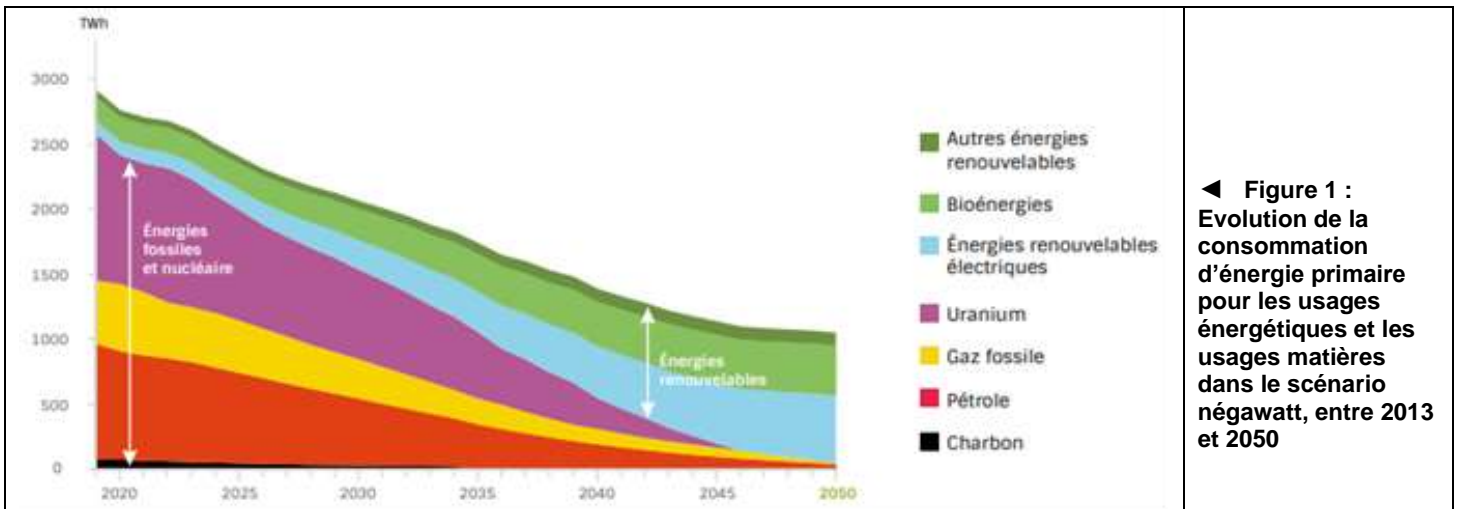


Estimation du besoin électrique lié à la transition énergétique  
Les biais des rapports RTE et négaWatt 2021

1. INTRODUCTION

Le scénario négaWatt 2022 [Réf. 1] prône un retour vers la sobriété énergétique ce qui pourrait conduire à une récession, la richesse d'un pays (PIB) étant fortement lié à la consommation d'énergie [Réf. 2]. Il vise une réduction d'un facteur 3 de la consommation d'énergie primaire (de 3.000 TWh à 1.000 TWh) et une substitution totale de la production d'électricité d'origine nucléaire par de l'énergie renouvelable à l'échéance 2045 (voir Figure 1 ci-dessous), ceci implique une multiplication par 20 de la production renouvelable actuelle [1.000 TWh en 2050, pour 50 TWh à ce jour].

Cet objectif est irréalisable sans faire appel à une forte production électrique par des turbines à gaz pour compenser l'intermittence des énergies éoliennes et photovoltaïques. Il est totalement utopique et ne sera pas étudié dans la présente analyse.



◀ Figure 1 : Evolution de la consommation d'énergie primaire pour les usages énergétiques et les usages matières dans le scénario négawatt, entre 2013 et 2050

À l'horizon 2050, RTE prévoit à de son côté [Réf. 3] une consommation électrique limitée à 645 TWh soit 35 % de plus qu'en 2019 (voir figure 2 ci-après). La population de la France devrait augmenter d'au moins 4 millions d'habitants d'ici 2050 ce qui va entraîner une augmentation de la consommation d'énergie qui devrait passer de 545 à 562 TWh. Cette hypothèse ne laisse qu'une marge de 80 à 90 TWh, marge très insuffisante pour couvrir toutes les dispositions prévues dans la transformation du système énergétique français. Conscient de ce problème le rapport prévoit, dans sa deuxième version, la possibilité de rehausser le seuil à 752 TWh.



◀ Figure 2 : Trajectoire de référence RTE

Le présent document a pour finalité de montrer que malgré les différents scénarios envisagés par RTE les trajectoires correspondantes sont insuffisantes pour atteindre les besoins énergétiques à venir.

## 2. REVUE DES DIFFÉRENTS BIAIS DES SCÉNARIOS RTE

### 2.1. Sous-estimation des besoins électriques dus à l'électrification du parc de VP + poids lourds pour 2050

Pour la mobilité terrestre, trois voies de développement peuvent être utilisées :

- o l'électrique à batteries,
- o l'électrique à hydrogène (H<sub>2</sub>) via les piles à combustibles (PAC),
- o le biocarburant de synthèse à partir de biométhane<sup>1</sup>.

Des études [Réf. 4], [Réf. 5] ont montré que selon l'hypothèse retenue :

1 - voie électrique à batteries, si l'on remplaçait la totalité du parc actuel de 30 millions de VP par 30 millions de VE équipées de batteries et parcourant 10 000 km par an, dont la consommation moyenne est de 20 kWh/100 km, il faudrait produire une énergie de **60 TWh**.

2 - voie hydrogène et pile à combustible (H<sub>2</sub> + PAC), si l'on remplaçait la totalité de ce parc par 30 millions de véhicules alimentés par la voie H<sub>2</sub> + PAC, parcourant 10 000 km par an, dont la consommation moyenne est de 1 kg d'hydrogène aux 100 km (soit 33 kWh), il faudrait produire une énergie de **99 TWh**.

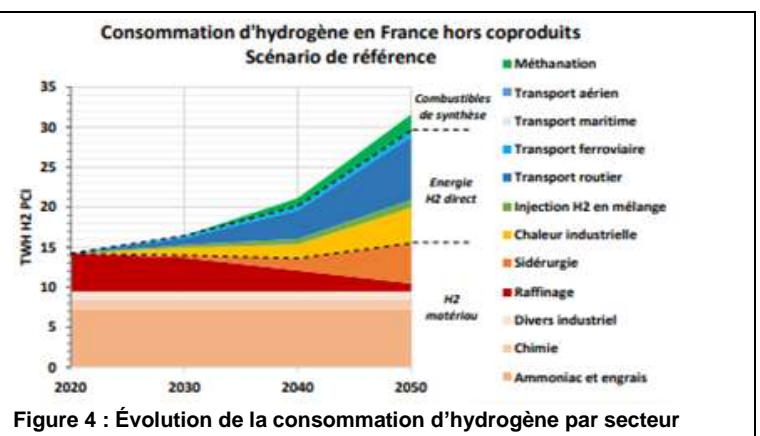
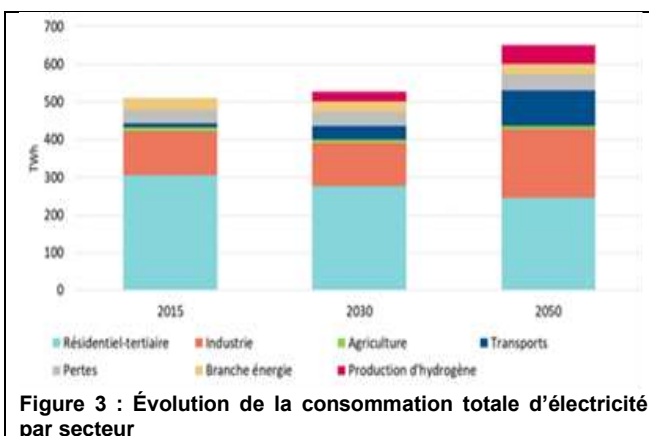
Dans l'hypothèse d'un mix représentatif comportant 70 % de véhicules à batteries et 30 % de véhicules H<sub>2</sub> + PAC, les besoins annuels en énergie électrique s'élèveraient à environ **72 TWh** (60 x 0,70 + 99 x 0,30) soit l'équivalent de **7 réacteurs EPR**<sup>2</sup>.

En ce qui concerne les **poids lourds**, l'Union européenne a validé l'objectif des industriels du secteur, qui est de faire rouler d'ici 2030 cent mille camions à l'hydrogène décarboné [Réf. 6]. Pour ce type de transport, le système à batteries ne convient pas, sauf à embarquer des batteries excessivement pesantes. Le plan est donc de faire rouler à l'hydrogène les transports sur de longue distance : frets routier, maritime, aérien. Notons que cet objectif de cent mille camions est très modeste au regard des trois millions de camions qui parcourent l'Europe.

Le besoin en électricité nécessaire pour alimenter cent mille camions de plus de seize tonnes parcourant une moyenne de 160.000 km/an, et consommant ~7 Mm<sup>3</sup> de fuel, et émettent ~17 Mt de CO<sub>2</sub> serait de **99,5 TWh** supplémentaires<sup>3</sup>, soit **9 EPR** supplémentaires pour alimenter les camions ou 910 km<sup>2</sup> de panneaux solaires. Et si on cherchait à remplacer la totalité du parc de poids lourds en faisant rouler trois millions de camions à l'hydrogène, il faudrait alors l'équivalent de **270 EPR** ou environ 30.000 km<sup>2</sup> de panneaux solaires !

Si on estime que le poids de la France représente de l'ordre de 15 % de ce total<sup>4</sup>, le besoin correspondant s'étage entre **14 TWh** (électrification modérée) et **420 TWh** (électrification forte). L'addition des deux catégories de véhicules (VP et poids lourds) conduirait à un total s'étageant entre **86 TWh** [soit **8 EPR**] (avec l'hypothèse d'un dixième du parc de poids lourds électrifiés) et **490 TWh** [soit **45 EPR**] (totalité du parc de poids lourd électrifié).

Ces estimations sont à mettre en perspectives avec celles de RTE (voir Figure 3 ci-dessous) qui prévoit une consommation de l'ordre de **90 TWh** pour l'ensemble du secteur transport (maritime + aérien + routier + ferroviaire), hors production H<sub>2</sub>. La part du transport routier peut être évaluée à 80 % de ce total, soit environ **72 TWh**. En ce qui concerne la production d'H<sub>2</sub>, l'estimation RTE attribuée au secteur transport routier est de l'ordre de **8 TWh** (voir figure 4), ce qui donne un total de **80 TWh**.



<sup>1</sup> Cette dernière voie est marginale, compte tenu de la quantité de biocarburant disponible à moyen terme.

<sup>2</sup> Un EPR de 1600 MW fournit en moyenne annuelle 11 TWh (1600 MW x 7.000 h/an).

<sup>3</sup> On prend pour l'hypothèse qu'il faut 38,9 kWh pour le transport de 100 T/km

Pour un camion de 16T il faut  $38,9 \times 16/100 = 6,22$  kWh pour 100 km

Pour 10.0000 camions  $6,22 \times 10^5$

Pour 16.0000 km  $6,22 \times 10^5 \times 16.0000 = 99,52 \times 10^9$  kWh soit 99,52 TWh

<sup>4</sup> Ce pourcentage inclut les véhicules circulant sous pavillon français + les véhicules étrangers circulant en France.

Ces estimations couvrent à peine la consommation du parc de VP (voir ci-dessus) mais nettement insuffisant eu égard aux préconisations de l'Union européenne en ce qui concerne le parc de poids lourds.

Au global pour l'ensemble du secteur transport routier (VP + poids lourds), le déficit des prévisions RTE par rapport aux présentes évaluations sera sans doute supérieur à 6 TWh. On retiendra **10 TWh** pour le minimum ; ce déficit pouvant atteindre **400 TWh** si on avait une électrification totale.

### Revue des contraintes imposées par l'électrification de ce parc de véhicules

#### Contraintes sociétales & économiques

- Solution batteries : Les temps de recharge des batteries électriques, même à l'aide des bornes ultra-rapides (environ 20 min par charge pour retrouver 80 % de sa capacité et type de charge en nombre limitée pour préserver la longévité de la batterie) occasionneront des embouteillages monstres aux stations-services notamment sur les axes d'autoroutes !  
D'autre part, cette politique d'électrification du parc automobile nécessitera une densification intense de l'implantation des bornes de recharge équivalente à celle des stations essence actuelles, ce qui sera très difficilement réalisable, notamment dans les régions peu urbanisées.
- Solution H<sub>2</sub> + Pile à combustible : Voir problème d'acceptabilité sociale + sécuritaire ci-après.

#### Contraintes techniques liées à la puissance nécessaire à la recharge des véhicules

Des simulations faites par RTE ont mis en évidence la nécessité de disposer d'une puissance de plusieurs dizaines de GW, aux bornes de recharge, ce qui est considérable. Elles mettent également en évidence qu'il sera nécessaire de mettre en œuvre un système de régulation et lequel ? Créneaux horaires ? Modulation de la tarification ?

Les pointes de demande de puissance électrique actuelles sont localisées dans le temps, il n'en serait pas de même des pointes qui seraient liées à la recharge des véhicules électriques car elles seraient aléatoires et risqueraient même d'être en partie synchrones avec les pointes domestiques (recharge au retour du travail).

#### Sécurité liée à l'utilisation de H<sub>2</sub> comprimé

Le stockage du dihydrogène au sein des véhicules pose problème. Sous forme de gaz peu comprimé, il prendrait beaucoup trop de place pour être embarqué ; sous forme de gaz très comprimé, le risque d'auto-allumage, notamment en cas de choc ou d'accident routier, augmente fortement, ce qui rend la maîtrise de la combustion délicate. D'où un problème d'acceptabilité sociétale, notamment pour les VP.

Des recherches sont entreprises pour stocker l'hydrogène sous forme solide (hydrures) mais des solutions économiquement rentables ne sont pas encore entrevues.

## **2.2. Sous-estimation des besoins électriques pour décarboner la production d'hydrogène nécessaire à l'industrie lourde**

Le plan hydrogène national, comme celui de l'Union européenne, vise en premier lieu, à réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, imputables à la production d'hydrogène nécessaire à l'industrie lourde.

Des estimations montrent qu'il faudrait **3 TWh** ou 33 km<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques, soit 4.622 terrains de football. C'est le cas par exemple, pour répondre aux besoins de l'usine d'engrais azotés de Boréal Grand-Quevilly, en banlieue de Rouen (Seine-Maritime), qui produit 400.000 tonnes d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) par an à partir d'hydrogène. Le photovoltaïque serait une bonne solution pour produire de l'hydrogène. La problématique est de trouver des surfaces équivalentes sans englober des terres arables et des forêts !

Justement, en Gironde, Engie et Neoen s'apprêtent à raser 1.000 hectares de pins maritimes pour implanter un complexe photovoltaïque et un site de production d'hydrogène. S'il voit le jour, ce complexe sera l'un des plus grands sites photovoltaïques d'Europe ; il représente pourtant moins d'un tiers de ce qu'il faudrait pour décarboner l'usine Boréal Grand-Quevilly.

**Au plan européen**, la quantité d'énergie nécessaire pour remplacer l'hydrogène fossile actuellement consommé de tous les secteurs de l'industrie (pétrochimie et engrais notamment) par de l'hydrogène issu de l'électrolyse a été évaluée à **558 TWh**, soit l'équivalent de **50 EPR** ou 5.470 km<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques, soit la superficie du département de l'Ardèche. La France pourrait peser pour 5 et 10 % de cette estimation, soit une production électrique comprise entre **30 à 55 TWh**, correspondant à 3 à 5 EPR dédiés.

RTE prévoit dans sa trajectoire de référence (Voir Figure 2) une consommation électrique de **50 TWh** pour la production d'H<sub>2</sub> par électrolyse pour les besoins cumulés de l'industrie lourde et l'électrification des poids lourds. Si l'on considère

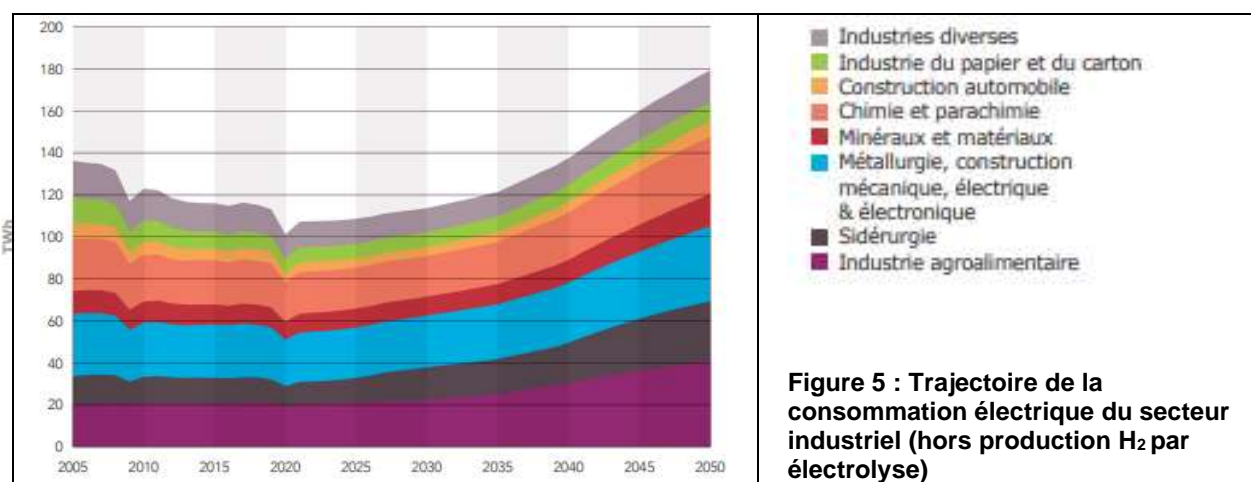
une répartition de 50 % pour chaque secteur, cela donnerait une prévision de 25 TWh pour la part imputable à l'industrie lourde. Le déficit RTE par rapport aux estimations ci-dessus serait donc compris entre **5 et 30 TWh**.

### 2.3. Sous-estimation des besoins industriels autres que la production d'H<sub>2</sub> par électrolyse

Les projections RTE sont données sur la figure ci-après (Figure 5). Elles sont probablement insuffisantes au regard du constat énuméré dans l'encadré ci-dessous. On retiendra à titre conservatoire un déficit compris entre **5 et 15 TWh**.

En janvier – février dernier (hiver 2021), malgré la tendance observée depuis plusieurs années à la baisse constante de la consommation industrielle, il a fallu procéder à des coupures de courant et des arrêts programmés dans un certain nombre de branches industrielles fortes consommatrices d'électricité (fonderies, cimenteries, verreries, ...). Cette décision était consécutive à une stagnation de la production électrique, notamment nucléaire observée depuis deux ans (une disponibilité moindre du parc nucléaire et stagnation des autres sources d'énergie renouvelables).

Or la France s'est engagée dans un processus de ré-industrialisation de son territoire. Sauf à vouloir organiser la récession, on peut difficilement envisager de ne pas augmenter la production électrique à un niveau suffisant pour répondre à ces besoins industriels nouveaux. Dans le cas contraire la politique de la sobriété mènerait à une impasse.



### 2.4. Sous-estimation des besoins électriques pour les usages domestiques (appareils connectés, multimédia, amélioration chauffage, ....)

- **Appareils connectés, méga calculateurs, data center – et d'une façon générale les TIC<sup>5</sup>** : Même si les calculs sont parfois sujets à débats entre experts, ils convergent pour souligner que les TIC sont devenues un des secteurs les plus consommateurs d'électricité. Selon une étude [voir Réf. 7] elles absorberaient aujourd'hui près de 10 % de la production d'électricité mondiale, c'est-à-dire autour de **1.500 TWh** par an. C'est trois fois la production électrique française ou l'équivalent des productions cumulées de l'Allemagne et du Japon.

Les prévisions d'évolution de cette consommation des TIC sont encore plus impressionnantes. L'Agence internationale de l'énergie (AIE) a étudié le phénomène en distinguant deux catégories d'équipements liés aux TIC :

- ceux qui permettent de produire et de transmettre les données, les réseaux eux-mêmes et tous les systèmes centraux comme les centres de gestion de données ;
- ceux qui ne sont pas nécessaires au fonctionnement des réseaux mais qui sont connectés à eux, dans l'attente d'un « signal ». Il s'agit des appareils globalement désignés « objets connectés ». Leur nombre a explosé dans la téléphonie mobile, dans la domotique, dans la gestion urbaine, dans l'habitat, dans les transports, dans la vie personnelle de chacun (tablettes, smartphones, télévisions et imprimantes intelligentes, jeux en ligne et de plus en plus montres et lunettes connectées, enregistreurs de rythmes cardiaques ou du sommeil, etc.).

C'est cette dernière catégorie qui est en expansion considérable : selon l'AIE, les objets connectés consommaient 420 TWh en 2008, 616 TWh en 2013, et devraient consommer 1.150 TWh en 2050. Pour la France, une extrapolation similaire induirait un besoin supplémentaire de **30 TWh** à l'horizon 2050.

- **Poste chauffage domestique** : La consommation électrique liée à ce secteur va notablement augmenter à l'avenir, dès lors que le gouvernement a décidé la suppression à l'échéance 2030 des chaudières au fioul et leur

<sup>5</sup> Les TIC (Technologies de l'Information et de la Communication) désignent l'ensemble des techniques de l'informatique, de l'audiovisuel, de l'internet et des télécommunications qui permettent aux utilisateurs de produire, gérer et transmettre de l'information sous toutes les formes (texte, son, image).

remplacement par des dispositifs alternatifs, dont notamment des pompes à Chaleur (PAC) et des radiateurs électriques. Or le secteur résidentiel-tertiaire représente environ 40 % de la consommation finale d'électricité, soit approximativement 120 TWh (Voir figure 5), [Réf. 8]).

Sur la base de cette consommation globale, la part chauffage-refroidissement représente environ 65 %, soit 78 TWh, part sur laquelle, le fioul compte pour environ 12 %. Ce qui donne sensiblement **10 TWh** de consommation électrique supplémentaire à produire, si la totalité du chauffage au fioul est remplacé par ce mode de chauffage.

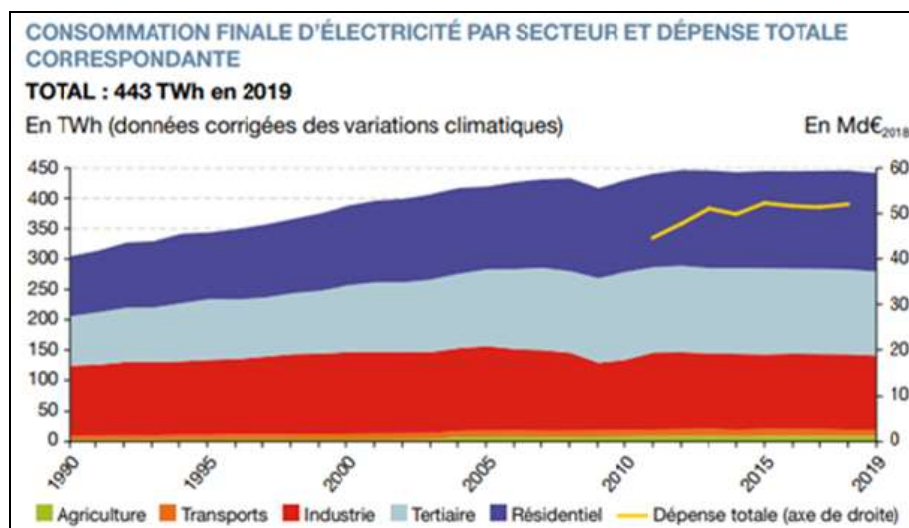


Figure 5 : Répartition des consommations électriques 2019 en France par secteur

### 3. CONCLUSION

- Dans le cas d'une trajectoire d'électrification de poids lourds modérée, les besoins en énergie électrique supplémentaires par rapport aux estimations prévues par RTE à l'horizon 2050 s'établissent comme suit :

Secteur	Electrification du parc de poids lourds	Production d'hydrogène pour l'industrie lourde	Besoins électriques pour la réindustrialisation (hors H <sub>2</sub> )	Besoins électriques pour les usages domestiques	Besoins électriques pour le chauffage - refroidissement	Total tous secteurs confondus
Besoins supplémentaires (TWh) estimés par le GAENA par rapport aux prévisions RTE	10	5 à 30	5 à 15	30	10	60 à 95

- Dans le cas d'une électrification totale des poids lourds le déficit RTE pourrait atteindre **445 à 485 TWh**.

RTE prévoit dans son rapport un besoin électrique de 645 TWh en 2050. L'analyse faite par le GAENA sur la base d'un certain nombre d'études et des objectifs affichés, montre que cette évaluation est sous-estimée de l'ordre de **60 à 95 TWh** et pourrait même atteindre plus de **450 TWh** si on électrifie la totalité du parc de poids lourds.

Le besoin minimum en électricité pour 2050 se situerait alors aux entre 755 et 790 TWh si l'on prend en compte 50 TWh de réserve comme actuellement et qui n'est pas intégré dans la projection RTE **ce qui prouve une certaine volonté de minimiser les objectifs de besoin**.

Ces valeurs sont en cohérence avec les estimations des Académies des technologies et des Sciences<sup>6</sup> [Réf. 9] qui prévoient une consommation finale d'électricité comprise entre 730 à 900 TWh en 2050, en comparaison des 645 TWh prévus par RTE dans sa trajectoire de référence.

<sup>6</sup> Les Académies des Technologies (10.03.2021) et des Sciences (08.07.2021) ont émis, en fourchettes larges faisant référence aux chances de succès de la politique sur l'hydrogène engagée en 2020, des avis qui convergent sur une consommation comprise entre 730 et 900 TWh, 820 TWh en moyenne.

#### 4. SOURCES

- [Réf. 1] : La transition énergétique au cœur d'une transition sociétale  
<https://negawatt.org/IMG/pdf/synthese-scenario-negawatt-2022.pdf>
- [Réf. 2] : [Fiche d'actualité GAENA N° 22](#) « Analyse de la faisabilité du projet RTE–AIE dans la cadre de la stratégie bas carbone à l'horizon 2050 »
- [Réf. 3] : Futurs énergétiques 2050 : les scénarios de mix de production à l'étude permettant d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050  
<https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques>
- [Réf. 4] : [Fiche d'actualité GAENA N° 23](#) « Électrification des véhicules terrestres en France à l'horizon 2050 »
- [Réf. 5] : « Aperçus sur le cycle de l'hydrogène » de F. LIVET, publié par le Collectif *Sauvons le Climat*  
<https://www.sauvonsleclimat.org/fr/base-documentaire/aperçus-sur-l-hydrogene>
- [Réf. 6] : Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions « Une stratégie de l'hydrogène pour une Europe climatiquement neutre »
- [Réf. 7] : Etude du Digital Power Group [www.tech-pundit.com](http://www.tech-pundit.com), Mark P. Mills
- [Réf. 8] : « Consommation finale d'énergie par secteur » Publication SDES, édition du 10 août 2021  
<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/consommation-finale-denergie-par-secteur-pefa>
- [Réf. 9] : Publication des Académies des Technologies et des Sciences [https://www.academie\\_des\\_sciences.fr](https://www.academie_des_sciences.fr) et <https://cereme.fr/>