

Électricité nucléaire et consommation d'énergie primaire et finale

L'électricité nucléaire correspond à environ 40 % de la consommation d'énergie primaire, alors que l'électricité dans son ensemble représente 23 % de la consommation d'énergie finale. L'explication de cet apparent paradoxe repose sur deux éléments méthodologiques :

- par définition, afin d'éviter les « doubles comptes », la consommation d'énergie primaire ne comprend pas l'électricité obtenue par transformation d'une autre énergie comptabilisée, comme le gaz ou le pétrole. Elle comprend donc uniquement l'électricité d'origine nucléaire, hydraulique, éolienne, photovoltaïque et géothermique ; par contre, la consommation d'énergie finale prend en compte l'ensemble de l'électricité consommée, y compris celle d'origine thermique classique ;
- par convention harmonisée au niveau international, les coefficients utilisés pour passer des MWh électriques aux tep peuvent différer en fonction de deux éléments : la filière de production électrique et la nature du kWh considéré, selon qu'il est produit ou consommé.

La coexistence de différents concepts et définitions se justifie par les différents usages que l'on peut en faire. Les résultats des calculs qui peuvent être effectués sur la base de définitions ou de coefficients d'équivalence différents ne sont donc pas immédiatement comparables.

1) Bilan énergétique de la France : définitions et concepts

La principale difficulté de compréhension d'un bilan énergétique d'un pays réside dans le fait que toutes les énergies sont exprimées dans une même unité, la « tonne d'équivalent pétrole » (tep¹). Cette pratique est inspirée de celle des instituts nationaux de statistiques pour construire les « Tableaux Entrées-Sorties » de la Comptabilité nationale exprimés en monnaie courante ou constante, quel que soit le secteur d'activité. Cependant, l'unité monétaire n'est pas adaptée pour procéder à des analyses indépendantes des « effets prix ». Or quoi de commun entre un boulet de charbon, un baril de pétrole, une bouteille de gaz, une bûche de bois ou un kWh d'électricité ? Sans parler des différentes techniques de production (extraction du sol, conversion par une centrale électrique thermique, énergie éolienne, hydraulique, nucléaire, etc.), de transport (par réseau dans des lignes électriques, des oléoducs ou des gazoducs, par moyen individuel tel que bateau, camion, etc.), de distribution et de consommation.

Le bilan énergétique d'un pays se présente en deux parties : un « haut de bilan » qui rassemble l'approvisionnement énergétique national (production primaire, solde importateur, déstockage) et un « bas de bilan » qui détaille les différentes formes de consommation, par produit énergétique et par secteur d'activité (industrie, transports, etc.).

Les énergéticiens considèrent que le point commun à mettre en évidence, par le choix de l'unité de compte énergétique, est l'énergie qui peut être « obtenue » à partir du produit considéré, que ce soit le charbon, le pétrole, le gaz, l'électricité et diverses énergies renouvelables thermiques (bois, déchets, biogaz, biocarburants, etc.). Il est alors indispensable de définir au préalable la terminologie, en distinguant :

- **l'énergie primaire**, qui est extraite du sol ou issue d'une centrale nucléaire ou hydraulique,
- **l'énergie secondaire**, issue de la conversion sous une forme utilisable d'une énergie primaire, par exemple l'électricité d'origine thermique classique ou les produits pétroliers sortis de raffinerie,
- **l'énergie finale**, qui est consommée dans un équipement ou une installation qui la « dégrade » définitivement, comme une ampoule électrique, un moteur d'automobile, une chaudière, un climatiseur, etc.

¹ L'usage du joule (J) est plus rare, bien qu'il soit l'unité énergétique du Système international d'unités.

- **l'énergie utile**, qui est réellement nécessaire pour le consommateur (c-à-d le produit de l'énergie finale disponible par le rendement de l'équipement).

Dans la cascade des transformations de l'énergie, il y a des pertes à chaque étape et l'énergie utile nécessaire est inférieure à l'énergie finale consommée qui est elle-même inférieure à l'énergie primaire employée. De même l'énergie secondaire produite à partir d'une énergie primaire est inférieure à celle-ci en raison du rendement de conversion (ainsi, pour une centrale thermique classique, le rendement de Carnot dépasse-t-il rarement 40 %).

Lorsqu'on se pose la question de l'agrégation des formes d'énergie, le « *coefficient d'équivalence* » à utiliser est fortement tributaire du niveau d'énergie (primaire, secondaire, final, utile) auquel on veut se placer. Une convention est donc nécessaire. Elle consiste, le plus souvent, à choisir entre « *équivalence à la production* » et « *équivalence à la consommation* » : plus précisément, pour l'électricité, 1 kWh obtenu à partir d'une prise de courant doit-il être comparé à la quantité de fioul qu'il a fallu pour le produire dans une centrale ou à la quantité de chaleur « contenue » qu'il peut dissiper par « effet Joule » dans une résistance électrique branchée à la prise ? Les deux principes sont légitimes et effectivement utilisés par les experts selon les objectifs qu'ils se fixent. Le premier sera particulièrement adapté à une analyse en termes de substitution d'énergies primaires, alors que le second se prêtera mieux à des comparaisons entre secteurs d'activité pour évaluer leurs efforts en matière d'efficacité énergétique ou de substitution.

La méthode acceptée au niveau international (Agence Internationale de l'Énergie, Commission européenne, ONU) conduit à distinguer trois cas :

1. l'électricité produite par une centrale **nucléaire** est comptabilisée selon la méthode de « *l'équivalent primaire à la production* », avec un rendement théorique de conversion des installations égal à 33 % ; le coefficient de substitution est donc $0,086/0,33 = 0,260606\dots$ tep/MWh ;
2. l'électricité produite par une centrale à **géothermie** est aussi comptabilisée selon la méthode de « *l'équivalent primaire à la production* », mais avec un rendement théorique de conversion des installations égal à 10 % ; le coefficient de substitution est donc $0,086/0,10 = 0,86$ tep/MWh ;
3. toutes les **autres formes d'électricité** (production par une centrale thermique classique, hydraulique, éolienne, marémotrice, photovoltaïque, etc., échanges avec l'étranger, consommation) sont comptabilisées selon la méthode du « *contenu énergétique à la consommation* », avec le coefficient 0,086 tep/MWh.

2) Spécificités de l'électricité

La **production primaire d'électricité** est un concept délicat dans la mesure où l'électricité n'est pas disponible à l'état naturel. Il s'agit d'une convention qui la limite à l'électro-nucléaire (440 TWh en 2007), l'hydraulique et marémotrice (64 TWh), l'éolien, le photovoltaïque et la géothermie (4 TWh), soit un total de 508 TWh. Dans le Bilan énergétique de la France, il s'agit de productions *brutes*, c-à-d qui comptabilisent tout ce qui est produit, y compris la consommation des auxiliaires et des transformateurs des centrales (5 à 6 % pour le thermique, 1% environ pour l'hydraulique).

Pour obtenir la production totale brute d'électricité de la France, soit 570 TWh en 2007, il faut sommer les productions primaires et la production d'électricité thermique (y compris la production d'électricité des raffineries). La part du nucléaire dans cette production s'élève à 77 %. En ajoutant les importations (11 TWh) et en retranchant les exportations (68 TWh), on obtient les **disponibilités (brutes) en électricité** (ou **consommation intérieure brute d'électricité**), qui correspondent à la notion de ressources, soit 513 TWh.

$$\text{Disponibilités} = \sum \text{productions brutes} + \text{importations} - \text{exportations}$$

La partie **consommation** est un peu plus complexe, notamment à cause du fait que, pour éviter des « doubles comptes », il faut distinguer **consommation primaire d'électricité** (451 TWh, sans correction climatique) et **consommation finale d'électricité** (427 TWh, sans correction climatique), la différence étant due aux consommations internes de la branche énergie (fioul, gaz charbon dans les centrales thermiques) et aux pertes.

Les consommations internes d'électricité sont classées en deux catégories :

- **usages internes (1)** (de l'ordre de 18 TWh en 2007) : ce sont les usages internes au sens propre. Ils comprennent la consommation d'électricité de la branche, notamment **Eurodif** (l'enrichissement d'uranium est gros consommateur), mais aussi la consommation d'électricité des autres énergéticiens. Il ne comprend **pas** la consommation des raffineries, et **pas** non plus la consommation de « eau et chauffage urbain ».
- **usages internes (2)** (de l'ordre de 33 TWh) : ce sont les consommations directement liées à la production d'électricité. Ce chiffre comprend donc la consommation des auxiliaires et des transformateurs des **centrales** ; mais aussi les consommations pour le **pompage**.

Les pertes d'électricité sont de l'ordre de 32 TWh. Afin d'éviter toute confusion, ce terme ne devrait être utilisé que pour désigner les **pertes de réseau** (pertes en ligne et pertes de transformation), même si les *usages internes (2)* comprennent aussi une petite partie de pertes (que l'on devrait peut-être appeler *pertes du producteur*, par opposition aux pertes du réseau).

Conso. branche énergie =	$\left\{ \begin{array}{ll} \text{usages internes (1) = Eurodif + autres} & (18 \text{ TWh}) \\ + \text{usages internes (2) = auxiliaires + pompages} & (33 \text{ TWh}) \\ + \text{pertes en ligne et ajustement} & (32 \text{ TWh}) \\ + \text{consommation des raffineries} & (4 \text{ TWh}) \end{array} \right.$
--------------------------	--

Si on retire ces consommations de la branche énergie (86 TWh) aux disponibilités (brutes) précitées (513 TWh), on obtient la **consommation finale énergétique**, non corrigée du climat, soit 427 TWh. On utilise aussi couramment le concept d'**énergie appelée**, ou **consommation intérieure totale**, égale à Disponibilités (brutes) – Usages internes (2), soit 480 TWh (non corrigée du climat).

Ou encore :

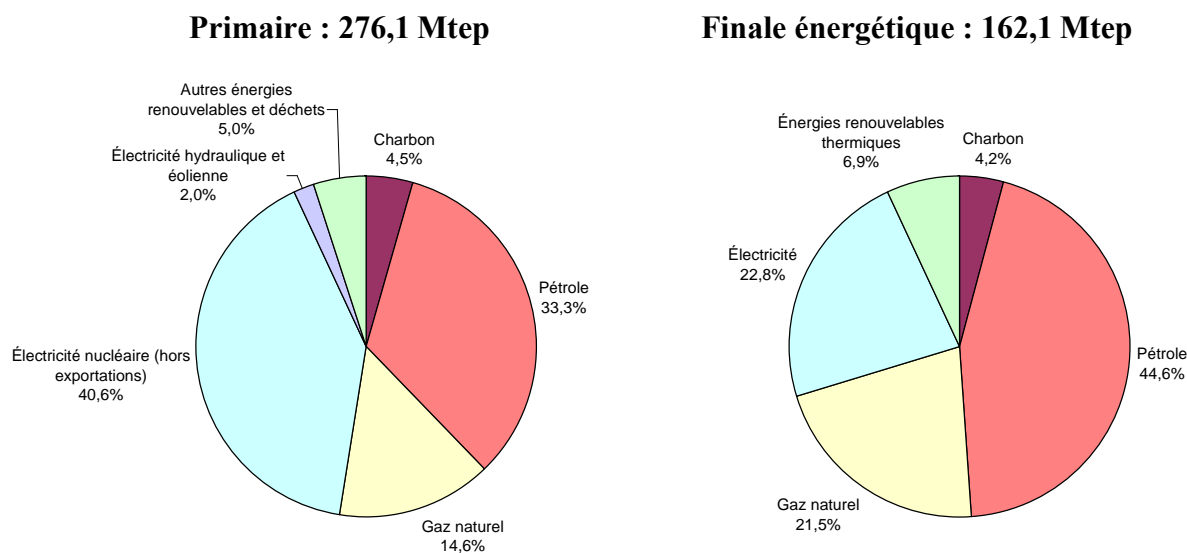
$E \text{ Appelée} = \sum \text{ productions nettes} + \text{import} - \text{export} - \text{pompage}$
--

3) Comparaison de l'électricité avec les autres énergies, primaires et finales

Lorsqu'on représente le « mix » énergétique primaire de la France, une difficulté provient du solde importateur d'électricité qui, pour de nombreux pays, est positif et représente une ressource primaire, mais qui, pour la France, est négatif et égal à -4,9 Mtep (équivalent à 57 TWh selon le coefficient précité de 0,086 tep/MWh), soit environ 2 % de la consommation d'énergie primaire. Pour simplifier, on considère que la totalité de ces exportations sont d'origine nucléaire et on les retire de la part correspondante du « mix » énergétique. On trouve ainsi pour l'électricité nucléaire une part de marché égale à 40 % de l'énergie primaire consommée en 2007.

Du fait, notamment, de l'application d'un coefficient d'équivalence en tep plus important au niveau primaire que final, le poids de l'électricité dans le « mix » énergétique final est nettement inférieur et s'élève à 23 %. De façon abusive, en considérant qu'environ 78 % de cette électricité est d'origine nucléaire, on pourrait dire que le nucléaire « compte pour 18 % » du « mix » énergétique final. Cependant cette comparaison n'a pas plus de sens que de comparer du pétrole brut avec du gaz naturel, le premier étant une énergie inutilisable avant transformation dans une raffinerie, alors que le second est quasiment utilisable en l'état.

De fait, la comptabilité de l'énergie au sens global, toutes énergies confondues, n'est facile à comprendre qu'en traitant séparément les aspects relevant de l'énergie primaire (sécurité d'approvisionnement, émissions de CO₂, etc.) et ceux relevant de l'énergie finale (efficacité énergétique, substitutions entre énergie). Le passage entre les deux niveaux, qui est cependant nécessaire pour bien comprendre la situation énergétique, demande des précautions et des explications en fonction de l'analyse envisagée.



Consommation d'énergie primaire et consommation énergétique finale en France

- [1] Bilan de l'énergie de la France 2007 (DGEMP-Observatoire de l'énergie, téléchargeable sur le site Internet www.industrie.gouv.fr/energie, sélectionner « Les statistiques sur l'énergie/Les statistiques toutes énergies »).
- [2] Scénario énergétique de référence à caractère tendanciel à 2030 pour la France (DGEMP-Observatoire de l'énergie, téléchargeable sur le site Internet www.industrie.gouv.fr/energie, sélectionner « Prospective énergétique »).
- [3] L'électricité en France en 2007 : une analyse statistique. Juin 2008.
- [4] Électricité et politique énergétique : spécificités françaises et enjeux dans le cadre européen. Juillet 2007.