

Le kWh mal traité

Première partie : le syndrome de l'énergie primaire

La comparaison entre formes d'énergie constitue un exercice délicat. Certaines formes d'énergie sont disponibles dans la nature : charbon, fuel, pétrole, nucléaire, solaire, d'où leur qualification d'énergies primaires ; d'autres, l'électricité, les carburants ou l'hydrogène, résultent de transformations et sont donc considérées comme des énergies secondaires ou vecteurs énergétiques ; d'autres enfin n'interviennent qu'au stade de l'utilisation, en revêtant différentes formes : mécanique, thermique, électrique, on parle alors d'énergies finales.

Dans la vie courante comme en macroéconomie, il est nécessaire de pouvoir comparer entre elles ces différentes formes d'énergie et d'en tenir une comptabilité. Pour rendre compte de leur utilité collective, la meilleure solution est évidemment de recourir à leurs prix, à la condition que les mécanismes de leur formation soient ceux du marché. Une évaluation faite en euros a l'immense mérite de permettre des comparaisons entre des biens de nature totalement différente. Elle traduit l'intérêt que l'on porte à leur possession ou à leur consommation, quelle qu'en soit leur nature, qu'il s'agisse par exemple de charbon, de gaz, de nucléaire ou de solaire... A service rendu équivalent, les prix permettent de comparer l'efficacité économique de filières alternatives.

Bien entendu, se trouve posé le problème de l'agrégation de flux financiers répartis dans le temps et ceci est particulièrement important dans le domaine de l'énergie où les charges d'investissement sont lourdes et les revenus qui en résultent répartis sur une longue période. La théorie de l'actualisation a apporté à cette question une réponse jugée satisfaisante pendant des décennies, la fixation du taux d'actualisation constituant pour les opérateurs économiques et pour l'Etat en particulier, une décision stratégique importante. Cette approche économique a permis de donner de la rationalité aux décisions très importantes prises en France en matière énergétique à la suite des deux premiers chocs pétroliers.

Il y a cependant également nécessité à comptabiliser l'énergie en termes physiques pour contrôler l'évolution des consommations, apprécier l'effort d'efficacité énergétique accompli, juger du taux d'épuisement des ressources ou quantifier le taux d'indépendance énergétique. Des facteurs de conversion entre formes d'énergie ont donc été mis au point et des structures de bilan énergétique ont été définies afin de pouvoir agréger



JEAN-PIERRE HAUET

les différentes formes d'énergie entre elles. Les pratiques internationales ont été harmonisées au sein de l'Agence Internationale de l'Energie et de l'Eurostat afin de rendre possibles des comparaisons et des synthèses entre pays.

Il n'y a rien de blâmable à cela. Les indicateurs statistiques sont indispensables au suivi et à la comparaison des situations, même s'ils ne sont pas parfaits en eux-mêmes. Leur évolution est généralement plus riche d'enseignements

que la contemplation de leur valeur absolue.

Malheureusement, dans le secteur de l'énergie, la situation n'en est pas restée là et au cours des dernières années, une importance croissante a été donnée à certains indicateurs supposés refléter certains aspects de l'intérêt général.

Cette évolution a résulté de la volonté de prendre en compte des impératifs allant au-delà de la logique économique :

- le développement durable qui concerne le temps long, est venu questionner le bien-fondé de l'actualisation dès lors que l'on s'intéresse à des horizons très éloignés ;
- le souci d'efficacité énergétique (improprement appelé « économies d'énergie »), qui nécessite le recours à une comptabilité de l'énergie ;
- la réduction des émissions de CO₂ liées à la transformation, au transport ou à l'utilisation de l'énergie.

S'est ajouté à cela un effritement de la signification du signal prix dû au fait que des systèmes dirigistes de fixation des prix de certaines formes d'énergie (énergies renouvelables essentiellement) sont venus se télescoper avec les mécanismes de marché en entraînant des dérèglements profonds, au point, par exemple, d'engendrer de façon récurrente des niveaux de prix négatifs pour les kWh électriques. Déboussolés, les prix ont cessé de constituer la référence pertinente et primordiale pour la détermination des comportements et des investissements.

Certains de ces critères para-économiques ont pris une telle importance qu'il a été décidé de les inscrire dans la loi ou le règlement, transformant ainsi des grandeurs conçues pour n'être que de simples indicateurs statistiques en fondements de la politique énergétique. Il s'en est suivi une désoptimisation des comportements et des processus de

¹ Pour apprécier l'impropriété de cette notion, nous renvoyons le lecteur à l'ouvrage « Comprendre l'énergie » publié par l'auteur de cet article aux Editions de l'Harmattan en avril 2014.

décision et donc un coût additionnel pour la collectivité, à une époque où il faudrait faire preuve d'un maximum de rationalité. Cette situation est grave et pernicieuse. Certaines parties prenantes surfent sur la complexité des choses et la logique apparente des critères de décision ainsi mis en place pour convaincre l'opinion du bien-fondé de leurs positions qui ne sont en fait que le reflet d'une appréciation de la situation qui leur est propre.

Nous consacrerons la suite de cet article à deux exemples caractéristiques :

- celui de la comptabilité des énergies en énergie primaire ;
- celui du contenu en CO₂ du kWh électrique.

Le syndrome de l'énergie primaire

La dérive des statistiques

Dès que l'on a cherché à dresser un bilan de la consommation d'énergie au niveau de la nation, la question s'est posée des coefficients d'équivalence à adopter entre les différentes formes d'énergie. C'est ainsi qu'on a trouvé commode de mesurer les consommations ou les ressources en combustibles fossiles en tonnes d'équivalent-charbon ou « tec », puis, de façon plus moderne, en tonnes d'équivalent-pétrole ou « tep ». Ainsi est née une comptabilité en « énergie primaire », concept initialement assimilable à celui d'énergie disponible dans la nature et transformable à différentes fins. Curieusement, on notera que l'acronyme « tep » peut également se lire « tonne d'énergie primaire » et la confusion entre les deux lectures est souvent faite.

Concaténer des formes d'énergies comparables, c'est-à-dire aux caractéristiques voisines et relativement interchangeables, ne pose pas de problème majeur. La mission devient plus délicate lorsqu'il s'agit de formes d'énergie fondamentalement différentes. L'électricité pose ainsi un problème complexe compte tenu de ses spécificités. L'électricité est directement convertible en travail sans génération majeure d'entropie à la différence des combustibles fossiles. Comment peut-on dès lors l'agréger avec eux ? Par ailleurs, l'électricité ne se rencontre pas à l'état natif dans la nature. Elle a résulté historiquement de la transformation de l'énergie hydraulique puis des énergies fossiles dans des centrales électriques. Plus récemment, s'est développée l'électricité d'origine nucléaire puis les énergies renouvelables.

S'agissant de l'énergie hydroélectrique qui rivalisa jusque dans les années 60 avec l'électricité produite par les centrales au charbon², il a paru pendant longtemps satisfaisant de la traiter statistiquement comme cette dernière et donc de l'intégrer dans les bilans en énergie primaire en adoptant un coefficient d'équivalence entre MWh et « tec » égal au ren-

dement moyen des centrales thermiques de l'époque, soit 32,2 %, ce qui conduisait au ratio de 0,4 tec/MWh. Par la suite, le rendement des centrales s'est amélioré et les centrales à fioul sont venues concurrencer les centrales à charbon. Ainsi est né en 1972, le coefficient d'équivalence de 1 MWh = 0,222 tep correspondant à un rendement moyen des centrales de 38,7 % alors que l'équivalence physique est de 1 MWh = 0,086 tep.

Lorsque l'électricité d'origine nucléaire a commencé à se développer à grande échelle, le coefficient de 0,222 a été discuté mais n'a pas été fondamentalement remis en cause. Certains se souviennent que l'une des raisons en était que ce coefficient permettait de faire apparaître dans le bilan énergétique national une croissance rapide de l'énergie nucléaire et donc de réduire significativement le taux de dépendance énergétique.

Mais avec le développement des énergies renouvelables, il est apparu qu'il n'était plus approprié de faire supporter par ces énergies, dans les statistiques, des pertes correspondant à un rendement de 38,7 %. En 2002, la France a décidé de s'aligner sur les conventions préconisées par l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) et adoptées par d'autres organisations internationales dont Eurostat, selon lesquelles dans les statistiques en énergie primaire, toutes les productions d'électricité d'origine renouvelable (à l'exception de la géothermie³) sont comptabilisées selon leur équivalent physique de 1 MWh = 0,086 tep, alors que l'électricité d'origine nucléaire est comptabilisée selon l'équivalence de 1 MWh = 0,260606 tep (rendement supposé de 33,0 %).

Par contre, au niveau de l'emploi final, l'électricité reste, quelle qu'en soit son origine⁴, comptabilisée à son équivalent énergétique physique de 1 MWh = 0,086 tep.

Dans ces conditions apparaissent dans les bilans énergétiques **en énergie primaire** publiés chaque année par l'administration des pertes très importantes au niveau des centrales nucléaires (figure 1).

Cette façon de compter a l'apparence de la logique mais elle est spacieuse. Elle laisse croire que les centrales nucléaires sont seules à être à l'origine de pertes considérables (74,3 Mtep) et qu'il convient par conséquent de s'attacher à les réduire en priorité. Quoi de plus simple dès lors que de chercher à réduire les usages de l'électricité puisque celle-ci est majoritairement d'origine nucléaire et en provenance de centrales dont le rendement est déclaré médiocre ?

En fait les pertes sont localisées tout au long de chacune des chaînes énergétiques ; qu'il s'agisse des pertes résultant du premier principe de la thermodynamique (défaut d'isola-

³ La géothermie est comptabilisée avec un rendement de 10 % lorsqu'elle sert à la production d'électricité.

⁴ Cette origine est évidemment indiscernable, nous y reviendrons à propos du contenu en CO₂ du kWh.

² En 1949, l'énergie hydraulique assurait 60 % de la production d'électricité du pays.

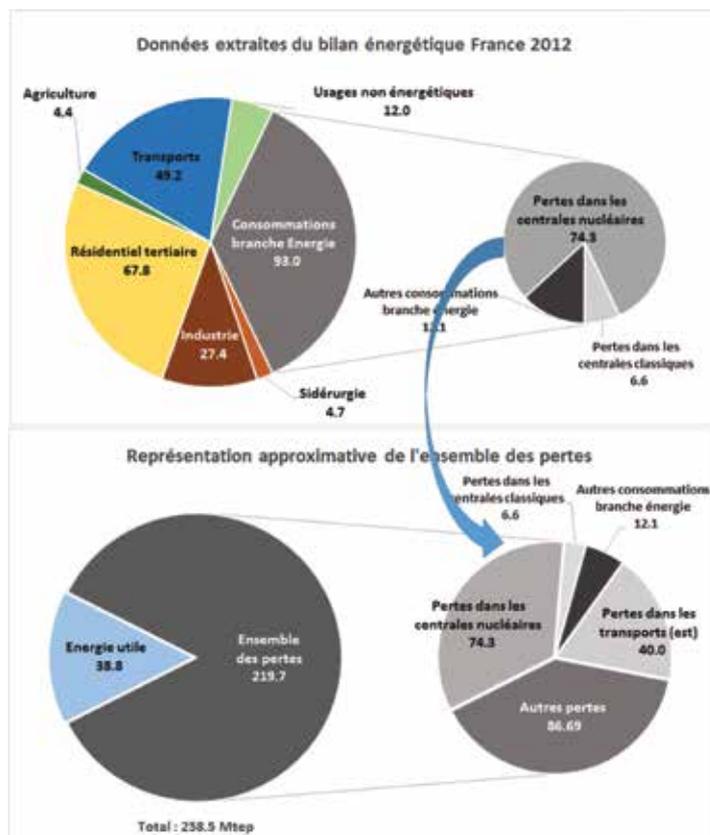


Figure 1 : En haut de figure, apparaît la structure du bilan énergétique officiel 2012 de la France en énergie primaire (en Mtep). On y voit la répartition des 258,5 Mtep d'énergie primaire en fonction de leur emploi incluant 74,3 Mtep de pertes dans les centrales nucléaires. Dans le bas de la figure, apparaît l'ensemble des pertes et leur décomposition approximative, en supposant que l'énergie réellement utile n'excède pas en moyenne 15 % de l'énergie primaire comptabilisée. Les pertes des centrales nucléaires sont repositionnées au sein des pertes des différentes filières énergétiques, notamment aux côtés des 40 Mtep survenant dans le secteur des transports.

tion par exemple) ou de celles découlant du second principe (principe de Carnot). Des études internationales ont montré que, en ordre de grandeur, le covolume incompressible d'énergie indispensable à la réalisation d'un produit ou d'un service donné n'excédait pas, en moyenne, 15 % de l'énergie consommée⁵. Les pertes totales seraient donc de l'ordre de 220 Mtep (figure 2) et trois fois supérieures à celles comptabilisées dans les centrales nucléaires. Mais l'électricité produite dans les centrales thermiques « subit » le principe de Carnot en amont du cycle, de façon centralisée et bien visible. A contrario et pour prendre un exemple patent, les hydrocarbures utilisés dans les transports, dans les moteurs des automobiles notamment, sont également assujettis au principe de Carnot

et avec des rendements beaucoup plus médiocres qui, dans le cas des voitures individuelles, sont de l'ordre de 20 %. Ces pertes, que nous estimons être de l'ordre de 40 Mtep, sont diffuses et se situent en aval de l'orifice des réservoirs. Elles n'apparaissent pas dans le bilan en énergie primaire du pays et restent discrètement immergées dans la rubrique des emplois « transports ». Personne ne songe à les rapprocher des pertes de la filière électrique, alors que le poids des consommations de produits pétroliers dans les transports est un problème fondamental pour notre pays et que l'électricité et les produits pétroliers se trouvent désormais directement en compétition du fait du développement du véhicule électrique et devraient par conséquent être comptabilisés de façon similaire.

⁵ Voir notamment : World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability - United Nations Development Programme (décembre 2000) et Marc Jaccard – Sustainable fossil fuels – Cambridge University press (2005).

On peut se rendre compte du bien-fondé de l'estimation de 15 % d'énergie utile en considérant quelques exemples :

- A l'époque de la bougie, l'éclairage se faisait avec un rendement lumineux de l'ordre de 0,05 %. La lampe à incandescence l'a porté à 1,5 % environ et les LED permettent d'atteindre aujourd'hui 20 %.
- En l'espace d'une vingtaine d'années, les consommations des logements neufs sont passées de 250 kWh/m².an à 50 kWh mais un parc considérable de bâtiments reste à rénover.
- Le rendement thermodynamique des moteurs automobiles est de l'ordre de 20 %.

Lorsque la statistique devient pernicieuse

Ces considérations pourraient paraître constituer des ratiocinations d'actuaire. Le problème est que la notion d'énergie primaire est désormais inscrite dans divers textes, législatifs et réglementaires. L'Administration française a défini pour l'électricité un coefficient forfaitaire énergie primaire/énergie finale de 2,58 qui constitue à présent une sorte de constante universelle que l'on retrouve dans tous les textes officiels, notamment dans les rapports des autorités françaises sur la mise en œuvre par notre pays de la directive européenne 2012/27/UE relative à l'efficacité énergétique.

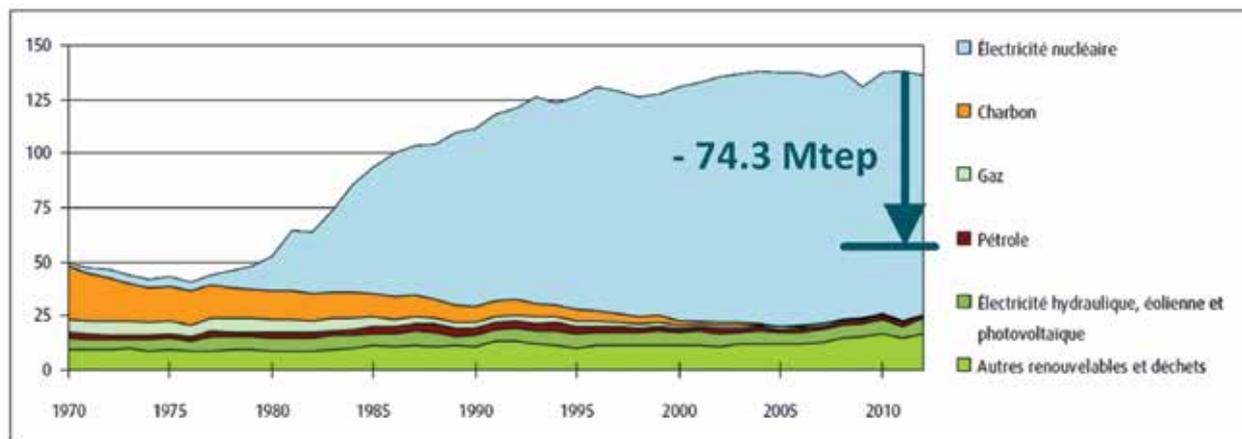


Figure 2 : Effet statistique qu'aurait sur la « production d'énergie primaire » une sortie complète du nucléaire au profit des énergies renouvelables (d'après données 2012 SOeS).

La loi du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, loi dite Grenelle 1, a fixé des objectifs de réduction des consommations d'énergie des bâtiments, neufs et existants, qui ont été formulés en énergie primaire et qui sont repris dans la réglementation thermique des bâtiments, dite RT2012, applicable depuis le 1^{er} janvier 2012. L'objectif de limiter la consommation d'énergie primaire des bâtiments neufs à 50 kWh/m².an⁶ est devenu un tel dogme qu'il vient occulter les préoccupations pourtant essentielles de coûts de construction et d'exploitation et de réduction des émissions de CO₂.

Le Français moyen n'y voit pas malice. On l'a habitué à parler de kWh aussi bien pour le gaz que pour l'électricité, mais on ne lui a pas dit pourquoi les kWh électriques étaient à présent « 2,58 fois plus lourds » que les kWh gaz, dans tous les bilans énergétiques et en particulier dans les diagnostics de performance énergétique des logements dont la présentation est obligatoire lors de toute transaction, vente ou location et qui influent par conséquent sur la valeur patrimoniale de leurs biens.

Avec de telles pratiques, réaliser des économies d'énergie devient aisé :

- au niveau national, imaginons que tout le nucléaire soit remplacé par du solaire ou de l'éolien (cas d'école bien sûr) et voilà 28,6 % d'économies d'énergie primaire réalisées dans les statistiques. Mais où serait le progrès en termes d'utilisation rationnelle de l'énergie et de bénéfice pour la collectivité ? Les Français consommeraient-ils moins d'électricité ou la consommeraient-ils mieux ?
- au niveau microéconomique, les bâtisseurs s'évertuent à présent, pour les logements neufs, à rentrer dans le chas étroit des 50 kWh/m².an ; ce n'est pas facile et c'est coûteux. Mais

⁶ Sous réserve d'ajustements liés à la localisation géographique et à l'altitude.

c'est à l'évidence plus aisé avec le gaz qui n'est pas frappé du coefficient 2,58. Et on constate en effet que plus de 70 % des logements neufs sont à présent chauffés au gaz, gaz que l'on doit importer, de Russie en particulier, et dont la combustion accroît les émissions de CO₂. Quand on sait que la durée de vie des logements est d'environ 100 ans, on peut s'interroger sur la rationalité de ces dispositions.

On ne peut pas gagner sur tous les tableaux...

A partir du moment où l'on sort des chemins de la rationalité, il faut s'attendre à des effets secondaires imprévisibles. Revenons à notre exemple de substitution de l'ensemble du nucléaire par des énergies renouvelables : opération bénéfique sur le plan de ces fameuses économies d'énergie primaire mais qui du fait de la moindre pondération des énergies renouvelables dans le bilan d'ensemble réduirait considérablement ce que le Service statistique du ministère du développement durable appelle improprement « la production d'énergie primaire » (figure 2).

Cet effet statistique :

- d'une part amènerait la contribution des énergies renouvelables (hydraulique, solaire et éolien) à 23,7 % du bilan alors que le nucléaire y figure aujourd'hui pour 45,6 % ;
- d'autre part, ramènerait le taux d'indépendance énergétique de 52,7 % à 29,8 %.

De telles conséquences frôleraient évidemment l'absurdité. Elles relèvent, dira-t-on d'un scénario extrême, mais les évolutions marginales vont dans le même sens. La comptabilité en énergie primaire a paradoxalement un effet minoirant sur l'appréciation de la place des énergies renouvelables dans notre bilan énergétique, ce qui n'est à coup sûr pas l'effet recherché.

L'Administration a vu le problème lorsqu'elle a élaboré la RT2012. L'article 15 de l'arrêté du 26 octobre 2010 relatif

aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux, précise que le coefficient 2,58 s'applique à la fois aux consommations et aux productions d'électricité. Il ne faut pas bien sûr décourager les productions locales mais on peut se demander suivant quelle logique une production d'électricité d'origine photovoltaïque est prise en compte avec un coefficient de 2,58 si elle est locale alors qu'au niveau national un coefficient 0,086 lui est appliqué.

On pourrait d'ailleurs noter que le rendement thermodynamique de la filière photovoltaïque est aujourd'hui de l'ordre de 15 %⁷. On pourrait donc lui imputer 85 % de pertes comme on impute 90 % de pertes à la production d'électricité d'origine géothermale. Absurde dira-t-on à nouveau puisque l'énergie solaire est gratuite et inépuisable. Mais alors pourquoi faire apparaître l'énergie solaire dans le bilan de consommation en énergie primaire ?

On pourrait évoquer bien d'autres exemples d'anomalies et en particulier les calculs que l'on peut faire sur les véhicules électriques et les pompes à chaleur qui conduisent à des résultats étranges⁸. Il est donc temps de mettre un terme à ces errements et de revenir à des pratiques plus rationnelles.

Que faire ?

La solution est en fait assez simple car la directive européenne 2012/27/UE relative à l'efficacité énergétique ouvre la voie. Cette directive laisse aux Etats la latitude d'exprimer leur objectif 2020 d'efficacité énergétique en le fondant soit sur la consommation d'énergie primaire ou finale, soit sur les économies d'énergie primaire ou finale, soit sur l'intensité énergétique, et en tenant compte du fait qu'en 2020, la consommation d'énergie de l'Union ne doit pas dépasser 1474 Mtep d'énergie primaire ou 1 078 Mtep d'énergie finale.

La France peut donc renoncer au critère désuet et trompeur de l'énergie primaire et opter pour un encadrement réglementaire fondé sur deux critères :

⁷ Le rendement en laboratoire des meilleures cellules est actuellement de 44 %, encore loin du rendement maximal de Carnot qui est de l'ordre de 95 %.

⁸ Voir ouvrage cité.

- l'énergie finale consommée, critère qui permet de mesurer et de promouvoir les efforts d'efficacité énergétique en matière d'utilisation de l'énergie ;
- Les émissions de CO₂, critère complémentaire du premier qui permet d'orienter les choix vers les sources d'énergie primaire les moins émettrices et donc de se dégager des énergies fossiles.

Bien entendu, ces critères exprimés en termes physiques ne devraient être conçus que comme des critères secondaires destinés à accompagner et à compléter les effets du critère principal qui doit rester l'efficacité économique. En particulier, s'il était possible d'établir un prix du CO₂ qui soit à la hauteur des objectifs poursuivis en matière de réduction des émissions, il suffirait, dans les domaines où un tel prix s'appliquerait, de laisser jouer les mécanismes économiques qui intégreraient spontanément le facteur carbone parmi les variables de décision. Une pression réglementaire additionnelle pourrait d'ailleurs porter préjudice à l'établissement par le marché d'un prix du carbone convenable puisque le respect des objectifs découlerait du respect des standards réglementaires sans qu'il soit nécessaire de faire appel à une incitation par les prix.

Mais nous n'en sommes pas là : le marché européen du carbone est durablement déprimé et n'intéresse en outre que 45 % des émissions dans les pays de l'Union. Il est donc justifié, au moins jusqu'en 2020 de formuler les politiques publiques de l'énergie autour des deux critères fondamentaux de l'énergie finale et des émissions de CO₂, le décompte des consommations d'énergie primaire pouvant être conservé en tant que simple indicateur statistique, tout particulièrement pour le suivi des consommations d'énergie fossile.

Bien entendu, la prise en compte des émissions de CO₂ comme facteur directeur de la politique énergétique pose le problème des kWh électriques et de leur contenu en CO₂. Ce sujet fait, comme l'énergie primaire, l'objet de controverses qui ne sont pas dénuées d'arrière-pensées. Nous analyserons la situation dans le deuxième chapitre de ce « Gros plan sur ... » qui sera publié dans le N° 2014-5 de la revue. ■

Jean-Pierre Hauet est ancien rapporteur général de la Commission de l'Energie du Plan. Il a dirigé les Laboratoires de Marcoussis du groupe Alcatel-Alsthom et a été Chief Technology Officer du Groupe ALSTOM. Il est membre émérite de la SEE et président du comité éditorial de la REE. Il est l'auteur du livre « Comprendre l'énergie – Pour une transition énergétique responsable » paru aux éditions L'Harmattan en avril 2014.