 500 MW ou si l'on continuait à prendre en compte le critère de 30%, cette puissance totale minimale serait de 170 333 ce qui n'arrive jamais ! On applique le critère à la production en France car on considère que quand tous les pays comportent des éoliennes, le même critère doit être respecté par chacun d'eux pour qu'il soit respecté globalement²⁹. **Il a donc été imaginé un réseau instable**, à ce niveau, il faudrait dire fictif. De plus, même si un tel réseau était exploitable, il faudrait compenser l'absence de garantie de puissance et de manœuvrabilité (capacité à moduler sa puissance pour suivre la courbe de consommation) des NENR par des unités de production pilotables. **En résumé, les NENR ne font que des économies du combustible des autres unités de production qui sont absolument nécessaires pour faire face à la consommation maximale que l'on veut satisfaire et au suivi de la demande. En trop grand volume, elles fragilisent le réseau** comme la montre, outre l'incident du 10 janvier 2019 en Europe, le comportement des réseaux : crétois :et australien : <https://fr.soc.environnement.narkive.com/x2wbxPcC/la-crise-de-l-electricite-en-australie-du-sud-suite> puis, le rende inexploitable.

²⁶ C'est la part de la production hydraulique dans la production totale. Rappelons que cette production hydraulique ne peut être augmentée faute de nouveaux sites équipables.

²⁷ Production annuelle fournie sur le site de RTE.

²⁸ C'est donc une situation de probabilité 1% si l'on suppose les deux productions indépendantes.

²⁹ En l'état de l'analyse, on ne sait pas, compte tenu des corrélations de la météo des divers pays et des capacités de transit d'énergie entre réseaux quelle mutualisation de la réserve on peut accepter avec son corolaire sur la valeur du paramètre de la règle.

Seulement 50% de nucléaire.

On vient de voir qu'un réseau dont la production est à 27,6% NENR n'est pas viable. Donc, nous examinons maintenant un réseau avec la quantité actuelle de NENR assurant seulement 7% de la production. Si on met à l'arrêt des centrales nucléaires, il faut reconstituer la garantie de production perdue, la capacité de moduler sa puissance en fonction de la courbe de demande des consommateurs et de fournir les réserves. Il faut donc investir dans des moyens de production thermiques classiques³⁰ (thermiques à flamme puisqu'on prohibe le nucléaire) de puissance équivalente à celle des REP mis à l'arrêt. On effectue une dépense d'investissement et on augmente les émissions de CO2 en raison du fonctionnement de ces moyens de production classiques. Déclasser des groupes nucléaires est totalement contraire à l'objectif principal annoncé de réduction des émissions de GES pour une dépense élevée (investissement, combustibles des nouveaux moyens de production classiques et coût environnemental). L'exemple de l'Allemagne rappelé par l'Académie des sciences (voir plus haut) l'illustre fort à propos. Si l'on veut conserver une électricité décarbonée, il faut conserver les REP.

***Au vu de ce qui a été expliqué en première partie, il fallait se réjouir d'avoir une production électrique largement décarbonée grâce au nucléaire** ce qui nous permet d'avoir une émission de CO2 par kWh produite parmi les plus basses³¹. Par conséquent, **il ne faut surtout pas vouloir diminuer la contribution du nucléaire à la production d'électricité en croyant pouvoir la remplacer par des éoliennes et des panneaux solaires. On augmente au contraire considérablement l'émission de CO2 en raison des centrales thermiques (piloteables !) qu'il faudra installer à la place des REP**, les NENR ne pouvant avoir qu'une place marginale, déjà saturée puisqu'elles n'obéissent pas à la demande d'électricité mais à Eole et Hélios. Il faut, au contraire, maintenir et développer notre savoir-faire nucléaire pendant qu'il existe encore.*

Nombreux sont ceux qui s'insurgent contre cette décision de déclasser les REP. Citons :

: Remy Prud'homme, Professeur des Universités dans les échos :
<https://www.lesechos.fr/idees-debats/cercle/030498969974-reduire-drastiquement-le-parc-nucleaire-francais-serait-une-folie-2108460.php>

Le GIEC (Pour réduire les gaz à effet de serre et la dépendance aux énergies fossiles de façon significative, des scénarios du GIEC sont conduits à développer le nucléaire) :

<http://www.sfen.org/rgn/rapport-giec-respecter-accord-paris-necessitera-nucleaire>
ou <https://e-rse.net/rapport-giec-2018-resume-explication-271275/#gs.oP7SsSQE>

Rappelons, également, que le premier des Présidents de l'ADEME, Pierre Radane, après avoir quitté cet organisme pour devenir consultant expliquait qu'il fallait recourir à l'énergie nucléaire.

Les scénarios de RTE

Limiter la production nucléaire à 50% de la production totale et introduire à marche forcée des NENR dans le système électrique, a bien été essayé, mais, sur le papier. En effet, on trouve sur le site de RTE (<http://bpnumerique.rte-france.com/>) des scénarios étonnants, au nombre de cinq, qui examinent comment remplacer des centrales nucléaires par des éoliennes et des

³⁰ Donc commandables.

³¹ Seuls les pays avec une production hydraulique très importante font mieux que la France. L'Allemagne génère 10 fois plus de CO2 par kWh que la France.

panneaux solaires. Ainsi, *le scénario Ampère prévoit un accroissement du parc (éolien + photovoltaïque) de 92 GW par rapport à ce qui existe actuellement (23 GW) pour atteindre 115 GW et 220 TWh et réduit le nucléaire à ne fournir que 50% de l'énergie (Puissance de 48,5GW et énergie annuelle de 294 TWh).*

On ne voit pas où on va comment installer ces équipements NENR sur des sites ayant encore une productibilité convenable. Dans ce scénario, la production est donc assurée par les NENR, l'hydraulique actuel, le nucléaire (à 50%) et du thermique classique. La simulation de la semaine du 8 au 14 janvier 2035, reproduite sur la figure 2, est présentée comme exemple de réalisation du scénario Ampère ; On trouve, pour le 10 janvier à 5h les productions suivantes (en GW) :

Consommation	Importation	Prod. gaz	Pompage STEP	Défaillance	Fioul
59,3	0	8,07	-1,80	0	0

Prod. charbon	Effacements	Turbinage STEP	Prod. nucléaire	Solaire	Hydraulique
0	0	0	38,2	0	6,23

Déversement	Eolien	Autres renouvelables	Exportation	Σ Production	Δ Prod - Conso
0	24,4	3,67	19,5	78,8	19,5

Nous avons noté en : « Σ Production », la somme de l'ensemble des puissances produites et en : « Δ Prod – Conso », la différence entre cette production totale du réseau français et sa consommation. Cette différence est exactement égale à l'exportation et ceci à tous les instants de la semaine de simulation présentée. Le logiciel du scénario Ampère empile donc les productions : NENR, nucléaire, hydraulique, thermique classique (ici au gaz) ; *Le résultat est une production totale toujours largement supérieure à la consommation qui est la courbe noire coupant la zone colorée de la production et le logiciel déverse, en permanence, exactement le trop plein de puissance dans la case exportation. A ce compte-là, on pourrait rajouter des éoliennes et des panneaux photovoltaïques encore et encore puisqu'on déverse ni plus ni moins leur production excédentaire dans la case « exportation ». Mais, en réalité, c'est totalement irréaliste puisque le maintien de la tension et de la fréquence ainsi que de la stabilité du réseau européen ne peuvent pas être assurés puisque personne n'y assure l'équilibre production demande et n'a les moyens de le faire. Sans le maintien, en permanence de cet équilibre, aucun réseau ne peut pas exister ; Si chaque pays agit de la même façon, en voulant exporter une surproduction aléatoire (=non programmée), il y aura immédiatement surfréquence et déclenchement de toutes les unités de production. Autrement dit, **au niveau du réseau européen, il n'y a pas d'échappatoire il faut équilibrer production et demande en permanence et on ne peut avoir de production de NENR excédentaire car il n'y a nul endroit où la***

*déverser*³² et chaque partenaire doit assurer l'équilibre de son système !³³ Cette réalité de la physique n'a pas été prise en compte, ni les questions de la stabilité, de la résistance aux incidents.

SI L'OBJECTIF EST DE REDUIRE LA DANGEROUSITE DU NUCLEAIRE, IL FAUT LE DIRE, DETERMINER LES ACTIONS PERTINENTES ET LES REALISER

REDUIRE LE RISQUE NUCLEAIRE

Quand on s'engage pour le nucléaire c'est pour des années et plus encore puisqu'il faut assurer la maintenance, le démantèlement, le stockage des déchets. On ne réduit pas ce risque en supprimant quelques réacteurs.

Pour réduire le risque, renforcer la sûreté et les règles associées, il faut, au contraire, *maintenir l'organisation actuelle et ses compétences* : autorité de sûreté, constructeur, exploitant, industriels. Cela suppose une masse critique de personnes à la compétence entretenue dans les entités précédentes. Sinon, il y aura des risques de dysfonctionnement avec leurs conséquences. Surtout, la société doit conserver sa cohérence, le sens des responsabilités, la confiance assortie de réciprocité entre ses membres, l'acceptation de la discipline industrielle.

A cet égard, l'évolution de la France évoquée par l'ancien ministre de l'intérieur à son départ est inquiétante par sa description du non-respect des règles communes dans certains territoires. Pourra-t-on toujours compter sur la discipline et la responsabilité nécessaire au nucléaire comme à tous les systèmes industriels complexes (dire ce qu'on voit, ce qu'on fait et faire ce qu'on dit) ?

Ce qui est en jeu, c'est la volonté de l'autorité de sûreté, du constructeur, de l'exploitant, des industriels d'éviter les accidents, et pas le nombre de centrales. On peut donner l'exemple de la catastrophe *du tsunami de Fukujima qui n'a pas endommagé une centrale plus proche de l'épicentre du séisme, celle d'Onagawa ; Son constructeur est devenu un héros au Japon pour avoir eu le souci absolu de la sécurité. Il a expliqué que chacun devait se sentir responsable de ses actes.*

Le sens des responsabilités n'est-elle pas la clé de la sécurité ?

Voici l'intervention à une commission d'enquête de l'assemblée nationale de Dominique Minière, , *directeur délégué à la direction Production-Ingénierie (EDF)* :

https://www.youtube.com/watch?v=uZIAHOjiTTo&feature=player_detailpage#t=368

QUEL EST LE BON INDICATEUR ?

³² On pourrait croire qu'un moyen d'assurer l'équilibre production-demande serait, au lieu d'utiliser la case exportations, de déclencher, à chaque instant, la production excédentaire. C'est difficile techniquement. Mais il faut également disposer des réserves de production à la hausse que les NENR ne peuvent assurer comme expliqué au 4 du § « L'introduction de l'éolien et du solaire ». Il n'y a pas d'échappatoire et le réseau présenté n'est pas viable.

³³ Les contrats d'exportation déjà signés sont des consommations à assumer avec les autres.

En France, le total de la production de CO₂ (selon l'INSEE) est de 338 MT CO₂, mais d'autres sources l'évaluent à 458 Mt *en tenant compte de la consommation, donc des produits consommés en France, mais fabriqués à l'Étranger*. Si, on y rajoute les autres gaz à effet de serre. On passe à 637 MT eqCO₂ pour les GES. C'est ce dernier chiffre qui devrait nous servir de boussole en y rajoutant ce qui n'est pas comptabilisé comme les transports internationaux (voir plus bas).

B

QUELQUES PROPOSITIONS SUR LES DOMAINES OU NOUS DEVRIONS AGIR ?

Propositions générales

Il faut, bien évidemment, (nous n'hésitons pas à enfoncer le clou tellement il coule d'évidence), nous réjouir d'avoir une production électrique décarbonée et résister aux pays qui verraient d'un bon œil que nous la détruisions. Ensuite, il faut agir sur les secteurs principaux émetteurs de CO₂ qui sont très bien cités par le PPE (Programmation Pluriannuelle de l'Énergie) : l'habitat et le tertiaire *mais en distinguant bien toujours le court terme et la recherche* et en ne perdant pas de vue un objectif majeur ; **l'indépendance énergétique** :

Quelques propositions :

- S'agissant des transports (122 MTCO₂), on devrait, comme déjà commencé, développer les transports en commun : des tramways, des métros, des RER dans l'habitat dense avec *une exigence forte de fiabilité et de régularité*, sans laquelle les appels à utiliser les transports en commun ne peuvent que décrédibiliser ceux qui les font. On pourrait, également édicter des normes de consommation maximale pour les nouvelles voitures, continuer les études sur les batteries et les voitures électriques *en se préoccupant de la sécurité d'accès et du coût des matières premières associées, des impacts sur l'environnement pendant tout le cycle de vie avant de penser les développer* (voir plus loin), poursuivre de façon très active les études sur l'utilisation de l'hydrogène comme vecteur car l'hydrolyse de l'eau par de l'électricité nucléaire est un moyen d'acquérir une *indépendance énergétique*.
- Le logement et le tertiaire rejettent 78 MTCO₂ par an. L'isolation des logements doit être poursuivie. Mais, il ne faut pas recommencer le type d'erreur qui a consisté à imposer brutalement une isolation par l'extérieur lors d'un ravalement ce qui aboutissait à détruire toutes les façades des bâtiments intéressants qui sont le patrimoine et le charme de la France. Rien de tel qu'une mesure de ce genre pour développer la défiance vis-à-vis de l'objectif d'économie d'énergie. Les recherches sur une isolation par l'intérieur moins chère et moins contraignante à mettre en œuvre doivent être entreprises ainsi que celles sur *les pompes à chaleur* pour l'amélioration de leur fiabilité et sur l'utilisation de la géothermie ne doivent pas être oubliées. Les recherches sur le stockage de la chaleur (qui se stocke bien à la différence de l'électricité) pour les chauffe-eaux voire le chauffage avec toujours le souci de l'intégration esthétique des dispositifs sur les toits.

- La recherche sur les réacteurs nucléaires du futur et sur tout ce qui accroît l'indépendance énergétique sont à intensifier.
- ***Ne pas oublier l'objectif d'indépendance énergétique*** qui doit être impératif dans tous les sujets, car l'épuisement des réserves de pétrole et de gaz est inéluctable et incontestable à la différence de l'ampleur du réchauffement climatique, sujet à discussion.
- La mention sur les objets du quotidien qui devraient réduire leur consommation d'énergie est une très bonne chose. Mais ***il faut agir sur l'ensemble du cycle de vie : que les objets soient réparables longtemps*** (comme les centrales nucléaires !) et recyclables.

L'ABSENCE DE TAXE N'EMPECHE NI LES GAZ A EFFET DE SERRE NI LA POLLUTION DES TRANSPORTS AERIENS ET MARITIMES

Il y a deux grands absents dans la transition énergétique et le PPE : le transport aérien et le transport maritime dont les combustibles ne sont pas taxés alors que leurs rejets sont loin d'être négligeables.

D'après une étude du parlement européen, les émissions de CO₂ du transport maritime international représentent 2,1% des émissions totales dans le monde et il en est de même du transport aérien international. Comme les trafics aériens et maritimes augmentent chaque année, la situation ne sera pas tenable à terme. Aux émissions de CO₂, il faut rajouter les gaz à effet de serre pour le trafic aérien et la pollution pour les transports maritimes par le soufre, en particulier.

Revenons à la France. Le Ministère de l'écologie et la DGAC³⁴ évaluent l'émission de CO₂ par le transport aérien en France en 2017 ainsi : 17,4 MT pour le transport aérien international, 4,8 MT pour le transport intérieur soit un total de 22,5 MT. Pour passer au total des gaz à effet de serre en équivalent CO₂, il faut multiplier ce chiffre par un facteur qui varie selon les sources mais est toujours supérieur à 3. On obtient donc **un total de plus de 67,5 MT eqCO₂ pour le transport aérien, ce qui n'est pas du tout négligeable par rapport aux 338 MT d'émission de CO₂ des autres secteurs.** Examinons la question sous un autre angle : l'émission de GES par passager d'avion et par km parcouru varie entre 200 geqCO₂/pass.km et 300 geqCO₂/pass.km selon la base de données de l'ADEME ; cette émission est donc plus importante que celle d'une voiture moyenne qui consommera 140 gCO₂/km avec un ou plusieurs passagers !

Il y existe deux méthodes pour diminuer une consommation : taxer ou définir des quotas par individu. La première méthode³⁵ contraindra les moins riches mais aura peu d'effet sur la consommation des plus riches. Comment ne pas comprendre que les « gilets jaunes » protestent contre une taxe sur le carburant qu'ils doivent utiliser pour aller travailler alors que d'autres ne sont pas du tout taxés lorsqu'ils prennent l'avion pour leurs loisirs. En considérant des quotas, si on octroie un quota annuel d'énergie fossile identique à chaque individu à ne pas dépasser

³⁴ Direction générale de l'aviation civile.

³⁵ Nous n'approuvons pas J M Jancovici sur son idée de taxation comme seule solution pour faire baisser les émissions de CO₂. L'expert scientifique doit rester en retrait et laisser le débat démocratique décider de la solution qui préserve le mieux l'équité.

pour ne pas accroître le réchauffement climatique, un seul voyage aller- retour à New-York dépasse la dotation³⁶, comme le montre J. M. Jankovici. On est amené à se demander pourquoi ceux qui veulent sauver la planète prennent encore l'avion.

Le transport maritime qui rapporte en France les produits³⁷ que nous consommons n'est pas non plus taxé alors qu'il crée une pollution phénoménale (en particulier SO₂, NO_x et hydrocarbures rejetés à la mer).

La poursuite des dégazages en mer doit être sanctionnée beaucoup plus sévèrement.

Les nouvelles réglementations vont dans le bon sens en diminuant *les teneurs en soufre* des carburants qui deviennent : **10 ppm pour la carburant automobile, mais seulement 0,5% pour le carburant marin³⁸ ce qui représente encore 500 fois plus.** C'est sur ce dernier qu'il convient d'agir en priorité parce que cette pollution nous atteint aussi, en particulier, dans les ports et les zones côtières.

LA VOITURE ELECTRIQUE EST-ELLE GENERALISABLE ?

Nous reprenons les conclusions de l'excellent rapport produit par NATIXIS sur le sujet :

<https://www.ofi-am.fr/support/voiture-electrique-la-route-est-elle-encore-longue-/5a26a88c4b659>

Il faut se garder de croire que l'homme s'est affranchi brusquement de toutes les contraintes scientifiques et technologiques et qu'il n'est pas besoin de travailler sérieusement les scénarios avant d'annoncer qu'on a la solution en expliquant que toutes les voitures devront être électriques. Il faut tout d'abord poursuivre les recherches sur les batteries qui souffrent d'une autonomie trop faible et d'un temps de chargement trop long *La prime de 8500 € pour les voitures électriques est prématurée. L'argent doit encore être réservé aux recherches* sur les batteries sans oublier *de se préoccuper de la disponibilité et de la sécurité d'accès aux matières premières associés ainsi que de la pollution et des GES dus à leur fabrication. Un premier prérequis à l'utilisation de la voiture électrique est, d'ailleurs, l'utilisation d'une électricité décarbonée, ce qu'elle est en France, mais pas en Allemagne.* Ainsi, si l'on somme les émissions de CO₂ pour sa fabrication et pour la fabrication de l'électricité qu'elle utilise, la voiture électrique n'a un impact nettement inférieur à celle d'une voiture thermique qu'au bout de 80 000km parcourus en France et jamais en Allemagne.

Par ailleurs, la solution électrique avec des batteries pour le transport des marchandises n'est pas envisageable. Il faut étudier d'autres solutions comme l'hydrogène évoqué précédemment.

EST-CE BIEN RAISONNABLE DE VENDRE LES BARRAGES HYDROELECTRIQUES ? EST-CE BIEN BENEFIQUE A LA FRANCE ?

Les usines hydroélectriques ont été construites grâce à l'effort de toute la nation française qui ne doit pas être dépouillée de son patrimoine. Ceux qui l'ont réalisé l'ont fait pour eux-

³⁶ L'humanité ne devrait pas émettre plus de 3 GT de C par an, soit 11 GT de CO₂. Chaque individu peut donc consommer 11 GT/7 G = 1,6 tonne de CO₂ par an. Or, un trajet Paris- New-York coûte d'après ce qui précède 5836 x 200 geqCO₂ soit 1,16 tonne en hypothèse basse. L'émission due au voyage aller et retour dépasse le quota annuel.

³⁷ Fabriqués, pour partie, dans les usines délocalisées, transférées depuis les territoires des « gilets jaunes ».

³⁸ Selon l'organisation maritime internationale

mêmes mais aussi pour les générations futures. Même en temps de crise, on ne doit pas vendre les bijoux de famille qui nous ont été transmis.

Retirer les barrages de l'électricien historique c'est ignorer délibérément les spécificités du système électrique et empêcher EDF de réaliser l'ajustement optimal de sa production en fonction de la demande des consommateurs en jouant sur les deux moyens complémentaires que sont le nucléaire et l'hydraulique. Les acheteurs des barrages, ses concurrents, en position de force, lui feront payer bien cher la vente de ce service d'adaptation de la production à la demande. C'est évidemment le consommateur d'électricité qui, in fine, paiera la facture.

Le projet de vente des barrages est un nouveau coup porté à EDF après le dispositif de l'accès régulé à l'électricité nucléaire historique (Arenh), un dispositif élaboré dans le cadre de la loi sur la nouvelle organisation du marché de l'électricité - dite loi NOME et entrée en vigueur à l'été 2011 - et qui permet aux concurrents de l'opérateur historique de lui acheter de l'électricité à un prix attractif.

On a confondu la fin : la satisfaction du consommateur et la baisse des coûts avec les moyens : la concurrence, le marché qui en l'espèce sont inadaptées, artificielles et dangereuses pour l'indépendance nationale.

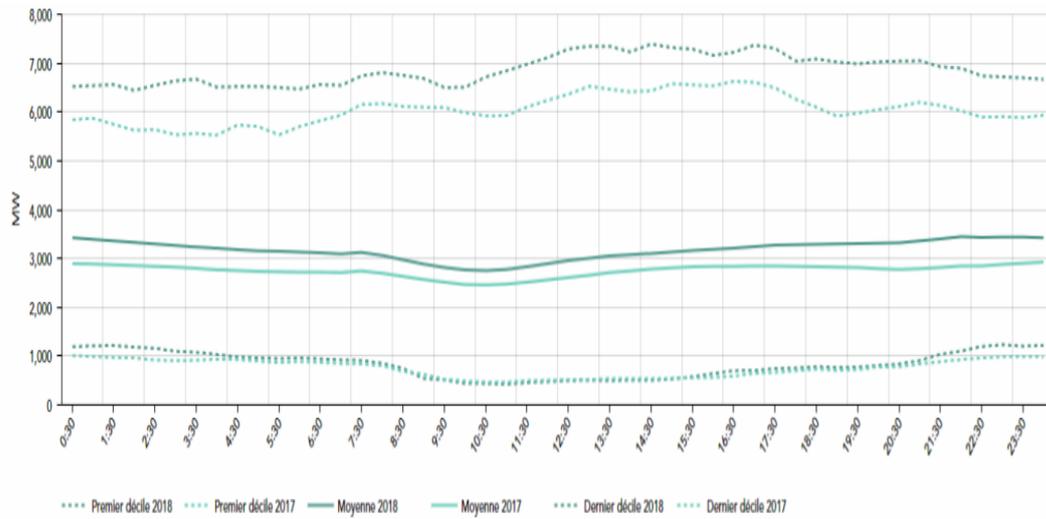
EDF appartient aux français. C'est à eux de décider. Il faut leur demander par référendum s'ils veulent ou non vendre l'entreprise nationale à la découpe.

RAISON GARDER ?

Les fluctuations du climat dues à la variation des paramètres astronomiques et à l'activité du soleil ont profondément modifié le climat de la terre au cours des millénaires. N'oublions pas que c'est la crainte d'un refroidissement qui existait il y a 50 ans et qu'il est bien plus dramatique de retrouver un âge glaciaire plutôt qu'un réchauffement comme à l'âge des dinosaures. L'ampleur du réchauffement récent est moins grande que celle prévue par les modèles puisque la température augmente beaucoup moins rapidement depuis 1998. Le doute est donc largement permis, sur l'ampleur de l'influence du CO2 sur la température. Il est important que les pouvoirs publics organisent un dialogue entre les scientifiques pour que les données objectives émergent et permettent de savoir ce qui est sûr et ce qui doit encore faire l'objet d'études. Dans ces études les modèles utilisés devraient prendre en compte tous les paramètres, toutes les causes possibles : les GES, mais aussi les différents paramètres astronomiques pour éviter d'engager la société sur une voie incertaine.

Ceci incite à se préoccuper beaucoup plus de l'épuisement des sources de matières premières et de la pollution, à ***œuvrer pour diminuer notre consommation de combustibles fossiles et accroître notre indépendance énergétique.*** L'explosion démographique de 1900 à 2000 (de 1,5 à 7,5 Milliards d'hommes) qui se poursuit n'annonce pas un avenir facile. **La sécurisation des ressources et l'indépendance énergétique deviennent une priorité.**

Production éolienne au pas demi-horaire (moyenne et déciles extrêmes)



Production solaire au pas demi-horaire (moyenne et déciles extrêmes)

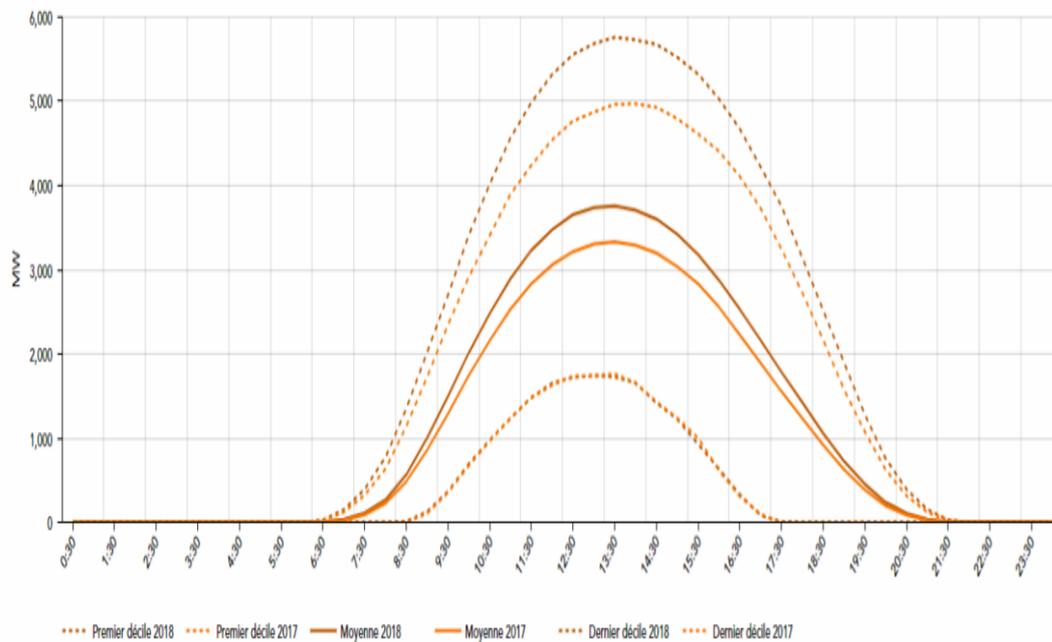


FIGURE 1

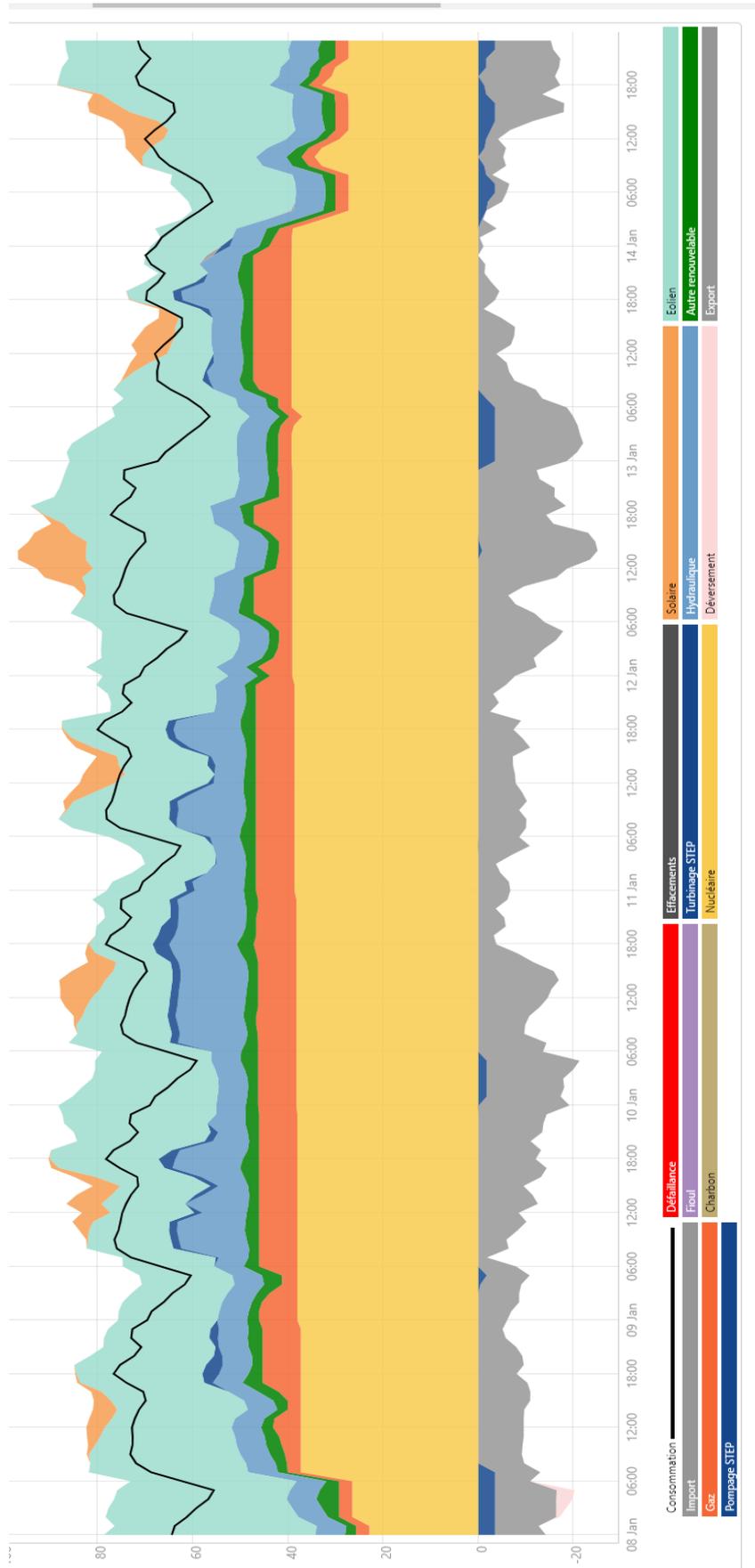
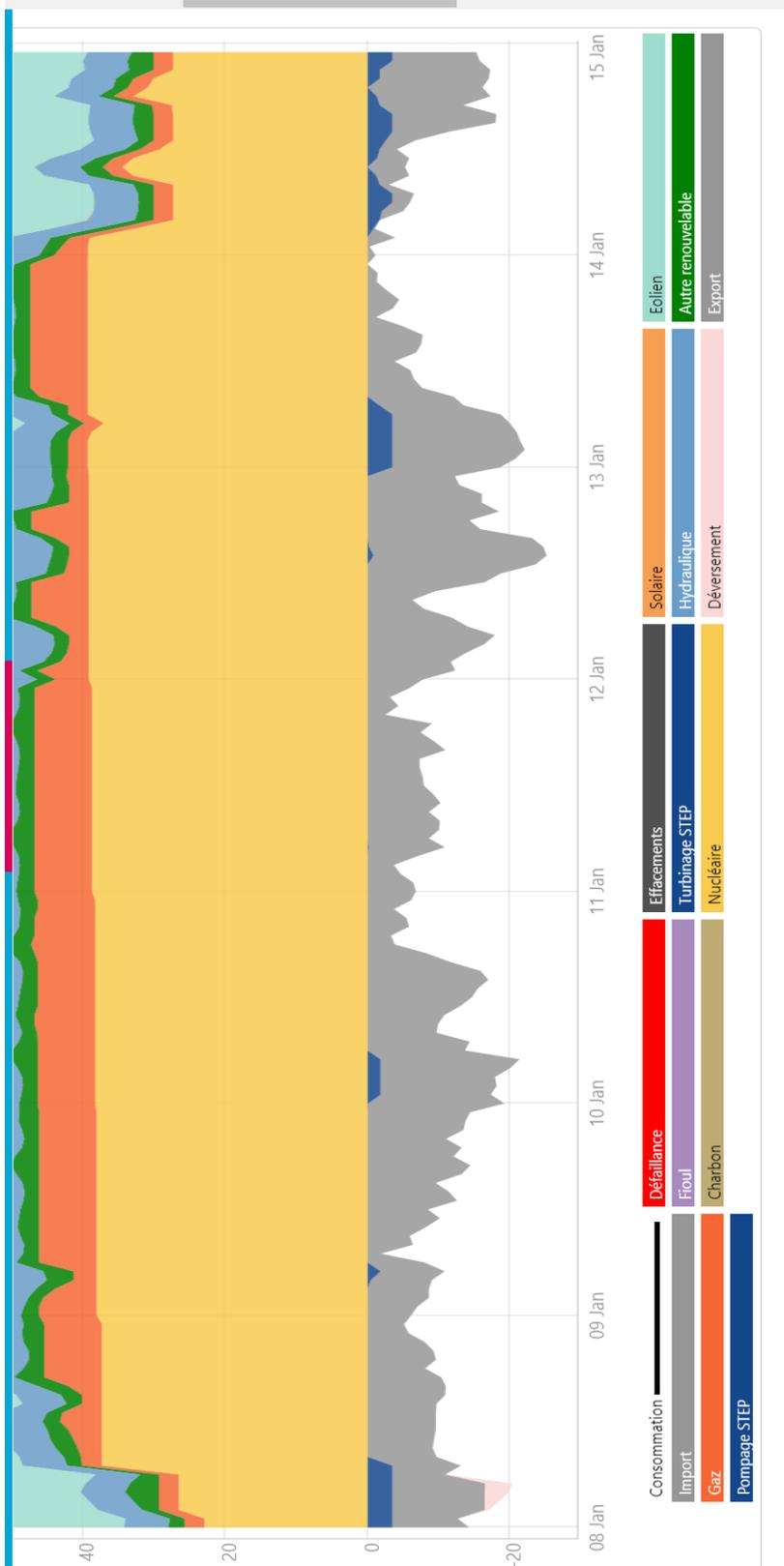


FIGURE 2 A SCENARIO AMPERE 10 janvier 2035



AM64A4~1.PNG

FIGURE 2 B SCENARIO AMPERE 10 janvier 2035 (légende des couleurs)

ANNEXE A MOYEN DE STOCKAGE DE L'ELECTRICITE

Il faudrait un stockage de masse pour faire tampon aux variations de la production NENR (d'un mois à l'autre, d'un jour à l'autre, d'une heure à l'autre). L'ordre de grandeur serait celui de

- la production moyenne NENR pendant 4 jours qui représente $(33,2 \times 4 / 365)$ TWh soit 0,364 TWh ;

ou

- un jour de consommation moyenne qui représente $(474^{39} / 365)$ TWh soit 1,3 TWh

Or, il n'en existe pas, à l'heure actuelle dans des conditions économiques et écologiques réalistes de moyens de stockage pour ces ordres de grandeur :

- Les usines hydrauliques de pompage envisageables ont déjà été pratiquement toutes réalisées ;
- La fabrication d'hydrogène à partir d'hydrolyse de de l'eau est très chère et nécessite encore des mises au point ; Il faut poursuivre pour l'usage beaucoup plus modeste dans les transports de marchandises par camion (voir plus haut)
- La capacité de stockage des batteries est de 0,20 à 0,30 kWh par kilogramme⁴⁰. En considérant la valeur de 0,25, pour un seul TWh, on arrive donc à $10^9 / 0,25$ kg, soit 4 millions de tonnes de batteries, ce qui est totalement impossible.

On lira également avec profit l'interview du 6 octobre 2018 de J.M. Jancovici dans le Figaro : <https://jancovici.com/publications-et-co/interviews/interview-dans-le-figaro-du-6-octobre-2018/>

³⁹ Chiffres du bilan EDF 2017.

⁴⁰ Selon l'Agence Internationale de l'Energie, Global EV Outlook 2018

ANNEXE B

MODIFICATION DE LA COURBE DE PRODUCTION PAR LES NENR

Faute d'avoir accès à l'ensemble des données et outils, l'approche ci-dessous est purement qualitative et a seulement pour but de mettre en évidence les différents phénomènes.

On trouvera ci-après des figures extraites du site de RTE :

- A titre d'exemple, les courbes de consommation, de production de toutes les filières avec un agrandissement pour les filières éolienne, solaire, nucléaire pour la journée du 14 janvier 2018 (période chargée) sur les figures B1, B2, B3, B4, B5 et la journée du 12 août 2018 (période creuse) sur les figures B6, B7, B8, B9, B10.

Ces courbes mettent bien en évidence l'amplitude des variations de la courbe de la demande des consommateurs et de la production des NENR ; ce qui nécessite l'adaptation permanente du programme de marche des centrales qui a été décrite dans la note principale.

Lorsque l'optimisation de l'appel aux différents moyens de production classiques est réalisée sans les NENR, on empile les groupes hydrauliques de rivière qui sont une production fatale non modulable, puis les groupes nucléaires en base dont la production varie lentement, puis les groupes à variation rapide : groupes hydrauliques de lac et groupes thermiques. Pour tenir compte des NENR, on doit retrancher la production NENR de la consommation pour obtenir la nouvelle courbe de production à satisfaire. En nous focalisant sur l'amplitude entre le creux et le maximum de cette courbe⁴¹ avant et après NENR, on remarque que la production solaire peut diminuer la pointe de consommation de mi-journée mais pratiquement jamais la pointe du soir car elle est faible dès 18h. La production éolienne peut intervenir à tout moment de la journée. Elle peut donc déplacer la courbe de production à respecter de toutes les façons possibles : de façon favorable⁴² (diminution de l'amplitude de la variation journalière) en diminuant la pointe du soir et pas celle de la nuit ou de façon défavorable en ne déplaçant que le creux de nuit (augmentant ainsi l'amplitude de la variation journalière).

Comme nous ne disposons pas d'une courbe de production sans les NENR, au lieu d'examiner avec quels moyens satisfaire la résultante de la demande des consommateurs diminuée de la production NENR, nous examinerons maintenant la question duale : Lorsque le plan de production a été obtenu avec les NENR, comment est-il modifié par la suppression de la production des NENR, quel type de production supplémentaire doit être rajoutée ? Cette production supplémentaire est la production évitée par les NENR.

Le tableau ci-dessous résume les productions principales (en MW) observées le 14 janvier 2019, jour d'hiver aux instants des creux et pointes de consommation.

⁴¹ Selon la journée, l'amplitude de la variation de consommation se situe entre 14 000 et 20 000 MW

⁴² Le critère étant ici l'amplitude de la variation journalière de puissance.

Heure	0 h (Max éolien)	4h creux de nuit	Pointe de 12 h 45 mi-journée	19 h Pointe du soir	23h 45 (Min éolien)
Consommation	62 921	54 065	72 782	76 847	68 552
P éolien	9 736	7 293	4 532	2 777	1 683
P solaire	0	0	2 167	0	0
P thermique (gaz, fioul, charbon)	3 791	3 169	9 109	9 314	9 104
P hydraulique	3 693	3 109	8 672	13 169	7 618
P nucléaire	50 944	47 241	52 372	51 104	50 369
Σ NENR	9 736	7 293	6 699	2 777	1 683
Δ nucléaire	5 274	8 977	3 846	5 114	5 849

Tout d'abord, on remarque que la modulation journalière est réalisée en majeure partie par l'hydraulique et le thermique à flamme puisqu'ils peuvent effectuer des variations rapides. La production des NENR représente de 1 680 à 9 700 MW. On pourrait la compenser facilement par du thermique à flamme. Mais, comme, on cherche toujours à établir le plan de production le moins cher, on examine aussi les autres possibilités. On peut penser à l'hydraulique de lac, mais il ne faut pas compter sur une grande quantité d'énergie disponible pour cela, car le plan de production est établi sur l'année pour répondre aux puissances demandées à la pointe et il est antiéconomique de le bouleverser ; on peut difficilement lui demander de lisser⁴³ la nouvelle courbe de production à satisfaire puisqu'il l'a déjà fait. Par contre on peut penser agir sur le nucléaire. On remarquera, d'ailleurs, à 3 heures, la baisse de la puissance nucléaire de près de 4 000 MW. Toutefois, si le parc nucléaire installé représente 63 130 MW, une partie de ce parc peut être en entretien ou rechargement de combustible. Faute de connaître la puissance totale disponible, il est difficile de savoir sur quoi on peut compter : soit le maximum du jour de 52 451 MW soit, la puissance maximale du mois, de 56 218 MW (atteinte le 03/01/2019 à 9H30), En bloquant toute la journée la puissance nucléaire à cette valeur de 56 218 MW, on obtient une marge d'accroissement de la production nucléaire notée en dernière ligne : « Δ nucléaire », à comparer à la production totale des NENR, notée « Σ NENR ». On constate que cette marge d'augmentation de la puissance nucléaire est supérieure à la production NENR à 3 instants sur les cinq. Aux deux autres instants, il faudra donc rajouter une puissance de thermique à flamme jusqu'à atteindre la puissance des NENR.

En définitive, on constate que, dans cet exemple, les NENR ont pris la place, à la fois, des groupes nucléaires et des groupes thermiques à flamme (donc en économisant du combustible), dans des proportions qui ne peuvent être établies avec précision ici.

⁴³ En fournissant plus à la pointe et moins en heures creuses

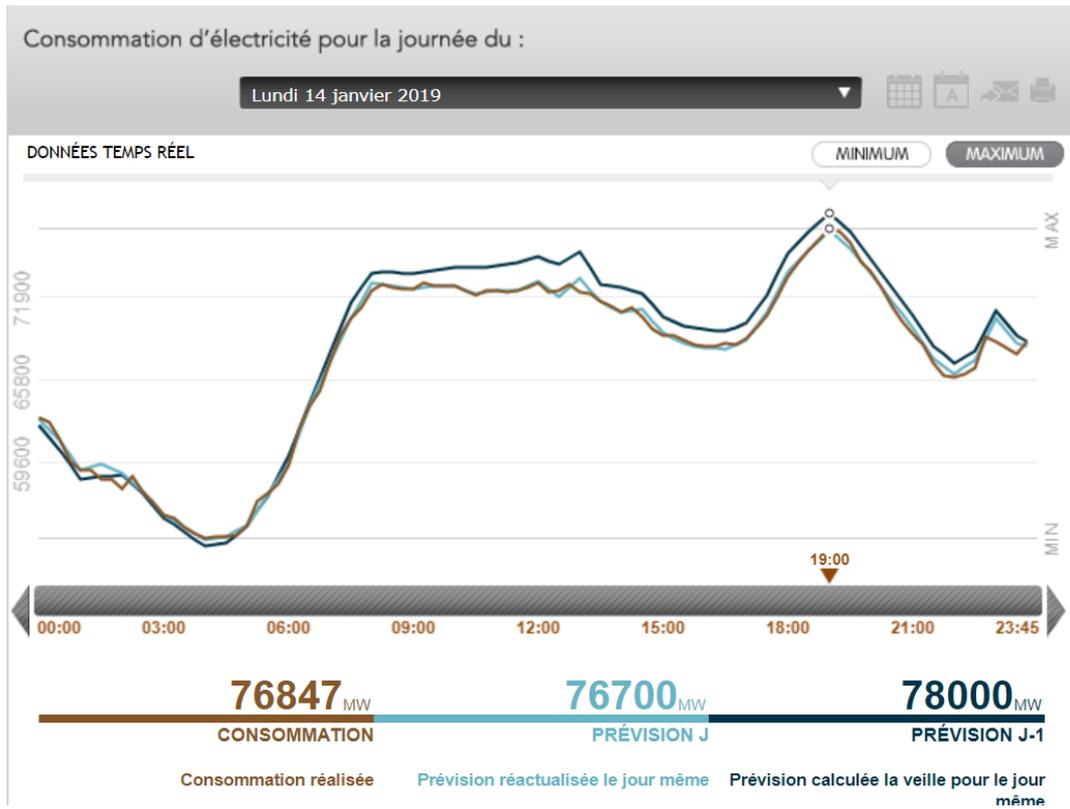


FIGURE B1

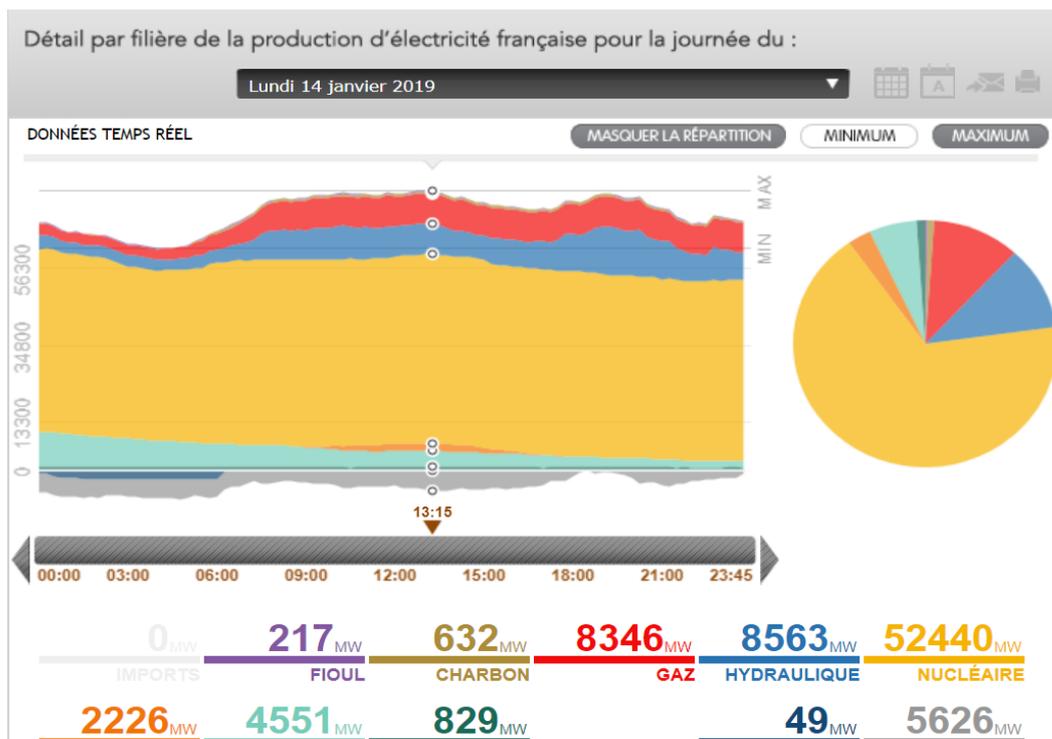


FIGURE B2

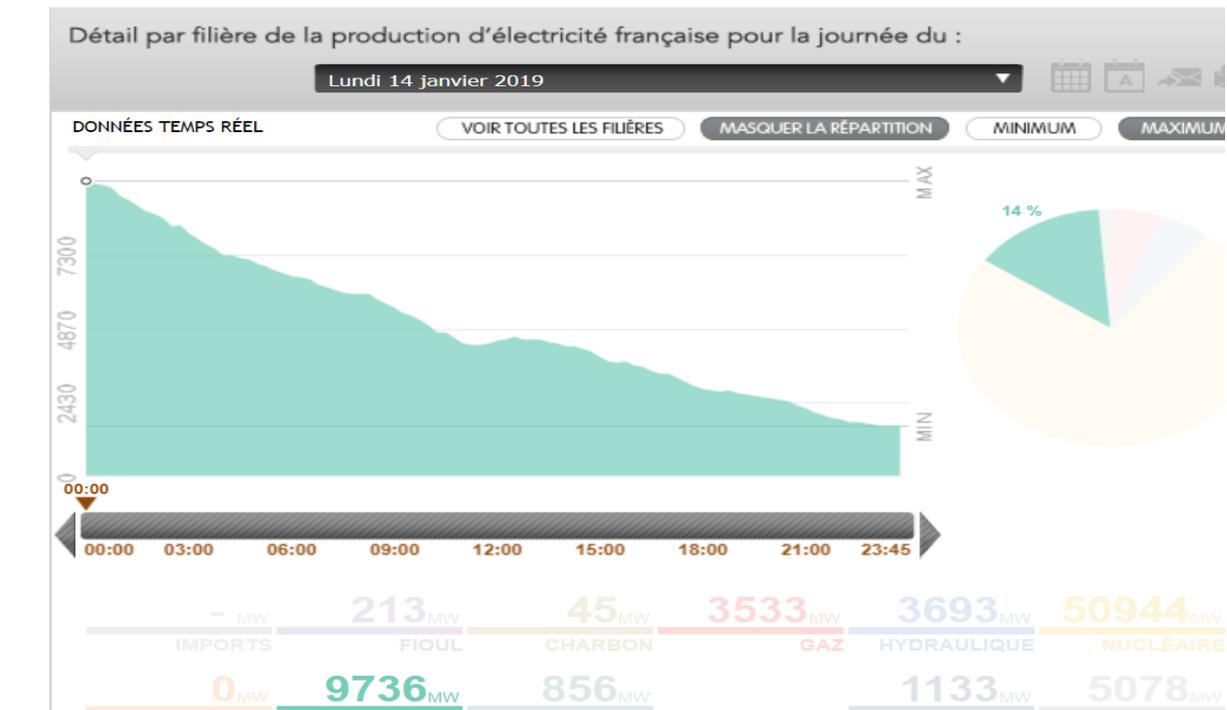


FIGURE B3 EOLIEN

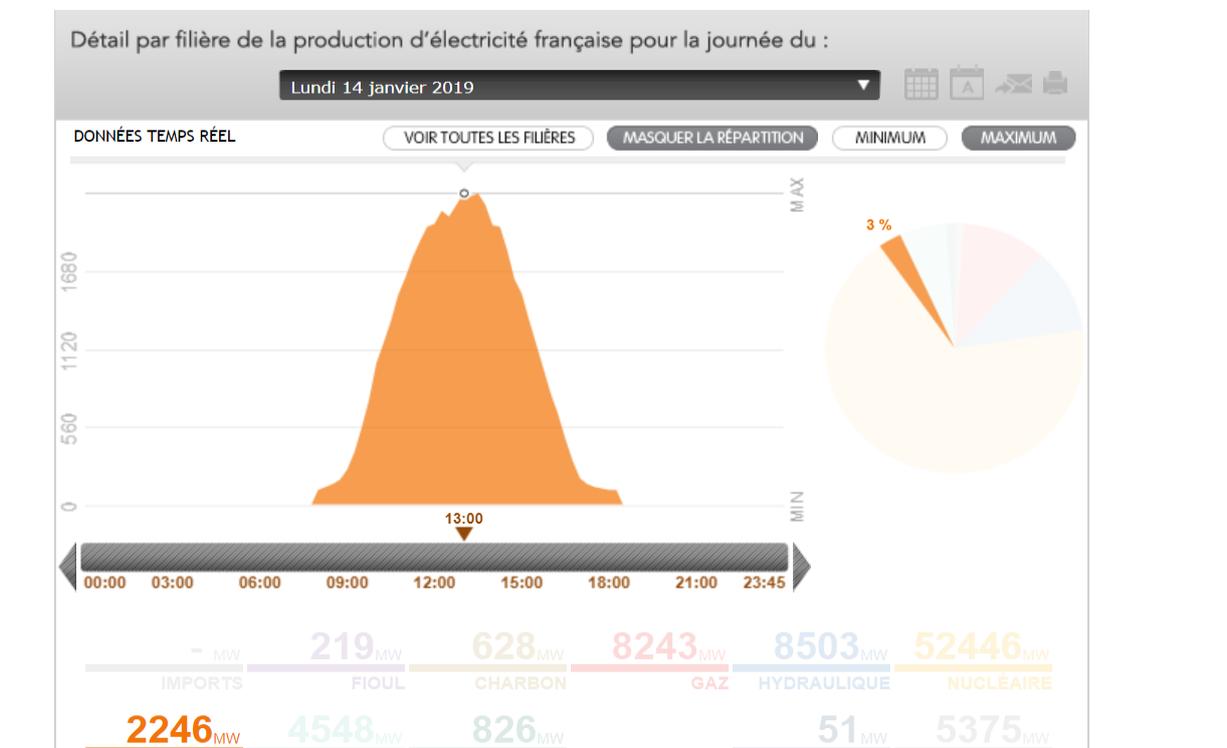


FIGURE B4 SOLAIRE

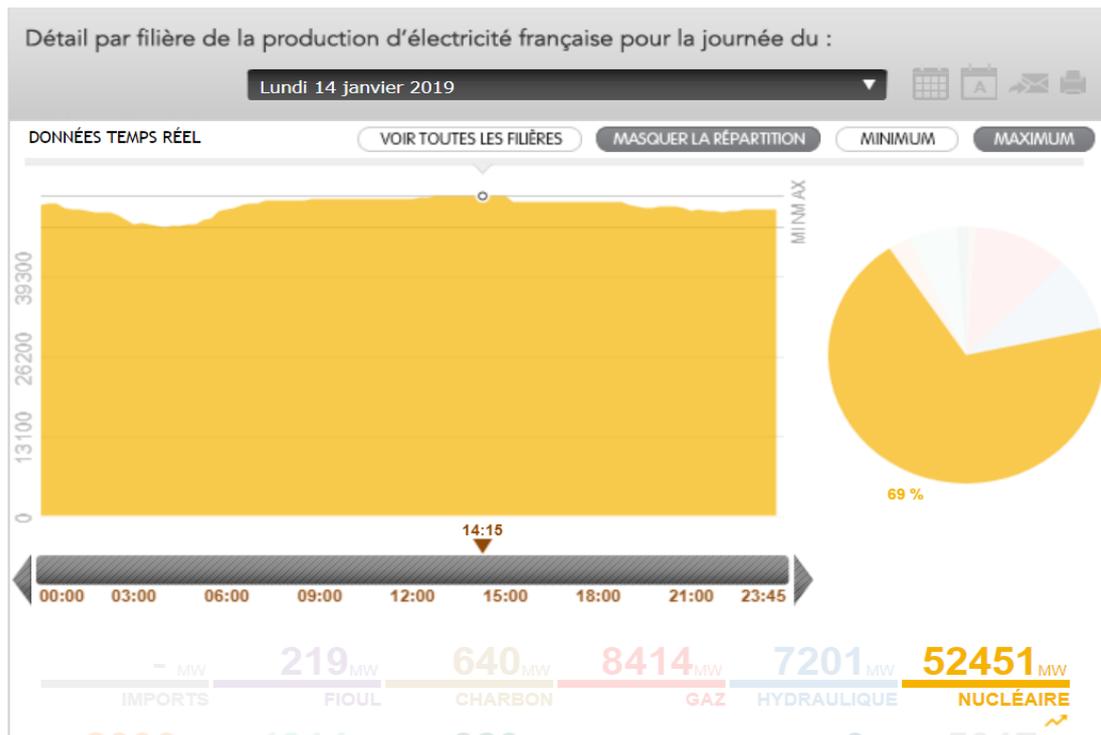


FIGURE B5 NUCLEAIRE

La situation est très différente, la journée du 12/08/2018 (creux d'été, fort ensoleillement) :

Heure	0 H	7H creux de nuit	13 H pointe de mi journée	14 H pointe solaire	23 H pointe du soir
Consommation	41 655	30 448	41 701	39 371	43 082
Eolien	889	2 749	1 916	2 054	2 289
Solaire	0	14	5 657	5 766	0
Nucléaire	35 803	35 387	34 583	33 079	37 346
Hydraulique	6 191	3 115	3 681	3 620	7 845
Thermique	2 688	941	1 258	1 397	2 013
Σ NENR	889	2 763	7 573	7 820	2 289
Δ nucléaire	7 018	7 434	8 230	9 742	5 475

C'est un jour creux avec une forte exportation.

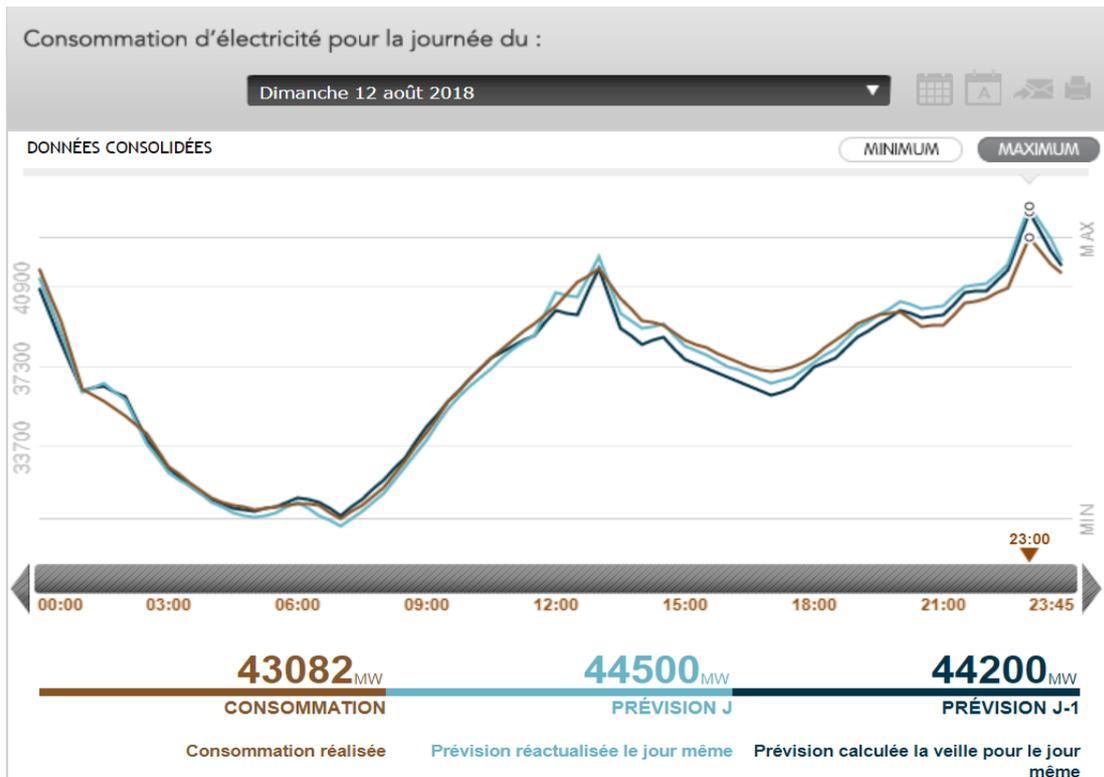


FIGURE B6

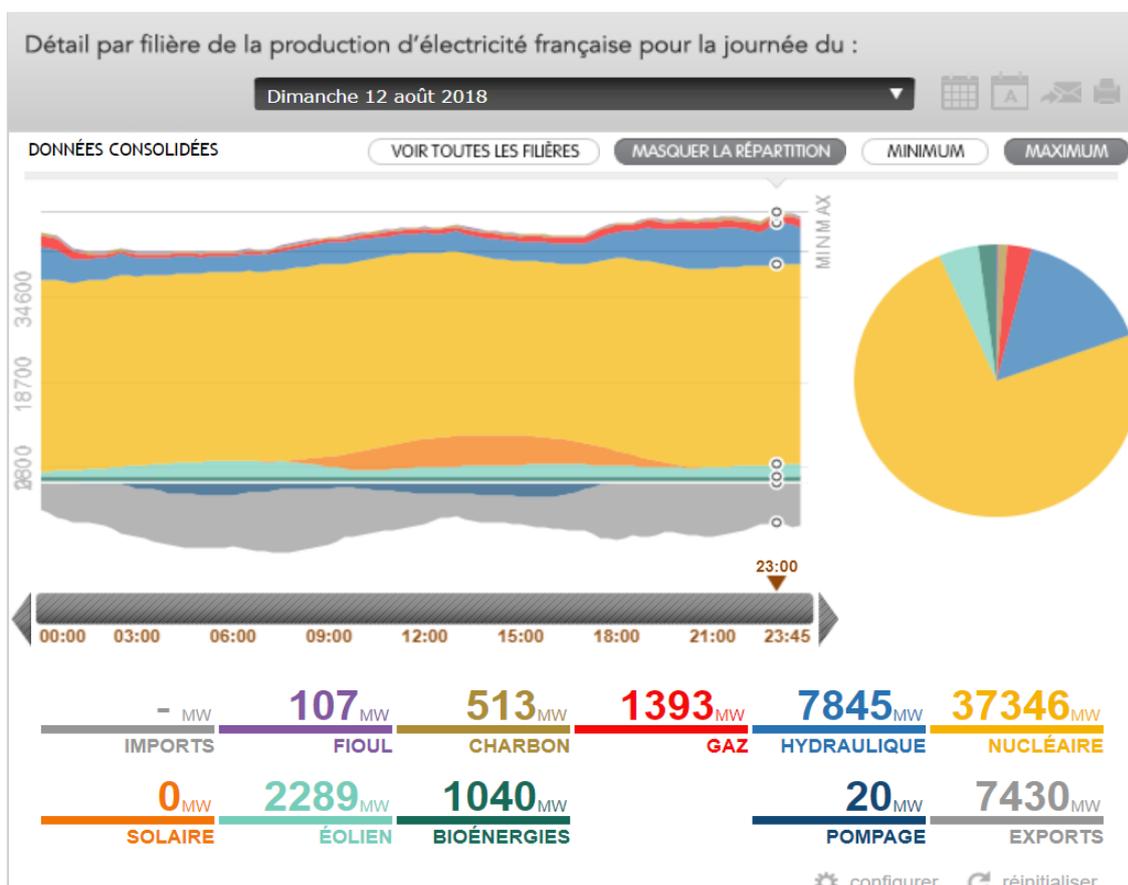


FIGURE B7

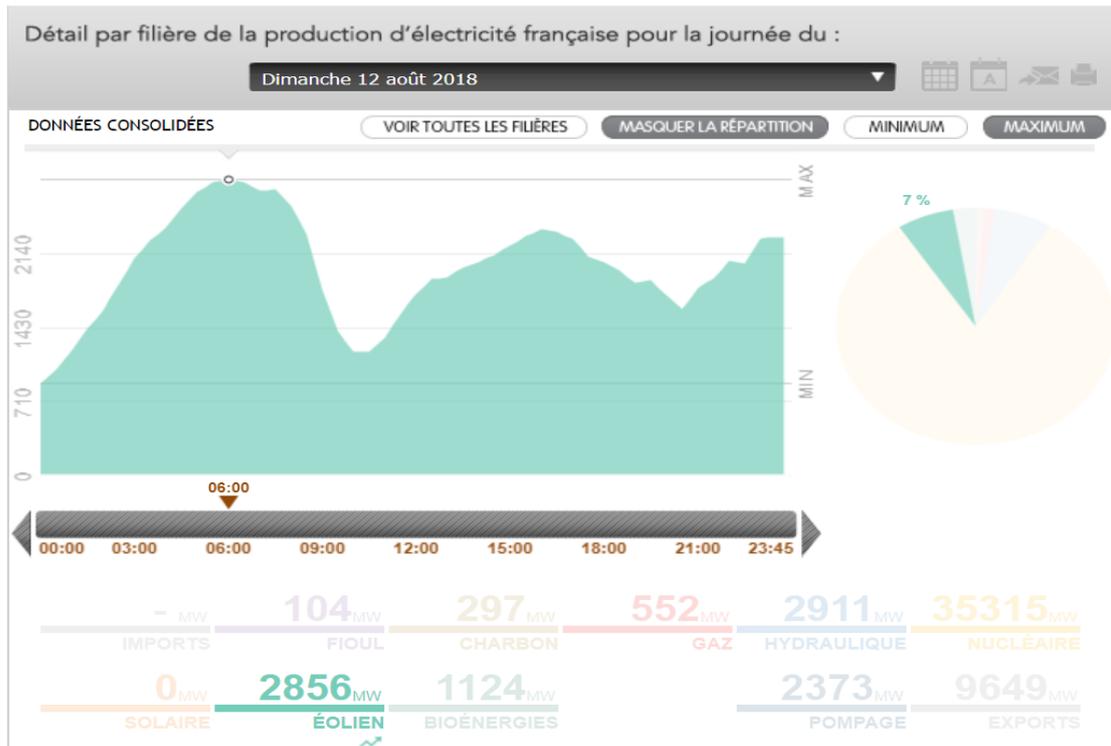


FIGURE B8

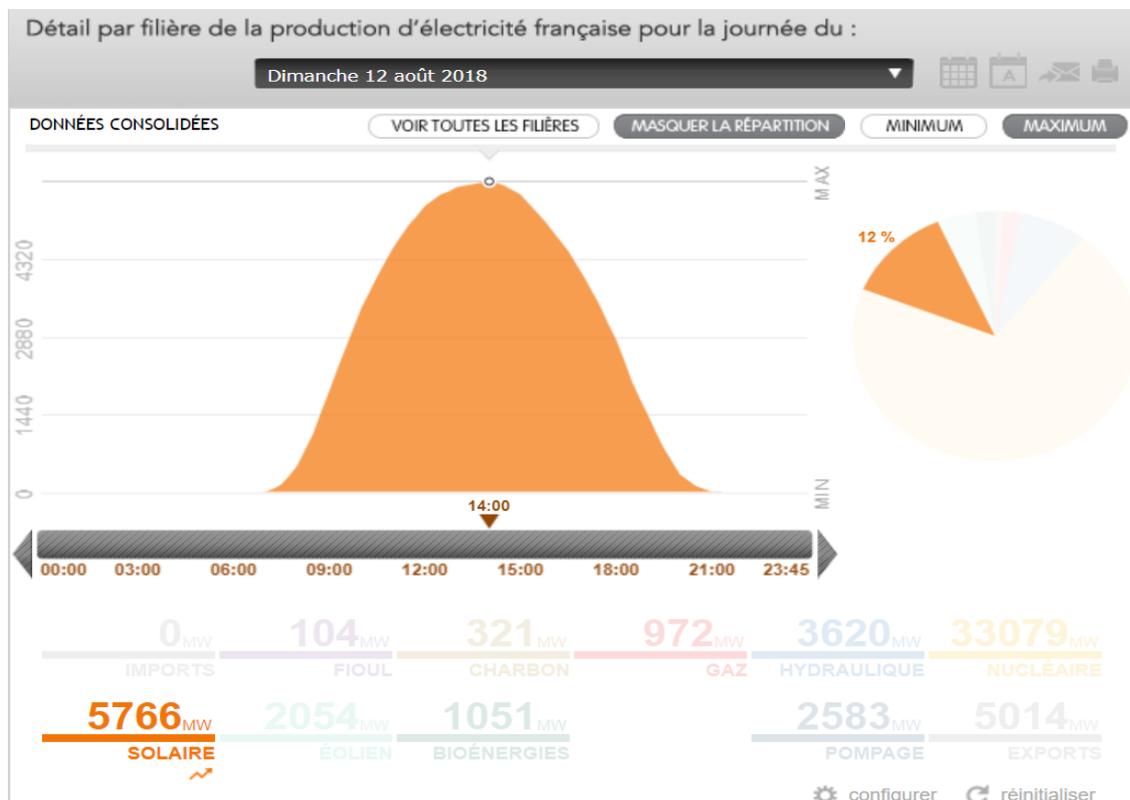


FIGURE B9

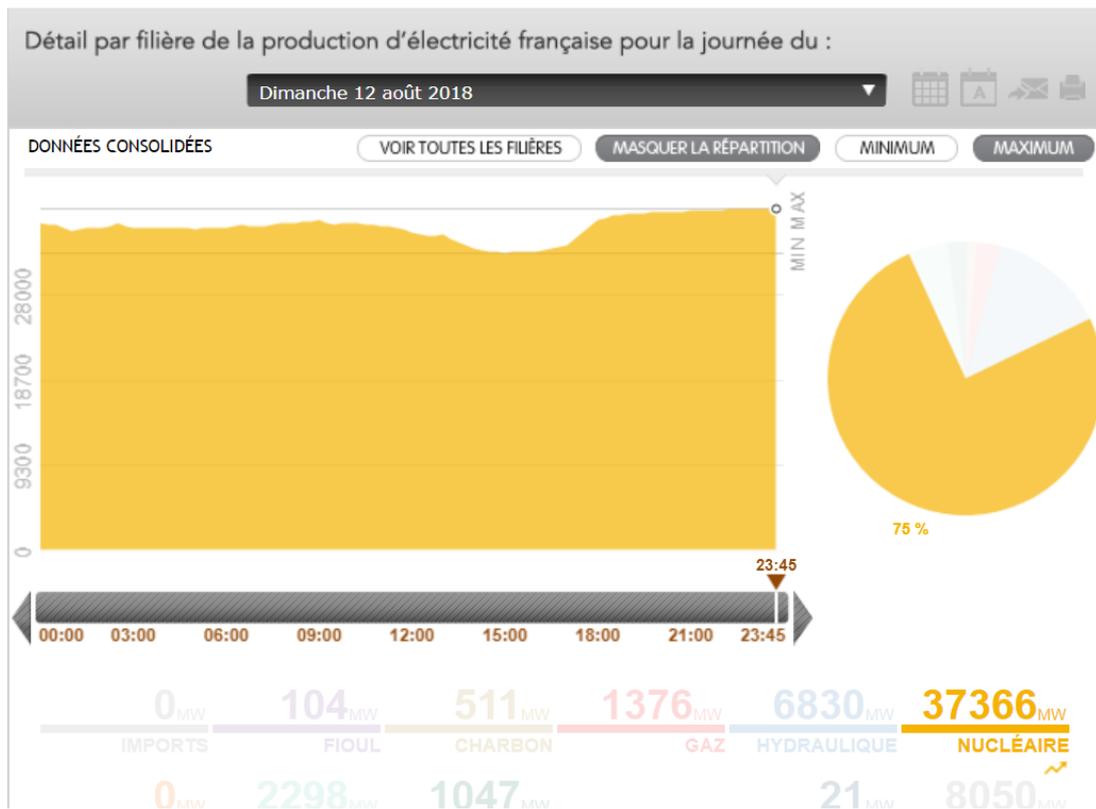


FIGURE B 10

La production nucléaire présente un creux de 4803 MW à 15 H dont la forme correspond largement au pic de la production solaire qui vaut 5 766 MW ce qui suggère que la production solaire peut être remplacée en majeure partie par de la production nucléaire. Mais il est possible d'aller plus loin. En effet la production nucléaire maximale du mois d'août a été de 42 821 MW. Si l'on suppose que l'on peut atteindre cette valeur le 12/08/2018, la marge entre la production possible (42 821 MW) et la production courante est indiquée dans la dernière ligne du tableau précédent (Δ nucléaire). La production totale de NENR à compenser (Σ NENR) est indiquée en dernière ligne. Elle est toujours inférieure à la marge nucléaire ce qui veut dire que la production nucléaire seule peut remplacer la production NENR. Néanmoins, il faut nuancer ce propos car des contraintes de gestion du parc peuvent empêcher un remplacement total. Il n'en demeure pas moins vrai que, dans cet exemple, les NENR se substituent, pour une majeure partie au nucléaire.

En conclusion, avec le parc actuel, les NENR se substituent, pour partie, à des centrales thermiques à flamme donc en diminuant l'émission de CO₂, mais aussi, pour partie, à du nucléaire sans, par conséquent, économiser des rejets de CO₂.

Comme il faut conserver un volant de groupes thermiques à flamme pour assurer la modulation rapide du suivi de charge et les réserves, l'introduction de NENR ne peut pas conduire à arrêter la totalité du thermique à flamme. De plus, au fur et à mesure de l'accroissement du volume de NENR, il faut accroître les réserves, donc le volume de thermique à flamme. ***Ainsi au-delà d'un certain seuil, l'augmentation des NENR ne va plus réduire l'appel au thermique à flamme au contraire.***

ANNEXE C

COÛT DU CO2 EVITE PAR L'INTRODUCTION DES NENR

Quelle est la réduction de l'émission de CO2 générée par les NENR ?

Rappelons, tout d'abord, que l'investissement d'un NENR et les contrats d'achat de l'électricité produite durent 20 ans. L'évaluation de la réduction de CO2 n'est pas fournie par RTE. On trouve, dans ses bilans annuels jusqu'à 2015, la puissance installée en NENR, l'énergie annuelle fournie ainsi que l'émission de CO2 à partir de 2008. D'autres documents fournissent les chiffres pour 2016, 2017, 2018. Voici le tableau qui a pu être constitué :

Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Puissance installée éolien (MW)	3327	4574	5764	6640	7513	8143
Puissance installée Photovoltaïque (MW)	30	190	878	2230	3578	4330
Emission de CO2 du parc de production (Mt)	30	32,8	36,2	30,5	32,7	31,3

Année	2014	2015	2016	2017	2018
Puissance installée éolien (MW)	9313	10312	11761	13550	15 108
Puissance installée Photovoltaïque (MW)	5296	6191	6773	7654	8 527
Emission de CO2 du parc de production (Mt)	16,6	19,4	23,3	26,6	18,7

La corrélation entre le volume de NENR et l'émission de CO2 n'est pas évidente, c'est le moins qu'on puisse dire, car comme l'explique RTE, les facteurs majeurs de l'émission de CO2 sont une température hivernale basse, la mauvaise disponibilité du nucléaire, une productivité

hydraulique basse. Compte tenu de cela, le chiffre de 32 MT paraît représenter une moyenne réaliste des émissions de CO₂ avant l'arrivée des NENR. D'autre part, il est difficile de savoir exactement ce qu'ont apporté les NENR sans refaire, sur l'année, l'optimisation de l'appel aux différents moyens de production sans y inclure les NENR, de calculer l'émission de CO₂ correspondante et de la comparer à la situation vécue. En l'absence des données et des outils de RTE, nous devons faire une évaluation simplifiée. L'annexe B reproduit la répartition en 2018 des productions horaires de chaque filière un jour d'été et un jour d'hiver qui proviennent du site de RTE ; On en a déduit que l'introduction des NENR :

- Réduit le recours aux thermiques à flamme *mais ne supprime pas du tout son utilisation qui est indispensable au suivi fin de la courbe de demande, de la compensation des fluctuations des NENR et de la constitution des réserves.*
- Conduit également, à réduire le recours au nucléaire⁴⁴.
- Nécessite de conserver un talon de thermique à flamme qui finit par augmenter avec le volume de NENR.

Il n'est donc pas déraisonnable de considérer que, une fois en service, les éoliennes et les panneaux photovoltaïques des contrats signés actuellement, on économise, au plus, la moitié du CO₂ de 32 MT émis annuellement avant l'introduction des éoliennes grâce à la substitution de la production des NENR à celle de la thermique classique. On économise donc 16 MT.

Par ailleurs, il faut retrancher l'émission de CO₂ pour la fabrication de ces NENR, leur mise en place et leur entretien (il faut changer l'onduleur des panneaux solaires au bout de 10 ans). Les chiffres varient selon les auteurs. En prenant 2000 T CO₂eq par MW, sans compter l'entretien, on obtient, pour un parc NENR de 31 GW en 2021 (voir § ci-dessous), une dette en CO₂ de $2\,000 \times 30\,000 = 62$ MT CO₂eq. On considère donc économiser 16 MT de CO₂ par an pendant 20 ans, la durée de vie des éoliennes, ce qui fait $16 \times 20 = 320$ MT CO₂ économisées auxquels il faut retrancher la dette de 60 MT, ce qui donne : $320 - 60 = 260$ MT.

Quel est le coût de la tonne de CO₂ évité par les NENR ?

La dépense correspondante en achat d'électricité est difficile à évaluer, car il n'existe pas de synthèse mettant en correspondance les volumes d'installations annuels et les engagements de dépense de la puissance publique. La cour des comptes fournit figure 9 de son rapport, des informations sur les dépenses à venir au titre des engagements pris.⁴⁵ qui sont de 121 G€ Si on y ajoute la somme des dépenses depuis l'introduction des NENR par extrapolation vers le passé de la figure 9, on retrouve une valeur de 150 G€, très proche du montant de 144 G€ cité par Jean-Marc Jancovici dans son interview claire et percutante par Yves Calvi sur :

[:https://www.youtube.com/watch?v=Kj7IQIaRmKs](https://www.youtube.com/watch?v=Kj7IQIaRmKs)).

Cela donne la mesure des sommes en jeu. On se place en fin 2021 lorsque pratiquement toutes les installations ayant signé un contrat d'achat avant fin 2018 fourniront de l'électricité. En se basant sur les bilans de RTE (qui donnent pour 2018, 23 632 MW et 38 TWh de NENR) ainsi que sur l'accroissement annuel donné dans ces bilans, on obtient 31 GW et 51 TWh en 2021. En considérant le coût annuel de 95€ par MWh fourni par la cour des comptes pour les futures installations⁴⁶, page 52 de son rapport, la dépense annuelle est de $95 \times 51\,000\,000$ soit 4 845 M€. Sur les 20 ans du contrat, la dépense est de $20 \times 4,845$ M€ = 96,90 G€ auxquels il faut

⁴⁴ Dans une majeure partie du temps dans les exemples étudiés.

⁴⁵ Cour des comptes. Le soutien aux énergies renouvelables mars 2018 page 46.

⁴⁶ Ce coût suppose une baisse des coûts sur les futures installations par rapport à aujourd'hui et minimise donc le coût des installations en service.

retrancher l'économie de combustible⁴⁷. On économise 320 MT CO2 qui représentent 320x (12/44) MT de Carbone soit 87,27 MT. En assimilant le combustible à du charbon (que ce soit du charbon, du fioul, du gaz), en prenant un prix de charbon de 90 € la tonne, la dépense totale est de 87,27x 90 M€, soit 7 854M€. La dépense nette est donc de 96 900 M€- 7 854M€ soit 89 046M€ à laquelle il faudrait ajouter la dépense du réseau pour accueillir les NENR. ; On a retenu l'évaluation moyenne de la cour des comptes (page 58 du rapport) de 16€ par MWh, ce qui donne 16 x 51 x 10⁶ = 816 M€. La dépense totale est donc de 89 046 + 816 M€, soit 89 862 M€.

Le coût de la tonne de CO2 évité par les NENR serait donc approximativement de :

89 862 /258 = 348 € alors que le prix que l'on prévoit d'intégrer au tarif des taxes sur les produits énergétiques ne sera que de 100 € en 2030 et seulement 56 € en 2020. Ce calcul ne pouvait être très précis, mais il donne la mesure de la rentabilité de l'effort consenti pour introduire les éoliennes et les panneaux solaires dans le réseau. Il suppose que l'on conserve les centrales nucléaires et les groupes thermiques nécessaires au suivi de charge. Le résultat est décevant parce que les NENR ne font, comme toujours, qu'économiser du combustible et aucun investissement.

N.B.

La cour des comptes ne se pose jamais la question du bien-fondé de la politique qu'elle étudie car elle considère que ce n'est pas son rôle. Mais, dans son tableau 3 page 53 elle fournit le prix⁴⁸ en € par MWh de différents moyens de production NENR (prix qui a été utilisé plus haut) qu'elle compare au prix de l'EPR induisant ainsi le lecteur en erreur puisque, entre autres différences, les NENR ne garantissent que moins de 5% de leur puissance nominale et les REP, plus de 80%. Les REP sont au service du consommateur, les NENR au service du soleil et du vent.

⁴⁷ Mais aucune économie d'investissement puisque le parc actuel est suffisant et que la consommation n'augmente pas.

⁴⁸Il s'agit du coût complet : investissement, exploitation, maintenance, démantèlement, gestion des déchets.