

# Sortir de l'addiction aux combustibles fossiles : une nécessité, mais quel défi !

Par Gérard BONHOMME

Professeur émérite à l'Institut Jean Lamour, Campus Artem, Université de Lorraine, et président de la commission « Énergie & Environnement » de la Société française de physique

Atteindre l'objectif de la neutralité carbone en 2050 imposera une réduction drastique de notre consommation de combustibles fossiles, qui représentent pourtant aujourd'hui notre source d'énergie principale. L'électrification de nouveaux usages, jointe au déploiement de sources d'électricité bas-carbone, ainsi que la réduction de la consommation par des gains en efficacité énergétique et la mise en œuvre de mesures de sobriété sont les leviers envisagés dans les différents scénarios. Mais face à l'énormité du défi et à ses dimensions planétaires, et au rôle essentiel de l'énergie dans l'économie, un examen objectif et lucide des contraintes et des limites physiques est indispensable. Dans cet article, nous expliquons ainsi pourquoi les sources renouvelables seules ne suffiront pas et pourquoi le recours à l'énergie nucléaire est absolument indispensable.

## Prendre la mesure du défi

En France, la consommation d'énergie finale repose à plus de 60 % sur les combustibles fossiles, en particulier pour les usages liés :

- à la production de chaleur pour les bâtiments et l'industrie ;
- et aux transports.

Ce sont donc les secteurs qu'il faut défossiliser en priorité.

Selon les scénarios « officiels »<sup>(1)</sup> visant à atteindre la neutralité carbone en 2050, il faudra diviser par un facteur cinq voire six notre consommation en gaz et liquides fossiles. Il faudra pour cela un recours accru à l'électricité pour électrifier de nouveaux usages (les transports en particulier, mais aussi les procédés industriels).

Cependant, avec une hypothèse de possibilités limitées de croissance de la production électrique, et en admettant des marges de progression faibles dans l'efficacité énergétique (à laquelle la rénovation thermique des bâtiments devrait cependant apporter une contribution essentielle) ainsi qu'une disponibilité limitée pour la biomasse (qui pourrait voir au

maximum sa contribution doubler en valeur relative<sup>(2)</sup>), l'objectif de neutralité ne pourra dès lors être atteint sans une importante réduction de la consommation énergétique (de l'ordre de 40 % dans le cadre de la SNBC<sup>(3)</sup> actuelle). Il s'agit bien là de sobriété.

## Les limites de la sobriété et de l'efficacité énergétique

Cette contraction de la consommation d'énergie ne doit pas mettre en péril l'équilibre de nos sociétés. Un apport suffisant en énergie et en ressources est en effet indispensable... indépendamment du système

<sup>(2)</sup> Ce doublement de la contribution de la biomasse doit être entendu ici comme un doublement en valeur relative (d'environ 10 % aujourd'hui à 20 % en 2050), prenant en compte la contraction de la demande en énergie finale. Concrètement, avec une contribution de la biomasse solide (bois-énergie + déchets) restant pratiquement inchangée (passant de 125 à 130 TWh), mais avec un doublement de la production de sa partie liquide et gazeuse (en gros de 50 TWh aujourd'hui à environ 100 TWh en 2050), la contribution totale passerait ainsi de 175 TWh à 230 TWh, c'est-à-dire en pourcentage de la consommation finale actuelle, une part passant de 9,5 % à 13 %. Cette estimation est fondée sur les études de France Stratégie (<https://www.strategie.gouv.fr/publications/biomasse-agricole-ressources-potentiel-energetique>) et du Shift Project (<https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2022/02/Note-evaluation-energie-climat-PTEF-v1.1.pdf>), qui sont beaucoup moins optimistes que d'autres scénarios, car elles prennent en compte un potentiel limité par le risque de concurrence avec des usages alimentaires des sols, par les sécheresses, les restrictions dans les usages des pesticides, etc.

<sup>(3)</sup> <https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc>

<sup>(1)</sup> <https://www.cre.fr/Actualites/futurs-energetiques-2050>

économique et politique. Aucun développement, ni survie, aussi bien d'un être vivant que d'une société humaine, n'est envisageable sans apport suffisant en nourriture et en énergie. C'est la loi d'airain de la nature ! Les gains à attendre de la sobriété sont nécessairement limités et doivent être examinés à l'échelle mondiale, en prenant en compte les contraintes démographiques et le niveau de développement des sociétés. Aucun indicateur n'est parfait, mais celui de l'indice de développement humain (IDH), introduit par le programme des Nations unies pour le développement et combinant trois indicateurs relatifs à la santé et à l'espérance de vie, au niveau d'éducation et au niveau de vie, donne une indication claire du poids considérable de l'énergie dans le développement.

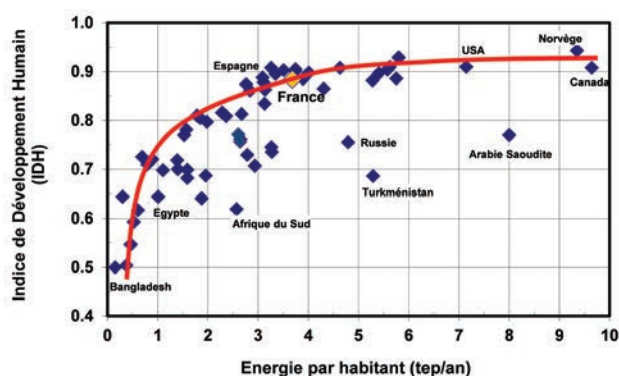


Figure 1 : Indice de développement humain en fonction de la consommation d'énergie exprimée en tep/an (1 tep = 11,63 MWh) – Source : BONHOMME G. & SAFA H. (2023), « L'impact de l'énergie sur le développement des sociétés humaines et l'économie globale », in *Reflets de la physique*, numéro spécial « Énergie » (à paraître).

Il permet également de visualiser un double aspect essentiel : non seulement un effet de saturation au-delà de 4 tep/an (soit 130 kWh/j/pers.), mais aussi l'existence d'un seuil autour de 1,5 tep/an (50 kWh/j/pers), de façon analogue à la situation d'un individu relativement à la consommation de nourriture.

Le diagramme ci-contre illustre l'inégalité flagrante dans l'accès à l'énergie. Il n'y aura ni développement ni de meilleur accès à l'éducation et aux soins, sans une forte croissance de la consommation énergétique pour plus de la moitié de l'humanité.

Si l'on ajoute les effets démographiques, il devient clair que la sobriété des plus riches ne pourra suffire, ce qui conduira inévitablement à une croissance de la consommation énergétique mondiale.

## Importance du choix des priorités

La sobriété doit, pour servir l'objectif premier de réduction drastique de l'usage des combustibles fossiles, être modulée et priorisée par secteurs. Il faudrait aboutir en France à une division de la consommation de ces combustibles par un facteur cinq pour les transports et un facteur deux pour les bâtiments. Des progrès sont certes encore réalisables dans l'amélioration de l'efficacité énergétique des procédés de transformation et

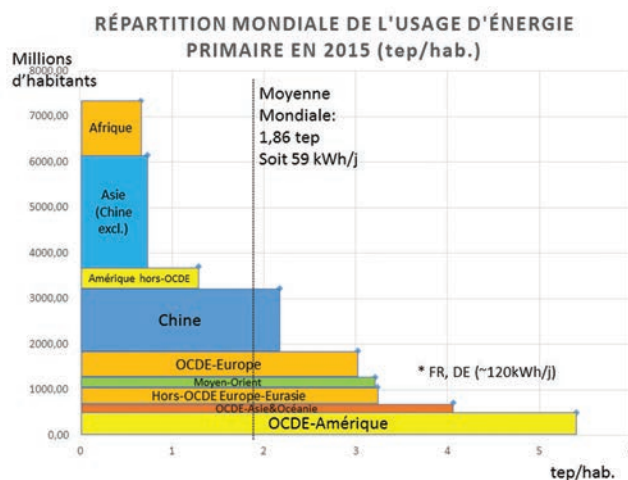


Figure 2 : Répartition régionale de la consommation annuelle d'énergie primaire par habitant exprimée en tep/hab (1 tep = 11,63 MWh) [à partir de données IEA].

dans les usages de l'énergie, de la chaleur en particulier. On devrait ainsi encourager bien davantage le développement du solaire thermique pour le chauffage des bâtiments. Il faut avoir à l'esprit que baisser fortement la consommation d'énergie finale, pratiquement constante en Europe depuis les années 1990, représente un énorme défi et que la consommation des ménages ne compte que pour environ 30 %.

Il est clair que la contribution de la sobriété... et son degré d'acceptabilité sociale dépendront essentiellement de la disponibilité en électricité bas carbone. Le scénario RTE le plus ambitieux, mais encore fondé sur l'actuelle SNBC, table sur une modeste croissance de l'électricité, combinant production des renouvelables (éolien et PV) et du nouveau nucléaire, au prix cependant d'une forte réduction de la consommation d'énergie finale. Il serait donc hautement souhaitable d'arriver à doubler la production d'électricité pour pouvoir fixer un objectif plus réaliste de limitation de la contraction de la consommation en énergie et garantir l'approvisionnement énergétique du secteur industriel.

## Compter sur les seuls renouvelables est une impasse

Dans tous les cas, les EnR, seules, sont absolument incapables de maintenir un système électrique en équilibre et à un niveau de production suffisant pour être compatible avec les objectifs de neutralité carbone, et ce essentiellement pour deux raisons.

### Des ressources insuffisantes en Europe...

Un exemple simple suffit à prendre la mesure du défi : l'énorme parc éolien en construction en mer du Nord (150 GW fournis par 15 000 à 20 000 turbines) produira à terme 550 TWh/an d'électricité, alors que la consommation actuelle est pour l'UE de 3 330 TWh. Utiliser cette électricité pour produire par électrolyse de l'hydrogène permettrait d'en fournir 10 Mt..., soit de l'ordre de la consommation actuelle d'hydrogène

pour les usages non énergétiques. Mais cela ne représenterait que 350 TWh de gaz combustible pour une consommation actuelle de 15 000 TWh de fossiles, dont 4 000 TWh de gaz !

Pour la France, la production totale estimée du photovoltaïque et de l'éolien récupérable est au grand maximum de l'ordre de la consommation électrique actuelle.

D'où pourrions-nous dès lors tirer les énormes quantités d'électricité requises pour faire face à l'augmentation des besoins et, en outre, produire massivement de l'hydrogène vert et des e-fuels ?

### ... et une gestion difficile de l'intermittence et le problème du stockage

Rendons grâce à nos amis allemands pour nous avoir offert une expérience en vraie grandeur dont les résultats sont sans appel.

Quel que soit le taux de pénétration des EnR, il faut impérativement, pour garantir l'équilibre et la stabilité du réseau électrique, maintenir un système pilotable qui soit en mesure à tout instant d'alimenter avec la puissance nécessaire à l'ensemble dudit réseau.

Quid alors du stockage<sup>(4)</sup> des surplus de production des renouvelables pour gérer leur intermittence ? Aucune solution n'est à ce jour en mesure de répondre à ce problème. Ainsi l'hydrogène, tellement en vogue, sera-t-il sans doute nécessaire pour décarboner les procédés industriels, la production de chaleur et les transports, mais certainement il ne s'affirmera pas comme étant prioritairement la solution à ce problème de gestion de la variabilité. Une simple estimation d'ordre de grandeur permet de s'en convaincre : pour alimenter pendant trois jours d'hiver sans vent ni soleil

un réseau électrique français 100 % EnR, il faudrait produire environ 5 TWh d'électricité, ce qui nécessiterait de brûler dans 70 centrales de 1 GWe, 300 000 tonnes d'hydrogène, dont la production antérieure par électrolyse aurait consommé environ 17 TWh<sup>(5)</sup>.

Que penser alors du concept d'autoconsommation ? Un foyer français moyen consomme 4,7 MWh d'électricité par an. En se fondant sur les données de RTE, l'autonomie de ce foyer français pourrait être assurée à partir d'une puissance photovoltaïque de 3 kWc, mais à condition de pouvoir stocker 25 % de sa consommation en inter-saisonnier, soit 1,25 MWh. Ce problème est analogue à celui du dimensionnement d'un réservoir alimenté par des eaux de pluie devant permettre un arrosage régulier et autonome tout au long de l'année. En utilisant un stockage électrochimique, cela nécessiterait 50 batteries de voitures (de 50 kWh nominal avec une capacité réelle de 25 kWh).

Il ne faut donc surtout pas confondre production cumulée sur l'année qui serait égale à la consommation avec une autoconsommation véritable. Il faut toujours pouvoir compter sur un réseau et des infrastructures<sup>(6)</sup>.

Une production d'électricité 100 % EnR en Europe est déjà une pure chimère, et il ne faut pas en outre oublier que 50 % de nos usages énergétiques à décarboner concernent la production de chaleur.

Seul le nucléaire, sur lequel il ne faut pas uniquement compter à titre transitoire mais qui doit être considéré comme une solution d'avenir incontournable, permettra d'assurer à la fois la stabilité du réseau et la nécessaire et forte augmentation de la production de base pour décarboner nos sociétés et notre industrie... et également de réduire notre dépendance énergétique.

<sup>(4)</sup> Voir FONTECAVE M. & GRAND D. (2021), « Les scénarios énergétiques à l'épreuve du stockage des énergies intermittentes », *Comptes Rendus Chimie*, tome 24 n°2, pp. 331-350 (<https://doi.org/10.5802/crchim.115>, <https://comptes-rendus.academie-sciences.fr/chimie/articles/10.5802/crchim.115/>).

<sup>(5)</sup> <https://theconversation.com/debat-lhydrogene-produit-par-les-seules-renouvelables-ni-possible-ni-durable-148663>

<sup>(6)</sup> BONHOMME G. (2022), « Quelle place pour les ingénieurs dans les débats sociétaux ? L'exemple de la transition énergétique », *Centrale-Énergies*, Flash 83, <http://www.centrale-energie.fr/spip.php?article378>

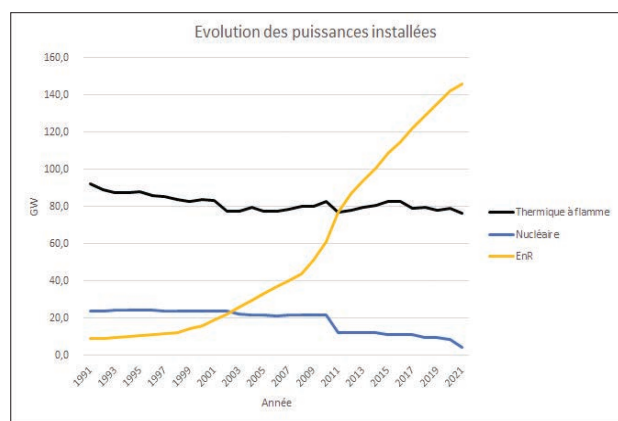


Figure 3a

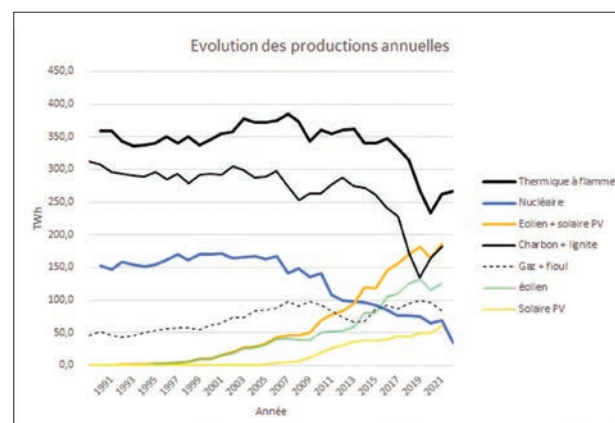


Figure 3b

Figures 3 : Évolution a) des puissances installées et b) des productions en Allemagne depuis 1990.

Observation : On constate, qu'en dépit de la forte croissance des renouvelables, la puissance totale des moyens pilotables (nucléaire et thermique à flamme (gaz, charbon et lignite)) reste quasi constante (autour de 90 GW). Une nette remontée de la production charbon/lignite (flèche rouge), couplée à la sortie du nucléaire, est observée.

## Quel est alors le véritable choix pour l'avenir ?

Faudra-t-il choisir entre un tryptique renouvelables + fossiles + importations massives, ou un binôme renouvelables + nucléaire ?

La fameuse trilogie Sobriété-Efficacité-Renouvelables, qui semble s'être imposée jusqu'au sommet de la Commission européenne, au nom souvent d'arguments économiques simplistes (les coûts du renouvelable baissent...), doit impérativement être complétée par un autre item, le Nucléaire, sinon il n'y aura aucune chance de répondre de façon satisfaisante aux trois conditions posées par le trilemme du World Energy Council<sup>(7)</sup> :

- la sécurité, c'est-à-dire la capacité à répondre à la demande et aux risques de rupture d'approvisionnement ;

- l'équité dans l'accès pour tous aux ressources énergétiques ;
- la durabilité, comprise comme l'impact environnemental minimal.

Il faudra naturellement beaucoup d'efforts en R&D pour conduire à la maturité industrielle les technologies et nouveaux procédés bas-carbone indispensables. C'est le cas en particulier pour le nucléaire qui ne deviendra durable qu'avec le déploiement de réacteurs de 4<sup>e</sup> génération.

---

<sup>(7)</sup> <https://www.worldenergy.org/>