

ASSOCIATION DES RETRAITÉS DU GROUPE CEA
Groupe Argumentaire sur les Energies Nucléaire et Alternatives

Analyse de la faisabilité du projet RTE – AIE dans le cadre de la stratégie bas carbone à l'horizon 2050 [Réf 1]

L'étude menée conjointement par RTE et AIE, a pour but de définir le système électrique de la France qui devra conduire à la neutralité carbone par l'abandon progressif des énergies fossiles d'ici 2050. Cette étude entre dans le cadre général de la stratégie nationale bas carbone (SNBC) adoptée par le gouvernement. La publication définitive des études interviendra en octobre 2021. Les hypothèses qui ont servi de base à l'analyse sont les suivantes :

- Croissance démographique 71 millions d'habitants en 2050
- Croissance du PIB entre 1,3 et 1,7 %
- Forte réduction de la consommation globale d'énergie
- Effets baissiers liés à l'efficacité énergétique
- Augmentation modérée de consommation d'électricité de 470 à 630 TWh.

La proposition finale reposera sur la synthèse de 8 scénarios qui ont servi de base à l'étude :

4 scénarios sans nouveau nucléaire

- 3 scénarios conduisant à 15 % de nucléaire et 85 % de renouvelable
- 1 scénario conduisant à 100 % de renouvelable

4 scénarios avec nouveau nucléaire

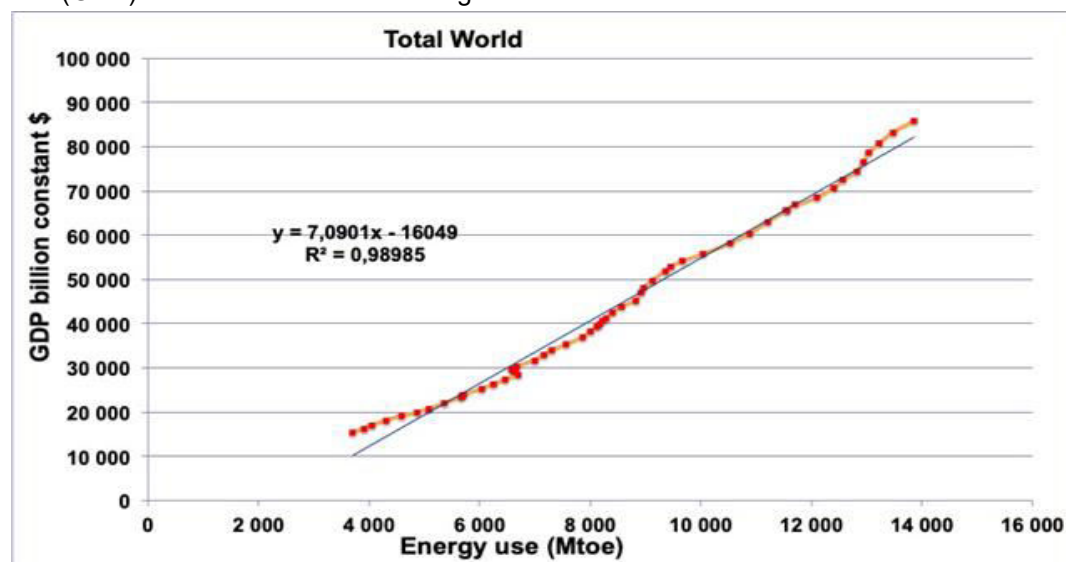
- 2 scénarios modulant la part du nucléaire entre 20 et 30 %
- 2 scénarios conduisant à 50 % de nucléaire et 50 % de renouvelable.

Le GAENA s'est donné comme objectif de faire une analyse objective du projet pour s'assurer de sa validité. C'était d'ailleurs la demande des acteurs formulée dans le projet, mais avec un délai beaucoup trop court pour permettre une analyse sereine des conditions d'un système électrique à forte part d'énergies renouvelables en France à l'horizon 2050

1. ANALYSE DES HYPOTHÈSES DE BASE

1.1. Diminution de la consommation d'énergie et augmentation du PIB

Trois conditions sont liées, la croissance du PIB, la forte réduction de la consommation globale d'énergie et l'effet baissier lié à l'efficacité énergétique. Comme le montre la courbe 1 ci-dessous il y a une forte corrélation entre le PIB (GDP) et la consommation d'énergie.

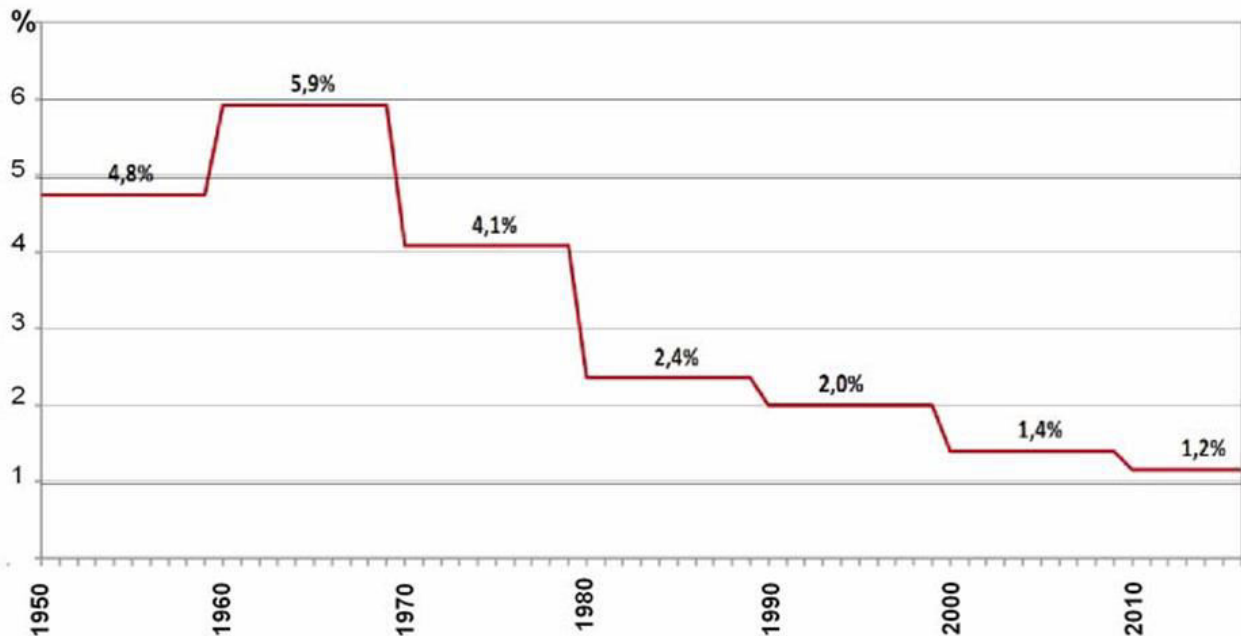


Courbe 1 :
Corrélation
entre PIB et
consommation
d'énergie

Depuis 1973 en France il a fallu 35 % d'énergie en moins pour produire la même richesse.

Mais cette évolution a tendance à se réduire et se stabiliser si on se réfère à la conjoncture internationale qui montre que l'efficacité énergétique ne s'améliore plus depuis 2001 pour tendre actuellement en France vers 1 (Voir [Fiche d'actualité GAENA n°16](#) « Analyse de la version révisée de la PPE, février 2020 »).

Évolution du PIB de la France en moyennes décennales (1950-2016)



Courbe 2 : Evolution de l'efficacité énergétique depuis 1950

Ceci signifie que sans une rupture technologique fondamentale, la consommation d'énergie continuera à croître si l'on veut maintenir la richesse industrielle de la France d'autant plus que la politique s'oriente vers la ré-industrialisation et la relocalisation des activités industrielles qui va renforcer le lien entre PIB et consommation d'énergie.

1.2. Objectif énergétique pour 2050

REMARQUE : Tous les chiffres de comparaison donnés dans cette analyse sont extraits de dossier RTE-AIE

D'ici 2050 la population française devrait atteindre 71 millions d'habitants, chiffre correspondant bien aux prévisions internationales. Cette population nécessitera un besoin énergétique de 562 TWh¹. Le projet RTE-AIE prévoit une consommation de 630 TWh soit 68 TWh supplémentaires pour couvrir la transition énergétique ce qui est très faible au regard des projets qui se dessinent journellement.

L'Académie des Sciences prévoit dans son rapport de juillet 2021 que le besoin électrique devrait se situer en 2050 entre 700 et 900 TWh, 700 TWh étant le minimum acceptable pour aborder la transition énergétique (voir [Fiche d'actualité GAENA n°21](#) « L'apport de l'énergie nucléaire dans la transition énergétique »).

En conclusion on peut dire que l'estimation du besoin électrique en 2050 est largement sous-estimée et ne repose pas sur des hypothèses très réalistes, en particulier l'électrification des transports n'est que partiellement pris en compte².

¹ En 2020 la consommation d'électricité était de 470 TWh. Elle passera à 630 TWh en 2050. La progression en régime normal est de 0,6 % ce qui donnerait 562 TWh en 2050 (valeur retenue par le GAENA dans ses études antérieures en cohérence avec les estimations internationales $C_{2050} = C_{2020} (1 + 0,006)^{30} = 562$ TWh) ce qui conduit à une augmentation réelle de 68 TWh par rapport aux prédictions d'une évolution normale, correspondant effectivement à une augmentation modérée de la consommation électrique comme indiquée dans le rapport.

² Il faudrait entre 300 et 500 TWh suivant la technologie utilisée pour décarboner l'ensemble du parc automobile (Voir [Fiche d'actualité GAENA n°23](#) « Electrification des véhicules terrestres à l'horizon 2050 »).

2. ANALYSE DU PROJET RTE – AIE SOUS L'ASPECT BESOIN EN ÉNERGIE

Parmi les 8 scénarios proposés nous n'avons retenu dans cette analyse que le scénario N0 qui correspond à une finalité de 50 % de nucléaire en 2050³.

Les chiffres affichés dans les diagrammes du rapport RTE–AIE sont fournis en énergie électrique consommée pour 2019, soit 470 TWh de fourniture totale et 320 TWh pour la part nucléaire. En réalité, en 2019 RTE a produit 537 TWh, dont 379 TWh pour le nucléaire, soit une surproduction de 67 TWh, qui a permis de couvrir les aléas de production et de consommation ainsi que les échanges positifs avec les autres pays européens. Le tableau 1 ci-dessous compare la consommation 2019 et la projection 2050.

	Données 2019 (TWh)	Projection 2050 (TWh)
Total	470	630
Nucléaire	320	315
Hydraulique	60	57
Solaire	12	63
Eolien	34	189
Bioénergies	10	10
Thermique	43	

Tableau 1 : Données de consommation 2019/2050

Ces données sont évaluées à partir des diagrammes du rapport RTE-AIE

Deux points sont à remarquer dans ce tableau :

- La fourniture nucléaire reste à peu près la même. C'est simplement l'augmentation de la consommation électrique, alimentée essentiellement par les EnRI, qui permet de ramener la part du nucléaire à 50 %.
- Absence complète de production thermique, ce qui est le but, mais obligera la consommation à s'adapter « au vent et au soleil ».

Le tableau 2 ci-dessous donne la répartition de la consommation d'électricité réalisée en 2019 et projetée pour 2050.

Consommation (TWh)	2019	2050	Variation
Résidentiel	300	260	- 40
Industrie	110	150	+ 40
Transport	10	120	+ 110
Branche énergie	30	30	0
Hydrogène		50	+ 50
Pertes ?	20	20	0
Total	470	630	+ 160

Tableau 2 : Répartition de la consommation

Il faudra donc apporter 160 TWh de plus qui devront être fournis par l'éolien et le photovoltaïque dont leurs capacités respectives devront être multipliées à cet effet par 5.

Bien que la production nucléaire vis-à-vis de la consommation intérieure reste la même, la puissance installée va baisser en 2050 de 10 % par rapport à 2019, passant de 61,4 GW en 2019 à 55 GW en 2050.

En 2019 la capacité de production était $61,4 \times 8760 = 538$ TWh. Avec un facteur de charge de 0,71 ceci donne une capacité réelle de 381 TWh soit $381 - 67 = 315$ TWh de consommation interne effective correspondant bien aux évaluations de tableau 1.

En 2050 on n'aura plus que $55 \times 8760 = 482$ TWh de capacité disponible, ce qui signifie :

- Soit le parc nucléaire conservera un facteur de charge analogue de 0,71 ce qui ramènera la réserve de production à 27 TWh⁴ au lieu de l'ordre de 67 TWh actuels.

³ La question du 100 % de renouvelable a été examinée dans la [fiche d'actualité GAENA n° 12](#) « Analyse du rapport 2018 EELV, établi à partir du scénario Watt du rapport 2017 de RTE ».

- Soit les performances du parc augmenteront avec un facteur de charge de 0,75 pour conserver au moins 60 TWh de réserve⁵.

Conclusion sur l'analyse en énergie du scénario N0

Si l'on en reste aux hypothèses de RTE–AIE on voit que le besoin global d'énergie électrique peut être satisfait aux conditions suivantes :

- Multiplication de la capacité de l'éolien et du photovoltaïque ce qui conduira à près de 8000 éoliennes terrestres de 3 MW supplémentaires⁶ et l'implantation de 4500 éoliennes⁷ en mer
- L'adaptation de population et de l'industrie aux phénomènes intermittence de l'énergie
- Renoncement à la réserve énergétique de 60 TWh ou augmentation les performances des centrales nucléaires existantes.

3. ANALYSE DU RAPPORT RTE – AIE SOUS L'ASPECT PUISSANCE ÉLECTRIQUE

Le bilan électrique s'exprime souvent en énergie ce qui lisse la production sur une période donnée. Or l'introduction des EnRI fait que la production d'électricité devient irrégulière et pas toujours prévisible. L'extension du réseau électrique à l'ensemble de l'Europe, grâce à sa flexibilité et les échanges entre pays, a permis jusqu'à présent de gommer les problèmes de « pointe ».

Mais qu'en sera-t-il en 2050 quand la demande électrique aura fortement augmenté dans l'ensemble de l'Europe ?

L'analyse en puissance du projet RTE montre que le problème risque, par moment, de s'avérer critique.

À titre d'exemple le tableau 3 ci-dessous donne la projection sur 2050 de la situation du 4 janvier 2021 à 19 h qui est une situation normale en cette saison. La projection repose :

- sur les chiffres RTE pour 2021
- les projections RTE–AIE pour 2050
- sur des hypothèses de performances du parc éolien

	Production en MW 4/01/21 19 h Au pas de 30 min	Projection 2050	Justification des choix
Fossile	9 923	0	
Nucléaire	51 841	52 000	Capacité nucléaire identique. Facteur de charge 84,5 %
Eolien terrestre	3274	7 200	45 000 x 0,18 = 7 200 MW *
Eolien maritime	0	9 000	30 000 x 0,30 = 9 000 MW **
Hydraulique	14 887	15 000	Capacité identique
Photovoltaïque	0	0	Nuit
EnR thermique	1 115	1 700	Augmentation en proportion de la puissance installée ***
Total	81 040 MW	84 900 MW	

Hypothèses de simulation :

* Le facteur de charge des éoliennes terrestres est le même que celui du 4/01/21 soit 0,18

** Le facteur de charge des éoliennes maritimes en période de vent faible a été pris forfaitairement à 0,3 pour > 0,4 en régime normal

*** L'augmentation des EnR thermique suivra l'augmentation de la puissance installée (130 GW en 2021 et 200 GW en 2050), correspondra à une augmentation de $200 - 130 / 130 = 0,54 \%$, soit $1115 + (1115 \times 0,54) = 1700$ MW

Tableau 3 : Projection de la situation du 4/01/21 sur 2050

⁴ $482 \times 0,71 = 342$ soit $342 - 315 = 27$ TWh.

⁵ Réserve 60 TWh. La fourniture sera $482 - 60 = 422$ TWh. Pour satisfaire une consommation de 315 TWh il faudra un facteur de charge au moins égal à $315 / 422 = 75 \%$.

⁶ Objectif 40 à 45 GW terrestre. Déjà installé 16,5 GW, soit $42 - 16,5 = 25$ GW supplémentaires ce qui entraîne l'implantation supplémentaire de $25000 / 3 > 8000$ éoliennes de 3 MW.

⁷ Objectif 27 GW maritime soit $27000 / 6 = 4500$ éoliennes en mer de 6 MW.

Le 4 janvier 2021 il a fallu importer 4690 MW. En 2050 dans la même situation, il faudra importer de l'ordre de 18 000 MW pour équilibrer le système électrique et passer la pointe (voir ci-après les hypothèses de simulation)

	4/01/21 19 h	2050 Simulation	Justification des choix
Puissance demandée	85 720 MW	102 800 MW ****	Augmentation de 20 % du besoin par rapport à 2021
Puissance fournie	81 040 MW	84 900 MW	
Déficit électrique	4 690 MW	17 940 MW	
Hypothèses de simulation :			
**** On prend comme hypothèse que la puissance demandée suivra une augmentation de 0,6 % comme l'énergie, soit de l'ordre de 20 % sur la période 2021/2050 : $85700 + (85700 \times 0,2) = 102840$ MW. Ceci ne tient pas compte du supplément d'énergie envisagé par RTE.			

Tableau 4 : Equilibre du système électrique

Au cours de l'année 2019 ce phénomène s'était reproduit à 12 reprises pour une valeur moyenne de l'ordre de 5000 MW chaque fois, ce qui représente de l'ordre de 17 % du besoin. Ces phénomènes sont en général de courte durée (quelques heures). **Mais, en 2050, le réseau européen pourra-t-il nous fournir une telle quantité d'électricité** alors que d'autres pays, également engagés dans une politique bas carbone, risquent se trouver dans des conditions identiques ?

Si l'on ne veut **pas risquer le black-out**, il sera donc nécessaire de disposer **d'une réserve importante de puissance** et de mettre en place une **politique drastique de gestion de l'électricité** en délestant certains secteurs.

Pour maintenir le déficit en puissance au niveau actuel, il faudrait disposer d'une réserve de l'ordre de 12 000MW. Elle pourra être apportée :

- par le gaz pour une capacité équivalente au fossile actuel (10 000 MW) mais activée à la demande pour limiter la production de CO2
- par une augmentation de la part du nucléaire de 2000 MW en mettant en chantier rapidement un nouvel EPR.

Cette réserve d'énergie permettra d'alimenter plus largement la transition énergétique et de développer en particulier la filière hydrogène à une plus grande échelle que ce qui est prévu et ainsi d'entrer dans les prévisions de l'académie des sciences.

4. CONCLUSION

Le projet N0 est défini dans le cadre général de la stratégie nationale bas carbone (SNBC) adoptée par le gouvernement dont la finalité est 50 % de nucléaire en 2050.

L'analyse du GAENA s'est déroulée suivant 3 axes :

- Analyse des hypothèses de base qui ont servi à l'élaboration du projet.
- Capacité de répondre au problème en matière de fourniture d'énergie électrique.
- Capacité de couvrir les aléas de production en matière de puissance disponible.

De cette analyse le questionnement porte :

- d'une part sur le principe d'une augmentation du PIB et d'une la réduction globale de la consommation d'énergie, en contradiction avec l'expérience, qui montre au contraire une relation directe entre les deux, d'autant plus que la consommation d'énergie est de moins en moins compensée par l'efficacité énergétique et que la politique s'oriente vers une ré-industrialisation du pays.
- d'autre part sur des objectifs très faibles en matière de production électrique face aux objectifs ambitieux de la transition énergétique, ceci pouvant conduire à des situations de black-out.

Si l'on en reste aux objectifs affichés par RTE, la production d'énergie électrique en TWh peut paraître satisfaisante, mais moyennant de fortes contraintes dues à :

- l'implantation de 12 500 éoliennes supplémentaires dont 4500 en mer, ce qui risque poser d'importants problèmes sociétaux,
- la réorganisation complète du réseau de distribution nécessitée par la multiplication des petites sources,
- la gestion très complexe d'un tel réseau,
- l'adaptation de la société à cette énergie intermittente..

Le point faible de ce projet est son incapacité, en terme de puissance, à répondre aux pointes de consommation sans faire appel de façon trop importante au réseau européen, qui ne pourra pas forcément répondre à la demande, d'autres pays s'orientant également vers l'électricité non carbonée comme énergie de base.

En conclusion générale, même le projet N0, qui fait la plus grande part aux énergies pilotables en maintenant 50% de nucléaire, ne permettra pas de répondre aux besoins de 2050 et ce n'est pas la multiplication des énergies intermittentes qui permettra de satisfaire la demande si ce n'est avec un apport conséquent d'énergie thermique à base de gaz. À noter également que, compte tenu des ambitions affichées de la transition énergétique, les objectifs de ce projet sont très en deçà des évaluations de l'Académie des Sciences.

5. SOURCES

[1] Rapport RTE–AIE sur les conditions et prérequis en matière de faisabilité technique pour un système électrique avec une forte proportion d'énergies renouvelables à l'horizon 2050 du 27 janvier 2021.

[2] SNBC

6. GLOSSAIRE

RTE : Réseau de Transport d'Electricité
AIE : Agence Internationale de l'Énergie
SNBC : Stratégie Nationale Bas Carbone
PIB : Produit Intérieur Brut
PPE : Programmation Pluriannuelle de l'Énergie
EnR : Énergie Renouvelable
EnRI : Énergie Renouvelable Intermittente
MW : Méga Watt = 1 000 000 W
GW : Giga Watt = 1 000 000 000 W
TW : Téra Watt = 1 000 000 000 000 W