

**50 % de nucléaire en 2035 ? Un objectif sans doute très difficile à atteindre**

Dans sa nouvelle version de la PPE datant du 21 janvier 2020<sup>[1]</sup> le gouvernement prévoit la fermeture de 14 réacteurs nucléaires d'ici 2035. Le but est de ramener la part du nucléaire dans la production d'électricité de 75 à 50%. Cette baisse devrait être compensée par une augmentation sensiblement équivalente de la part des énergies renouvelables intermittentes EnRi (éolien et photovoltaïque). Cet objectif se rajoute à l'objectif principal qui est la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, acteurs du réchauffement climatique. La PPE compte sur la réduction du gaspillage et le transfert d'un certain nombre d'activités à caractère carboné sur l'électricité pour satisfaire à la réduction du CO<sub>2</sub>, mais cela sans augmenter la production électrique finale qui restera à peu près constante. **Ces deux actions semblent contradictoires.**

L'AIE (Agence Internationale de l'Energie) dans son rapport d'août 2020 estime que la consommation d'électricité dans le monde passera de 20 % à 50 % en 2070 soit une augmentation de 30% en 50 ans. C'est ce modèle que nous retiendrons pour évaluer le besoin en 2035, l'électricité devenant le facteur majeur de la transition énergétique.

A partir de cette hypothèse d'évolution, on peut estimer le besoin électrique pour la France, en prenant comme référence la consommation moyenne sur la période de 2015 à 2020, soit  $C_{2020}=475$  TWh. Ceci conduira à une consommation évaluée pour 2035 à  $C_{2035} = 514$  TWh (voir détail du calcul en bas de page)<sup>1</sup>

Si l'on rajoute une réserve forfaitaire<sup>2</sup> de 60 TWh pour faire face aux aléas, la production électrique en 2035 devrait être de 574 TWh. En suivant les spécifications de la PPE la répartition des différentes sources d'énergie pourrait être la suivante :

Nucléaire :	287 TWh
EnRi :	136 TWh répartition entre éolien terrestre maritime et photovoltaïque
Hydraulique :	60 TWh
Production complémentaire <sup>3</sup> fossile :	91 TWh

<sup>1</sup> $C_{2070} = C_{2020} + C_{2020} \times 0,3 = 617,5$  TWh en 2070

On peut alors en déduire l'indice de progression annuel

$C_{2070} = C_{2020} (1 + p)^{50}$   $p = 1 - \sqrt[50]{617,5/475} = 0,526 \%$  (formule des intérêts composés)

(On retrouve l'ordre de grandeur de 0.6% retenue par le GAENA dans ses premières estimations) <sup>[1]</sup> et <sup>[2]</sup>

D'où le besoin pour 2035  $C_{2035} = C_{2020} (1 + 0,00526)^{15} = 514$  TWh

<sup>2</sup>La réserve forfaitaire correspond au pied de production nécessaire pour couvrir les aléas et les exportations.

<sup>3</sup>Intègre la bioénergie source de carbone.

En 2019 la production nucléaire était de 379 TWh (voir schéma RTE en fin d'article) soit une surproduction de 92 TWh par rapport au besoin 2035. **C'est sur cette marge que la PPE prévoit de s'appuyer pour diminuer la part du nucléaire.**

A partir de ce constat, la PPE a inscrit l'arrêt de 4 à 6 tranches de 900 MW d'ici 2028. Ce raisonnement est particulièrement tendancieux dans la mesure où la consommation a des variations saisonnières importantes et où il est impératif d'assurer la production nécessaire pour couvrir les pointes de consommation qui se produisent particulièrement aux périodes de froid anticycloniques pendant lesquelles la production éolienne est très faible et l'ensoleillement aléatoire.

### ***Réponse au besoin électrique***

L'électricité n'étant pas stockable, la production doit en permanence équilibrer le besoin. A titre d'exemple le solde exportateur sur l'année 2019 est de 40 TWh (63 export et 23 import) [3]. Mais le problème important est la capacité du système à répondre rapidement à un problème particulier (pic de consommation en hiver ou incident).

Le séisme du Teil en Ardèche en novembre 2019 a entraîné l'arrêt préventif de la centrale de Cruas ce qui a conduit à une perte de production de 2 200 MW. De plus, pendant ce mois de novembre les productions éolienne et photovoltaïque ont été très faibles et particulièrement pendant cette période d'arrêt de la centrale. Du 12 au 21 novembre le facteur de charge moyen de l'éolien était de l'ordre de 10 % pouvant descendre à 5 % et le facteur de charge du photovoltaïque était de l'ordre de 5 % tout ceci conduisant à une production électrique intermittente très faible.

### **Les énergies renouvelables intermittentes ont donc failli au moment où l'on en avait besoin.**

Pour suppléer ce manque d'énergie, le nucléaire a été maintenu en fonctionnement optimal (1000 GWh). Il a fallu faire appel aux énergies fossiles, gaz et charbon avec la remise en route des centrales à charbon ce qui a eu pour conséquence une forte augmentation de la production de CO<sub>2</sub> qui est passée de 60g à 100g par kWh entre le 12 et le 22 novembre. Il a fallu également avoir recours à une importation massive d'électricité qui a atteint 9000 MW le 19/11. Cette électricité provenait essentiellement du charbon allemand [4]. Pendant cette phase critique le nucléaire et l'hydraulique ont assuré 80 % du besoin électrique de la France.

- **Qu'en sera-t-il dans l'avenir si l'on réduit trop la part du nucléaire ?**
- **Quelle sera la solution si les autres pays ne peuvent pas nous fournir l'énergie demandée ? sans doute le délestage de certains secteurs de réseau.**

### ***Réponse au réchauffement climatique***

Le réchauffement climatique est essentiellement lié aux émissions de CO<sub>2</sub>. Pour l'électricité, la production liée au nucléaire est de 10g/kWh, 16g/kWh pour l'éolien et 75g/kWh pour le photovoltaïque. Ces valeurs sont évaluées sur l'ensemble du cycle de vie des systèmes. Le problème est que les énergies éoliennes et photovoltaïques sont des énergies intermittentes (EnRi) qui dépendent l'une du vent et l'autre du soleil, Elles ne sont donc pas produites en permanence ce qui nécessite un complément apporté par le gaz. Dans la configuration 2035 proposée, le bilan énergétique serait le suivant : nucléaire 287 TWh, EnRi 136 TWh (en reprenant les propositions de la PPE), hydraulique 60TWh, production complémentaire<sup>4</sup> 91 TWh, Cet apport complémentaire, principalement en gaz, produira entre 38 et 54 Mt de CO<sub>2</sub> suivant les technologies utilisées (la

---

<sup>4</sup>Intègre la bioénergie source de carbone.

combustion du méthane donne, 600g/kWh de CO<sub>2</sub> en combustion directe mais seulement 418 g/kWh dans les centrales à cogénération CCG). A titre de comparaison, en 2017 la production de CO<sub>2</sub>, a été de 27.9 MT pour 529 TWh. RTE fournit en continu les résultats de sa production de CO<sub>2</sub>, calculs faits à partir de données ADEME<sup>5</sup>.

Ceci montre que :

- **Faire une transition trop rapide vers les énergies renouvelables en s'appuyant sur les technologies actuelles ne semble pas adéquat<sup>6</sup>.**
- **La réduction à 50 % de la part du nucléaire en 2035 va à l'encontre de ladiminution des émissions de CO<sub>2</sub>**

### **Equilibre des réseaux électriques [5]**

L'électricité n'étant pas stockable il doit y avoir un équilibre permanent sur l'ensemble du réseau entre la consommation et la production. Pour répondre aux impératifs de tous les équipements modernes, le critère de stabilité est de 50 Hz  $\pm$  0.1 Hz sur l'ensemble du réseau des pays européens qui sont tous interconnectés. Si la consommation l'emporte sur la production, il y a une baisse de fréquence. En cas de dérive de la fréquence les premiers éléments de stabilisation sont les masses tournantes couplées au réseau (alternateurs). Si c'est insuffisant on fait intervenir des réserves de puissance (eau de barrage, gaz, etc.). **Les 30 premières secondes sont cruciales pour éviter la déstabilisation en chaîne pouvant conduire au black-out.**

Le problème dans la stabilisation des réseaux est que les énergies renouvelables n'ont pas d'inertie, il faut donc que ce soit les énergies pilotables, nucléaires et hydrauliques, et éventuellement thermiques qui amortissent les à-coups de l'éolien. A titre d'exemple, la puissance éolienne est passée de 12204 MW à 469 MW entre le 28 et le 30 novembre 2019 et de 7500 MW à 1000 MW en quelques heures seulement le 14 novembre.

Les simulations menées par RTE montrent que l'on peut injecter en général entre 35 à 38 % d'EnRI sans trop fragiliser le réseau. Mais le taux d'injection doit être limité à 25 % en période de faible consommation électrique. Les objectifs EnRI de la PPE seraient de l'ordre de 23 %, ce qui paraît satisfaisant pour l'équilibre du réseau français.

Toutefois la carte des vents montre que le régime des vents sur la partie ouest et nord-ouest de l'Europe est assez homogène tant en direction qu'en intensité [6] ce qui signifie que l'on ne peut pas compter sur l'éolien allemand pour soutenir l'éolien française. Il est donc nécessaire de disposer d'une capacité d'énergie non intermittente suffisante pour répondre au besoin. **Sinon on fera appel au charbon allemand.**

### **Conclusion**

L'objectif de 50% de nucléaire dans la fourniture électrique française semble réalisable, mais augmente **la production de CO<sub>2</sub>** et surtout **les risques de pénurie et de black-out**. En effet un apport insuffisant d'énergies pilotables (nucléaire et hydraulique) et des EnRI irrégulières et pas toujours prévisibles, nécessitent de pouvoir disposer d'une énergie importante de compensation, toujours disponible, pour répondre au besoin et assurer la stabilité du réseau. L'évènement de

---

<sup>5</sup> 0,986 T CO<sub>2</sub> eq/MWh pour le groupe charbon, 0,777 pour le groupe fioul, 0,429 pour le groupe gaz et 0,494 pour le groupe bioénergie.

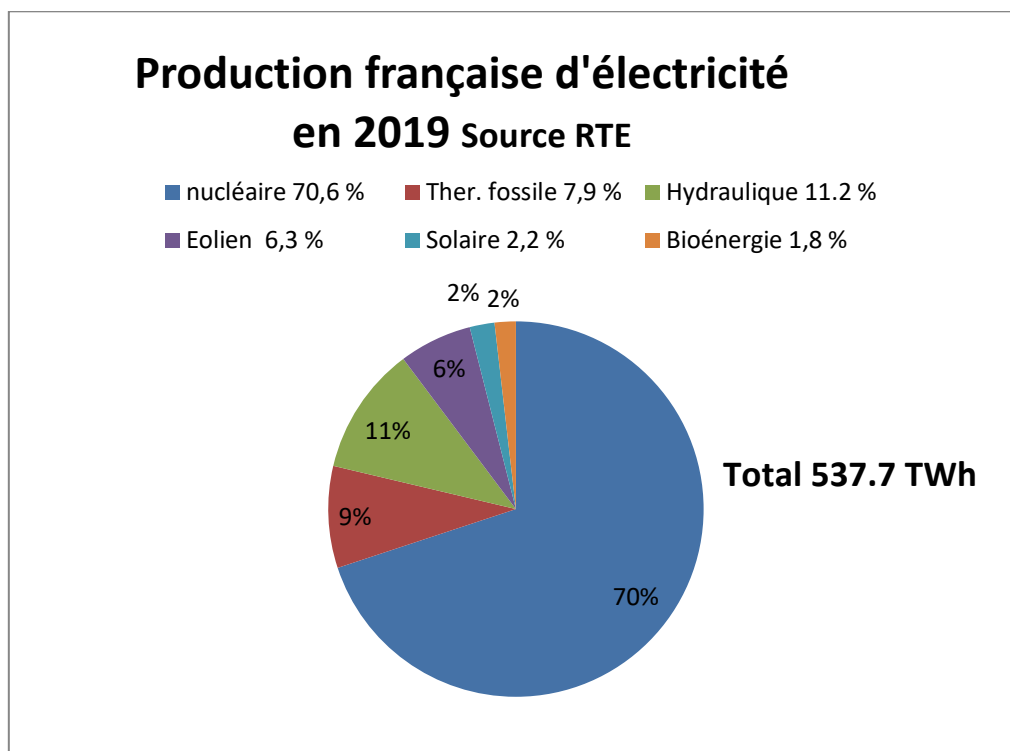
<sup>6</sup> Ce n'est pas le cas pour l'Allemagne dont une grande partie de l'électricité provient du charbon.

CRUAS a mis en évidence la fragilité de notre réseau qui à cette occasion a largement sollicité les autres pays européens. La PPE, sur ce plan, envisage le renforcement des interconnexions et des échanges avec les autres pays européens. Mais ces échanges doivent pouvoir se faire dans les deux sens. Avec le nucléaire la France dispose d'une réserve qu'elle peut mettre à la disposition de ses partenaires (voir incident en Croatie du 8 /11/2021)<sup>7</sup>.

Ce projet de la PPE « 50 % de nucléaire en 2035 » mettra **la France dans une plus grande dépendance vis-à-vis du réseau européen.**

Il existe d'autres aspects importants que cette analyse ne prend pas en compte, comme les enjeux économiques et sociétaux.

Si, en 2035, la France conservait un potentiel nucléaire équivalent à l'actuel, il faudrait un apport complémentaire de 134 TWh que le solaire et éolien du projet PPE devraient couvrir (136 TWh)<sup>8</sup>. Les à-coups des EnRi pourraient alors être couverts par la grande capacité du nucléaire qui possède une certaine souplesse pour s'adapter au besoin. Ceci permettrait de moins faire appel au fossile pour réguler le réseau. De plus, en périodes plus creuses, le surplus d'électricité permettrait d'alimenter la filière hydrogène qui est appelée à se développer.



**RTE bilan électrique 2019 [8]**

---

<sup>7</sup>Le 8/01/2021 un incident en Croatie aurait pu mettre l'Europe dans le noir sans le réflexe des gestionnaires qui ont immédiatement séparé les réseaux européens est et ouest. Les services interruptibles sous contrat en France et en Italie, au total environ 1,7 GW, ont été déconnectés pour permettre la remontée de la fréquence.

<sup>8</sup> Rappel : besoin 574 TWh, nucléaire 379 TWh, hydraulique 60 TWh.

## Références

- [1] Gaena site énergétique : [Fiche argumentaire n°4](#)
- [2] Gaena site énergétique : [Fiche d'actualité n°16](#)
- [3] Gaena site énergétique : [Statistique de la production électrique 2019](#)
- [4] Gaena site énergétique : [Statistique de la production novembre 2019](#) (page 32)
- [5] [Gaena site énergétique](#) : [Fiche argumentaire n°57](#)
- [6] <https://www.tameteo.com/cartes-meteorologiques/viento-europ.html>
- [7] Synthèse PPE 2020
- [8] RTE bilan électrique 2019