

## Production électrique : les nouvelles unités utilisées pour les énergies renouvelables intermittentes !

Jacques FOOS,  
Professeur Honoraire au Conservatoire National des Arts et Métiers

Face à la flambée des prix de l'énergie, EDF a décidé de mettre fin aux coupures d'électricité pour factures impayées. Avant cette décision, seule la trêve hivernale permettait aux foyers qui éprouvaient des difficultés à régler leurs factures, d'avoir un peu de répit. Il sera désormais systématiquement appliqué par ce fournisseur d'énergie électrique, une limitation de *puissance* garantie égale à 1 000 watts tout au long de l'année et non plus uniquement pendant les 5 mois de la trêve hivernale comme l'avait fixée la Loi de 2008.

On peut considérer que c'est une bonne décision, conforme à un principe de justice sociale : chacun a droit à la lumière comme il a droit au travail ! Cette notion de *puissance* va nous servir de base pour notre démonstration du manque de rigueur lorsqu'on utilise des unités de grandeur imagées pour quantifier l'énergie.

On nous a appris, dès l'école primaire que l'unité de surface est le mètre-carré et celle du volume le mètre-cube. Depuis quelque temps, les journalistes utilisent plutôt pour la première « le stade de football » et pour la seconde « la piscine olympique ».

Ceci, sans doute pour des raisons de communications plus faciles, partant de l'hypothèse que le lecteur ou auditeur saura mieux apprécier ces nouvelles unités que les officielles. Je suis persuadé qu'il n'en est rien car chacun sait estimer un mètre-carré ou un mètre-cube alors que vous pouvez vous livrer à l'exercice de demander autour de vous la surface d'un stade de football ou le volume d'une piscine olympique, celui ou celle qui vous donne la bonne réponse (respectivement 7 140 m<sup>2</sup> et 3 750 m<sup>3</sup>) mérite tout votre respect !

Il en est de même pour quantifier l'énergie. Nous allons nous intéresser ici à des sources de production électrique n'émettant pas – ou très peu – de gaz à effet de serre (réacteurs nucléaires, éoliennes et panneaux photovoltaïques). Toute machine (ou tout système en évolution) produisant de l'énergie est caractérisé par sa puissance : l'énergie *qu'il est capable* de fournir par unité de temps (l'unité est le watt avec ses multiples comme le kilowatt : 1 000 watts, valeur qui a servi d'introduction à cette chronique).

Mais le plus important, est *d'estimer et de connaître l'énergie qu'il produit dans la durée* : il suffit de multiplier sa puissance par le temps pendant lequel la machine a fonctionné et on a la réponse, exprimée le plus souvent en kilowattheures<sup>1</sup>. Ce qui nous intéresse, en effet, n'est pas la puissance mais l'énergie fournie qui, elle, dépend du temps pendant lequel la machine a fonctionné : cela dépend du « facteur de charge », exprimé en pourcents, de 0 à 100%. C'est le temps pendant lequel la machine a fonctionné en équivalent plein régime divisé par le temps total écoulé. Une machine peut fonctionner à régime partiel ou bien être arrêtée pour entretien ou pour approvisionnement en combustible.

Ainsi, quand un être humain s'active, il développe une puissance moyenne de l'ordre de 200 watts (on peut l'appeler « *puissance installée* » donc un potentiel énergétique !) mais s'il reste inactif toute la journée, il n'aura fourni aucune énergie, chacun comprend cela ! Parler de puissance ne veut rien dire ! Il en va de même avec les énergies renouvelables : quand il n'y a pas de vent, l'éolienne, quelle que soit sa puissance ne fournit rien et idem pour l'énergie photovoltaïque quand il fait nuit !

Assez curieusement, alors que l'industrie nucléaire fournit volontiers à la fois sa puissance (exprimée en milliards de watts : gigawatts ou GW) et aussi l'énergie produite en millions de kWh (gigawattheures : GWh) ou milliards de kWh (térawattheures : TWh) car elle n'a pas à rougir de son facteur de charge (autour de 80%, souvent plus), les industries éoliennes ou photovoltaïques évoquent très couramment leur « puissance installée » mais quasiment jamais le nombre de kWh fournis car leur facteur de charge est faible (entre 20 et 25% pour l'éolien et autour de 12% pour le photovoltaïque). En effet, leurs durées de fonctionnement à régime partiel ou carrément à l'arrêt sont longues. On dit que ces énergies sont intermittentes, c'est à dire *qu'elles ne fonctionnent pas toujours quand on veut ni quand on en a besoin*. On a donc inventé une nouvelle unité d'énergie : celle que consomme un foyer. Ainsi, on peut lire qu'un parc de 20 éoliennes développant chacune une puissance égale à 2 MW permet de fournir de l'électricité à 15 000 foyers.

C'est curieux car cela ne veut rien dire, il y a une telle disparité de consommation entre chacun des foyers ! On peut se raccrocher à la consommation moyenne annuelle d'électricité en France, par personne et par an (2 223 kWh) et multiplier par le nombre de personnes en moyenne là aussi, par foyer (2,2 personnes) soit

---

<sup>1</sup> Le kilowattheure (kWh) est une unité d'énergie puisqu'elle correspond à une puissance (en kilowatt) multipliée par un temps (en heure). On voit parfois, dans les médias, cette énergie exprimée en kilowatt / heure par des journalistes qui n'ont donc pas tout compris !

une consommation annuelle par foyer de 4 890 kWh. On peut alors calculer le « facteur de charge » de ces 20 éoliennes (développant une puissance totale installée de 40 MW) : ce parc fournit donc 73,35 millions de kWh/an<sup>2</sup> alors qu'un fonctionnement à 100% aurait produit 350 millions de kWh/an<sup>3</sup>. Le facteur de charge, dans cet exemple, est de 21% (73,35 x 100 / 350).

Ceci revient à dire que sur ce parc de 20 éoliennes, 1 éolienne en moyenne sur 5 fournit de l'énergie, si on en croit les chiffres publiés et qu'on les interprète en nombre de kWh fournis. En fait, on se moque de la puissance électrique d'une source énergétique, ce qui nous importe est l'énergie qu'elle fournit (voir l'exemple de l'être humain cité plus haut !). Et on voit à quel point, la notion d'approvisionnement en électricité d'un certain nombre de foyers est floue !

Les sources de production d'énergies renouvelables (en particulier l'éolien), depuis quelques semaines, sont accusées de tous les maux. J'ai toujours combattu cette stratégie journalistique de l'information en instantané, sans mémoire qui, sous couvert de faire de l'audimat ou vendre du papier, tend à nous faire croire que tout est vrai ou faux, blanc ou noir. En fait, on le sait bien, entre le blanc et le noir, il y a « 50 nuances de gris ». Toutefois le journaliste se doit d'être percutant. C'était vrai avec le nucléaire, en train de passer du noir au blanc alors que les éoliennes et le photovoltaïque prennent le chemin inverse après avoir été « tout blanc ». Quelle que soit la source, la vérité est et sera toujours entre les deux !

Aussi bien dans l'ouvrage rédigé avec Yves de Saint Jacob<sup>4</sup> que dans mon dernier livre<sup>5</sup>, j'ai toujours écrit que la Planète ne s'affranchira d'aucune source d'énergie quelle qu'elle soit, ni d'ailleurs d'aucune ressource naturelle disponible et qu'il fallait en tirer les conséquences. Ainsi, pour le nucléaire, il faut afficher la sûreté comme prioritaire en toute occasion et pour tous pays et pour les sources intermittentes, savoir stocker l'énergie en très grande quantité, ce qu'on ne sait pas faire aujourd'hui. Cela devrait être la grande conclusion des COP, le grand défi à réussir. En évitant les pertes en ligne, on pourrait ainsi installer les éoliennes dans les déserts où le vent est constant et permet d'atteindre les 40% de facteur de charge tout en évitant les pollutions sonore et visuelle et en les rendant beaucoup moins avicides<sup>6</sup>. Même chose pour le photovoltaïque, ce qui permettrait de ne pas couvrir d'immenses surfaces agricoles ou de forêts qu'on déboise par milliers d'hectares d'un coup dans nos pays (apparemment, ceci n'agite aucunement nos écolos qui, en revanche entrent en transe quand on veut couper un sapin à l'occasion des fêtes de Noël !).

Développer toutes les sources d'énergie dans le plus grand respect de l'environnement ne veut pas dire toutefois qu'il ne faut pas s'intéresser à l'aspect financier et comparer les efforts budgétaires réalisés pour installer ces sources non émettrices de gaz à effet de serre : renouvelables intermittents versus nucléaire. Nous ne pouvons faire cette comparaison que sur 20 ans puisque c'est la durée de vie estimée des renouvelables (éolien + photovoltaïque). Les réacteurs nucléaires eux, en revanche, sont construits pour durer au moins le double (certains y sont déjà !) ou le triple de cette durée de 20 ans si on ne les arrête pas pour des raisons politiques comme on vient de le faire à Fessenheim !

Le vent et le soleil sont gratuits, comme toutes les ressources que la Nature met à notre disposition. La Nature ne fait pas payer l'air que l'on respire ni l'eau que l'on peut boire. Ce qui coûte est d'extraire les ressources, de les transporter et de les mettre à disposition des consommateurs. Uniquement pour la France, l'ensemble des contrats signés jusqu'en 2020 pour le développement des sources d'énergie intermittentes tourne autour de 160 milliards d'euros (entre 153 et 172 milliards selon la Commission de Régulation de l'Énergie). Il faut y ajouter entre 46 et 61 milliards pour les nouveaux contrats de la programmation pluriannuelle de l'énergie. Et encore il nous faudrait ajouter les dizaines de milliards pour les futurs parcs éoliens off-shore mais attendons qu'ils produisent des kWh !

Ainsi, grâce à ces investissements faramineux, l'éolien et le photovoltaïque ont produit dans notre pays 344 milliards de kWh (ou 344 TWh) en 21 ans (de 2000 à 2020 ; 264 TWh pour l'éolien et 80 TWh pour le photovoltaïque)<sup>7</sup>.

---

<sup>2</sup> 15 000 x 4 890 kWh = 73 350 000 kWh. D'autres sources indiquent qu'une capacité de 41 GWh à l'année représente la consommation de 8 000 foyers, soit 5 125 kWh par foyer. C'est bien le même ordre de grandeur ! On peut garder à l'esprit qu'un foyer français consomme environ 5 000 kWh en moyenne..

<sup>3</sup> 40 MW = 40 000 kW x 365,25 x 24 (nombre d'heures dans une année soit 8 766) = 350 640 000 kWh.

<sup>4</sup> « *Peut-on sortir du nucléaire ?* » (Éditions Hermann – oct. 2011) *Prix du Forum Atomique Français 2012*.

<sup>5</sup> « *Chroniques du XXI<sup>e</sup> siècle. Regard sur la Société d'aujourd'hui pour préparer efficacement celle de demain.* » (Éditions HDiffusion (mai 2019) : – Paris).

<sup>6</sup> La vitesse en bout de pale d'une éolienne peut dépasser les 400 km/h. Un oiseau qui se prend une pale d'éolienne n'a même plus ses plumes pour pleurer !

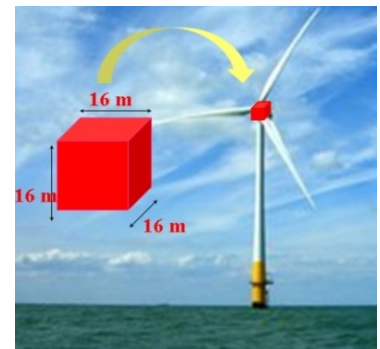
<sup>7</sup> Référence : Agence Internationale de l'Énergie. Je peux fournir à qui le demandera, le fichier Excel indiquant les productions éolienne, photovoltaïque et nucléaire chaque année depuis 2000 en France..

344 milliards de kWh, c'est ce que produisent nos 56 réacteurs nucléaires en 10 mois sur une seule année<sup>8</sup> ! On peut comparer ! Rappelons de plus que le coût de notre parc nucléaire dont la durée de vie est d'ores et déjà bien supérieure à 30 ans a été estimé de 1945 à 2025, à 275 milliards d'euros d'aujourd'hui<sup>9</sup>, c'est-à-dire à peu près la même somme que ce qui est engagé aujourd'hui pour les énergies renouvelables intermittentes prévues fonctionner uniquement sur deux décennies ! On peut objecter que, pour l'éolien et le photovoltaïque, il y a eu une montée en puissance sur ces 21 années, d'une production quasiment nulle en 2000 à 53 TWh en 2021. Maintenant que nous sommes à la capacité maximale obtenue grâce à cet investissement faramineux d'environ 215 milliards d'euros (53 TWh, donc !), on voit aisément que la production annuelle de ces sources intermittentes est équivalente à celle du nucléaire en 1 mois et demi ! Et la production électronucléaire est beaucoup plus fiable car contrôlable, ce qui n'est pas le cas des sources intermittentes qui doivent attendre le bon vouloir du vent ou du soleil !

Certains vont nous dire que, certes, si les éoliennes produisent beaucoup de déchets dont on ne saura pas quoi faire (comme les pales d'éoliennes non recyclables que nous avons tous vu enterrées par centaines « ad vitam aeternam » aux USA, par exemple) et épuisent (ainsi que la production des panneaux photovoltaïques) les métaux rares de la planète, les réacteurs nucléaires ne sont pas en reste et produisent des déchets extrêmement dangereux car hautement radioactifs pour quelques siècles voire milliers d'années pour certains.

C'est vrai mais là encore comparons les volumes : le volume cumulé des déchets de très haute activité (les seuls qui posent vraiment problème) pour tout notre parc nucléaire, depuis le début de la production électronucléaire en France (soit sur 60 ans), est estimé, fin 2021, à 3 950 m<sup>3</sup> (il était de 3 680 m<sup>3</sup> fin 2019, derniers chiffres connus)<sup>10</sup>. Ce volume peut se représenter sous la forme d'un cube de moins de 16 mètres d'arête (15,8 m exactement) ; cela peut sembler extrêmement faible mais c'est tout simplement parce que la France a choisi, depuis le début de la production électronucléaire, de retraiter ses combustibles usés. Ainsi, on ne doit stocker que 35 kg de déchets ultimes par tonne retraitée (soit 3,5% du total) au lieu de stocker la tonne comme le font les Scandinaves par exemple. De plus, les 96,5% restants peuvent servir de nouveaux combustibles, comme les « Mox » ou encore l'uranium dit « de retraitement », ce qui permet une économie conséquente de matière, démarche conforme au développement durable !

Si on compare à l'une des éoliennes les plus puissantes érigées aujourd'hui, avec ses pales de 107 mètres de longueur, voici, à l'échelle, ce que donne ce cube de déchets, pour une seule éolienne, bien sûr (*figure*) ! Et il faut souligner que, si les déchets issus de l'industrie nucléaire vont voir leur radioactivité inéluctablement diminuer, année après année, les autres déchets, ceux que l'on vient d'évoquer plus haut ainsi que tous les déchets chimiques par exemple, sur toute la planète, ont, eux, une durée de vie infinie !



Comparaison après comparaison, pour produire de la lumière à partir d'électricité, entre le nucléaire et les énergies renouvelables intermittentes, « y a pas photon ! » !

*Décembre 2021*

<sup>8</sup> Moyenne calculée sur 21 ans de production électronucléaire. Celle-ci est plus basse depuis la fermeture des deux réacteurs de Fessenheim, ce qui a conduit à maintenir en activité nos centrales à charbon ! Tout ceci probablement dans le respect des accords de Paris de limiter les rejets de gaz à effet de serre !

<sup>9</sup> Rapport très détaillé de la Cour des comptes. Les montants calculés concernent les coûts passés et actuels de la filière électronucléaire. Environ **188 milliards d'euros** ont été dépensés depuis 1945 soit un investissement de 121 milliards d'euros pour la mise en place et la construction de la filière nucléaire française (58 réacteurs pour une puissance totale de 62 510 MW). La recherche a, quant à elle, bénéficié de 55 milliards d'euros auxquels s'ajoutent 12 milliards pour la construction, le fonctionnement et l'arrêt pour des raisons politiques de Superphénix.

Les frais de maintenance et fonctionnement du parc nucléaire ont été estimés à **75 milliards d'euros** depuis le début de son fonctionnement jusqu'en 2025 où, sur la période 2011-2025, ils ont été estimés en moyenne 3,7 milliards d'euros par an. Ces chiffres sont nettement supérieurs à ce qui a été dépensé auparavant (1,5 milliard par an en moyenne depuis les années 2000 à 2010). Cette augmentation inclut les investissements nécessaires pour répondre aux nouvelles exigences « post-Fukushima » de l'ASN (Agence de Sécurité Nucléaire). Il faut enfin ajouter les frais d'approvisionnement en combustible qui sont estimés à **12 milliards d'euros** sur cette même période.

<sup>10</sup> D'après l'inventaire national de l'ANDRA (Agence Nationale de gestion des Déchets Radioactifs). Le volume de ces déchets de Haute Activité (dits *déchets HA*) augmente de 150 m<sup>3</sup> environ par an. Son volume total, fin 2021, avoisine les 4 400 m<sup>3</sup> dont 90% proviennent de l'industrie électronucléaire soit 3 950 m<sup>3</sup>. Les 10% restant ont pour origine la recherche (pour 4%) et la défense (pour 6%). *Tout ça pour ça* : certain(e)s d'entre vous doivent penser, à la lecture de ces chiffres (et après les avoir vérifiés !) que l'on fait beaucoup de bruit depuis des décennies – sans compter les dépenses inhérentes qui se comptent par centaines de millions d'euros – pour pas grand-chose.