

C'EST L'ÉNERGIE FINALE ... (AIR CONNU)

Jean-Luc SALANAVE

Résumé :

Il est temps d'adapter les indicateurs énergétiques à la transition écologique du XXIème siècle.

Après le cheval-vapeur, devenu désuet quand les véhicules à hydrocarbures ont détrôné les diligences, c'est aujourd'hui le tour de la TEP (tonne d'équivalent pétrole), référence des statistiques énergétiques internationales depuis 35 ans, de s'avérer inadaptée aux énergies modernes renouvelables, durables et non-carbonées.



Mais, plus important, il y a une autre notion dont nous mettons ici en cause la pertinence écologique : celle d'énergie primaire.

Elle fut conçue, à l'origine, pour rendre compte des rendements imparfaits des processus de transformation des énergies fossiles, dites primaires, en énergie finale (thermique, mécanique, électrique, ...), celle mise à la disposition du consommateur.

Or, aujourd'hui, sont apparus des rendements d'une tout autre nature que les rendements thermodynamiques des énergies fossiles en déclin : ce sont les rendements aérodynamiques (des éoliennes), ou photoniques (des capteurs solaires) ou nucléaires (de l'uranium).

Afin de prolonger l'usage bien ancré du concept d'énergie primaire adapté aux fossiles, les énergies modernes ont nécessité l'adoption de nouveaux coefficients artificiels de conversion (primaire/finale), souvent arbitraires, parfois complexes et trompeurs, ou délibérément erronés par souci de simplification.

Ces conventions artificielles de conversion d'énergie finale en énergie primaire sont malheureusement parfois responsables d'incohérences dommageables au climat et à la préservation des ressources naturelles.

Après avoir analysé ses inconvénients et ses effets contre-productifs, le présent article propose d'abandonner l'énergie primaire comme indicateur de la transition énergétique durable appelée par l'Accord de Paris et la COP 21, et de confirmer la priorité de trois critères essentiels :

- (i) la sobriété énergétique, basée sur la maîtrise de la consommation d'énergie finale,
- (ii) la durabilité des ressources naturelles (certaines étant inépuisables comme le soleil ou le vent, d'autres abondantes comme l'hydraulique ou l'uranium, d'autres limitées comme les combustibles fossiles, les terres rares ou certains métaux de nos capteurs solaires, éoliennes ou batteries électriques),
- (iii) l'empreinte carbone de chaque consommation d'énergie finale.

L'énergie est une grandeur physique à la fois simple et complexe, indispensable à la vie. Étymologiquement, c'est tout simplement ce qui permet d'agir. Au sens physique, l'énergie caractérise la capacité à modifier un état, à produire un travail entraînant du mouvement, de la lumière, de la chaleur ... ou encore de l'information, de l'ordre ou une diminution de l'entropie.

Les scientifiques mesurent l'énergie en **joule** (à ne pas confondre avec la puissance en watt, ou joule par seconde), ou souvent en **wattheure** (3600 joules). Depuis plusieurs décennies les industriels et les économistes mesurent aussi l'énergie en **tonne d'équivalent pétrole** (TEP¹). Cette dernière unité fut justifiée par la prédominance des énergies fossiles (charbon, pétrole,

¹ TEP (source INSEE): la tonne d'équivalent pétrole représente la quantité moyenne d'énergie contenue dans une tonne de pétrole brut, soit 41868 mégajoules. Selon les conventions internationales, une TEP équivaut par exemple à 1 616 kg de houille, 1 069 m³ de gaz d'Algérie ou 954 kg d'essence moteur. Pour l'électricité, 1 TEP vaut 11,6 MWh.

gaz) dans le développement des sociétés humaines et la révolution industrielle qui a largement apporté progrès et bien-être. La TEP est encore largement utilisée pour exprimer les statistiques énergétiques mondiales.

Depuis quelques années, compte tenu de la raréfaction et du déclin des combustibles fossiles et de leur remplacement par des énergies durables comme l'hydraulique, le nucléaire, la biomasse, l'éolien, le solaire ou la géothermie, la pertinence de la TEP comme unité énergétique de référence pose question. Elle est par ailleurs mal adaptée à un vecteur énergétique plébiscité dans le monde entier pour ses usages présents et futurs: **l'électricité** (plutôt mesurée en **kilowattheures**).



On ne peut parler d'énergie sans parler de rendement énergétique. **L'énergie finale**² est celle mise en œuvre par l'utilisateur final (ou le consommateur). Une **énergie primaire**³ a été nécessaire pour produire cette énergie finale et les pertes dans ses transformations intermédiaires et son transport.

Le rapport énergie primaire sur énergie finale s'appelle **coefficient de conversion en énergie primaire**. Par multiplication il permet de passer de l'énergie finale à une énergie primaire qui, à la différence de la première, n'est pas une grandeur physique exacte, mais une grandeur arbitraire, issue d'un calcul conventionnel, censée représenter tout ou partie de l'énergie contenue dans la source concernée.

Certains se souviennent des notions de pouvoir calorifique inférieur (PCI) et supérieur (PCS) du gaz qui avaient conduit à des rendements supérieurs à 100% (ce qui n'a pas de sens) lorsqu'on a su récupérer la chaleur latente finale sur les premières chaudières à condensation.

La définition de cette énergie primaire varie ainsi avec chaque source d'énergie (chimique, thermique, mécanique, gravitationnelle, hydrodynamique, aérodynamique, lumineuse), ainsi qu'avec les divers rendements de transformation et d'acheminement qu'on choisit (ou pas) de prendre en compte jusqu'à la fourniture de l'énergie finale à l'utilisateur.

Les combustibles fossiles comme le **gaz, le pétrole et le charbon (ou le lignite)** sont des sources d'énergies **qualifiées de primaires** car elles sont disponibles directement dans la nature. Lorsque ces combustibles sont brûlés tels quels par le consommateur final leur coefficient de conversion est conventionnellement fixé à 1 (c'est bien sûr une erreur, qui revient à négliger en amont les pertes en énergies d'extraction, de raffinage et d'acheminement et en aval les pertes de la chaudière).

L'électricité n'est pas une énergie primaire : elle est obtenue par transformation de ressources naturelles par des centrales de production (fossiles, nucléaires, hydrauliques, ...), ou des capteurs photovoltaïques ou des éoliennes, avec un rendement (souvent inférieur à 40%), qui varie en fonction du combustible ou de la ressource primaire. Le **coefficient de conversion de l'électricité en énergie primaire** est donc fonction de chaque mode de production et d'acheminement de l'électricité. À l'échelle d'un pays (ou de l'Europe) le coefficient de conversion moyen de l'électricité en énergie primaire est généralement calculé sur la base du bouquet global de production d'électricité.

C'est là que les choses se compliquent ! C'est précisément sur ces coefficients de conversion que se déchirent les partisans des renouvelables, du gaz, du pétrole ou du nucléaire.

² Énergie finale (source INSEE) : l'énergie finale ou disponible est l'énergie livrée au consommateur pour sa consommation finale (essence à la pompe, électricité au foyer,...).

³ Énergie primaire (source INSEE) : l'énergie primaire est l'ensemble des produits énergétiques non transformés, exploités directement ou importés. Ce sont principalement le pétrole brut, les schistes bitumineux, le gaz naturel, les combustibles minéraux solides, la biomasse, le rayonnement solaire, l'énergie hydraulique, l'énergie du vent, la géothermie et l'énergie tirée de la fission de l'uranium.

En effet, si les unités obsolètes, mais pratiques et parlantes, que sont le cheval vapeur et la TEP sont bien des unités exactes et incontestables (736 watts pour le cheval vapeur, 41868 mégajoule pour la TEP), en revanche il n'en va pas de même de l'énergie primaire. Cette dernière n'est pas une grandeur exacte mais le résultat d'un calcul arbitraire, dépendant de la définition que l'on met derrière le mot « primaire », variable selon le but recherché, qu'il soit énergétique, écologique ou politique.

Afin d'illustrer quelques problématiques, voici des exemples de coefficients de conversion en énergie primaire utilisés actuellement pour l'**électricité**.

Le coefficient 2,58

La **France** utilise, depuis sa **RT2000** (Règlementation Thermique relative à la performance énergétique des bâtiments), un coefficient arbitraire de conversion de l'électricité en énergie primaire de **2,58**. Ce chiffre provient d'un rendement conventionnel des anciennes centrales thermiques à flamme de 43,7% amputé de 5% de pertes d'acheminement, soit 38,7% de rendement net (avec cette méthode le coefficient de conversion de l'électricité en énergie primaire est donc de $1/0,387 = 2,58$). Ce coefficient totalement arbitraire est **toujours en vigueur aujourd'hui dans la RT2012**, malgré la quasi disparition du thermique fossile à flamme dans notre bouquet électrique.

L'**Europe** a pour sa part retenu un coefficient de conversion de l'électricité en énergie primaire moins « sévère » de **2,5**; la France a préféré 2,58, peut-être par souci de pénaliser le succès jugé « honteux » de son électricité nucléaire, ou, plus probablement, pour « gonfler » artificiellement son taux d'indépendance énergétique (voir plus loin).

Les autorités européennes envisagent aujourd'hui de revoir à la baisse leur coefficient de 2,5 pour le rapprocher de la valeur 2 afin de tenir compte des développements récents du bouquet électrique de l'Union. D'ailleurs cette démarche soulève un autre casse-tête qui divise les experts : faut-il baser les nouveaux coefficients de conversion sur les performances énergétiques présentes ou prospectives ?

Le **nucléaire** possède en toute rigueur un rendement inférieur aux filières thermiques classiques. L'AIE (Agence Internationale de l'Energie) l'établit conventionnellement à **33%**. Ce rendement est moins bon que celui des centrales fossiles car les températures sont moins élevées dans les centrales nucléaires (autour de 300°C) que dans les centrales à flamme (où la vapeur d'eau peut dépasser 500°C). Si l'on appliquait au mix électrique actuel de la France la méthode de calcul retenue par la Commission européenne sur la base du rendement AIE, la valeur du coefficient de conversion moyen de notre électricité serait proche de 3 (contre 2,58) !

Certains plaident pour que le coefficient de conversion de l'électricité nucléaire soit bien plus proche de 1. Certes cela reviendrait à retenir un rendement plus élevé que 33%, voire proche des 100% souvent retenus pour d'autres sources durables comme le solaire photovoltaïque ou l'éolien. Pourtant, pour ces renouvelables, le rendement réel de conversion de la ressource naturelle en électricité est moins bon que celui du nucléaire, mais on les gratifie couramment d'un rendement parfait de 100% (coefficient de conversion de 1) au motif que la ressource naturelle, soleil ou vent, est gratuite (alors qu'elle n'est certes que « quasi gratuite » pour le nucléaire, l'uranium naturel représentant en effet moins de 5% du coût de l'électricité nucléaire).

La réalité est que les capteurs **photovoltaïques** installés récemment n'ont qu'un **rendement réel de conversion inférieur à 20%** (pour les meilleurs; plutôt 10% pour ceux installés ces 10 dernières années); de même, le rendement des **éoliennes** modernes ne **dépasse pas 30% en moyenne** (même s'il peut dépasser 40% quand le vent est optimal entre 10 et 15 mètres par seconde) ; et si la limite physique « de Betz » de 59% laisse de la marge aux chercheurs il faudra toujours lui retirer les pertes liées à la conversion de l'énergie aérodynamique en énergie

mécanique puis en électricité. Rappelons que ces rendements n'ont rien à voir avec les facteurs de charge liés à l'intermittence (en France environ 13% pour le photovoltaïque et 23% pour l'éolien terrestre) qui affectent eux aussi la production électrique des renouvelables.

Bref, les **coefficients de conversion** imposés par le concept **d'énergie primaire** ne sont pas une « science exacte », et les considérations qui précèdent expliquent pourquoi ils pourraient continuer à être manipulés pour favoriser les renouvelables et défavoriser le nucléaire (ou peut-être l'inverse un jour) tant qu'on n'aura pas abandonné cette énergie primaire artificielle et conçue à l'origine pour les combustibles fossiles.

D'autant que certaines références réglementaires à l'énergie primaire ont parfois été manipulées au point de causer des biais écologiquement dommageables, comme on va le voir.

Le chauffage électrique en France

Largement préconisé jusqu'à la RT 2005, le **chauffage électrique** a par la suite été fortement pénalisés par la **RT 2012** qui a fixé une valeur maximale de consommation d'énergie pour les bâtiments neufs à **50kWh_{EP}/m²_{SHON}/an⁴** (EP signifiant énergie primaire). Or, si on se place du point de vue des économies d'énergie et de l'amélioration de l'isolation thermique de notre habitat, ce qui importe c'est bien d'abaisser la consommation finale de chauffage.



Pourtant, si on applique les coefficients de conversion en énergie primaire en vigueur, il se trouve que 50kWh d'énergie primaire de chauffage au gaz (ou au fuel) égalent 50kWh d'énergie finale (coefficient arbitraire de 1 en France) ; tandis que **50kWh d'énergie primaire** de chauffage électrique (solaire, éolien, hydraulique ou nucléaire) **égalent seulement 19kWh d'énergie finale** (50 divisé par 2,58), ce qui disqualifie le chauffage électrique, même pour une maison dont l'excellence de l'isolation thermique égalerait celle du chauffage gaz !

La stupidité environnementale de cette règle saute d'autant plus aux yeux qu'en France l'électricité est écologiquement vertueuse car dé-carbonée à plus de 90% (nucléaire 75% + hydraulique 12% + autres renouvelables 6% = 93%), tandis que le chauffage au gaz, pourtant encouragé par la RT2012, rejette 100% de son CO2 dans l'atmosphère !

Comment retrouver la confiance dans l'ADEME, sans craindre que cette Agence, capable de ce genre de distorsion, ne préconise un jour qu'à l'ère de l'électricité dé-carbonée, la France, seule contre tous et contre le sens de l'histoire, n'impose que ses futures voitures électriques fonctionnent plutôt... au gaz (comme pour le nouvel habitat de la RT2012) !

La qualité d'isolation thermique d'une maison est une grandeur physique. **Elle ne dépend pas de la façon dont on la chauffe**, mais uniquement de la déperdition d'énergie pour une différence de température donnée entre intérieur et extérieur. Il est choquant de voir excuser, sous prétexte que le chauffage est au gaz, une mauvaise isolation qu'on s'interdit pour le chauffage électrique.

D'autant que cette RT2012 est deux fois dommageable : (i) en acceptant des **déperditions thermiques**, et (ii) en favorisant une **source de chaleur dépassée et polluante comme le gaz** ! Notre objectif doit être d'éviter le gaspillage thermique d'énergie finale (en isolant nos maisons) pas de favoriser la consommation de gaz ou de fuel, encore moins par un calcul artificiel d'énergie primaire contradictoire avec la sobriété énergétique.

⁴ 50kWh_{EP}/m²_{SHON}/an: kilowattheures **d'énergie primaire** par mètre carré de surface hors d'œuvre nette par an

Résultat, cette anomalie réglementaire de la RT2012 a forcé, avec la bénédiction de ministres de l'environnement coupables, un retour artificiel du chauffage au gaz dans le bâtiment neuf en France (« l'inversion de la courbe » depuis 4 ans est impressionnante).

Et comme il n'y a pas que des perdants, elle a aussi fourni un soutien financier inattendu et apprécié à l'industrie du **gaz naturel importé** et à son puissant lobby, tout en satisfaisant, il faut le dénoncer, quelques égos **anti-nucléaires** infiltrés dans nos administrations depuis certains chantages politico-électorales de droite (Grenelle de 2007) comme de gauche (présidentielle de 2012). Cette anomalie doit désormais être corrigée, pour au moins trois raisons évidentes:

- (i) notre pays **ne produit plus de gaz naturel** (nos importations d'hydrocarbures coûtent en 2017 cent fois plus cher que nos importations d'uranium – en gros 60 milliards d'euros contre 0,6 milliards d'euros),
- (ii) le **gaz est un combustible fossile émetteur de CO2** que le monde entier condamne afin de lutter contre le changement climatique,
- (iii) en France **l'électricité est écologique et dé-carbonée**, ce qui en fait le vecteur énergétique idéal pour le **chauffage** comme pour les nouveaux usages de l'électricité (comme les **voitures électriques**).

Solaire et éolien

Solaire et éolien sont deux autres « victimes » des grandeurs désormais inadaptées que sont l'énergie primaire et la TEP.

Les statistiques énergétiques européennes et internationales continuent de mesurer les productions d'énergie solaire et éolienne en TEP, unité carbonée totalement anachronique.



Comme déjà suggéré plus haut, l'**énergie primaire lumineuse** incidente sur un capteur solaire n'est pas la référence énergétique pertinente pour un capteur photovoltaïque dont le mauvais rendement de 20% devrait imposer un coefficient de conversion énergie primaire/finale de 5 et donc pénalisant.

Même malaise vis-à-vis de l'**énergie primaire du vent** dont seulement 30% environ est captée et valorisée par les pales d'une éolienne.

C'est à l'évidence l'**énergie électrique finale** (et non pas primaire) qui constitue le critère de pilotage du développement de ces énergies renouvelables, fussent-elles intermittentes. Cela explique que certaines méthodes statistiques leur accordent déjà un coefficient de conversion de 1 (pseudo rendement de 100%).

En outre, le prescripteur de la future **RT2018** pour le bâtiment devra veiller, d'une part certes, à prescrire un objectif exprimé désormais en énergie finale ($50\text{kWh}_{\text{EF}}/\text{m}^2/\text{an}$, et non plus $50\text{kWh}_{\text{EP}}/\text{m}^2_{\text{SHON}}/\text{an}$), mais, d'autre part, à ne pas se limiter non plus au seul critère énergie finale pour hiérarchiser les aides et subventions allouées : par exemple, à quantité égale **d'énergie finale de chauffage solaire**, le **solaire thermique**, compte tenu de son rendement supérieur à 80% (à comparer au maigre 20% du photovoltaïque) devra être encouragé car il mettra en œuvre quatre fois moins de surfaces de capteurs et donc moins de matériaux (et incidemment pas de « terres rares »). La **sobriété** doit s'appliquer à réduire non seulement l'**énergie finale** mais aussi **les ressources et matériaux** naturels mis en œuvre.

Indépendance énergétique

Dans les statistiques européennes le calcul du taux de **dépendance énergétique** (ou son complément à 1, le taux d'indépendance) de chaque pays est basé sur les **importations exprimées en énergie primaire**. Peut-être souhaitera-t-on ne rien changer. Mais la transition énergétique invite à y réfléchir à deux fois.

Quand la Commission Européenne affiche pour la France en 2016 un excellent taux de dépendance énergétique de 46% (contre 54% pour la moyenne européenne et 69% pour l'Allemagne) c'est avec une convention notable : la non prise en compte du contenu énergétique primaire des importations d'uranium. C'est bien une preuve de plus que l'énergie primaire n'est pas un critère satisfaisant !

Accessoirement c'est aussi la preuve que le fait pour la France d'importer la quasi-totalité de son uranium (malgré la présence historique de plus de 170 mines d'uranium sur l'hexagone) n'est pas un critère de dépendance énergétique.

Notre indépendance est basée sur la parfaite liquidité du marché mondial de l'uranium naturel (à la différence de celui des hydrocarbures), sur des ressources minières d'uranium largement réparties sur la planète (à la différence des hydrocarbures), et sur la très faible valeur marchande de l'uranium au regard de son énorme contenu énergétique (à la différence des hydrocarbures dont les importations coûtent chaque année 100 fois plus à notre pays que ses importations d'uranium).

Ce principe de calcul, qui « oublie » de comptabiliser le contenu énergétique primaire de l'uranium dans les importations n'est pas propre à la France ; il s'applique à juste titre à tous les pays nucléarisés. Faut-il dès lors continuer à calculer les taux de dépendance énergétique des états sur la base de leurs importations mesurées en énergie primaire si ce n'est pas le bon critère ? Le cas français (voir ci-dessous) permet d'en douter et en tout cas de soulever la question.

L'hypocrisie énergétique française

La référence actuelle à l'**énergie primaire** laisse entendre que la France serait un pays « **tout nucléaire** » alors que la réalité des chiffres montre des consommations plus proches du « **tout fossile** ».



Les statistiques énergétiques européennes et françaises actuelles, basées sur le concept de l'énergie primaire (et sur les coefficients de conversion arbitraires comme le fameux coefficient 2,58 cité plus haut) semblent afficher que l'**électricité** (essentiellement nucléaire) est l'énergie la plus utilisée en France avec une part de **42% des consommations primaires** totales.

Cette vision erronée et trompeuse **masque le fait que notre électricité ne représente en réalité que 23% des consommations d'énergie finale** du pays, loin derrière les carburants de nos voitures et nos chauffages non-électriques. Voici la réalité des chiffres.

Sur **162 millions de TEP** (puisque c'est l'unité encore utilisée par Eurostat !) d'énergie **finale** que les français ont consommée en 2016 **il y a 68% d'énergies fossiles** (pétrole 45%, gaz 20%, charbon 3%) **et seulement 17% d'électricité nucléaire** (soit 72% des 37,2 MTEP qui représentent les 23% d'électricité précités). 17% contre 68% ! Qui a dit « tout nucléaire » ?

Cela démontre bien, si la COP21 ne l'avait pas assez rappelé, que **pour réduire nos émissions de CO2** il faut remplacer **nos moyens fossiles de transport et de chauffage** (essence, gaz, fuel et charbon) responsables de **dix fois plus d'émissions de CO2 que notre production électrique** (les centrales au gaz et au charbon étant d'ailleurs responsables aussi, en plus de

leur rôle dans le chauffage et le transport, de l'essentiel du « CO2 électrique » que nous émettons).

Quelle méthode choisir pour la comptabilisation de l'énergie ?

L'encadré ci-dessous (*source : références INSEE, les acteurs économiques et l'environnement, édition 2017*) montre qu'au moins trois méthodes s'affrontent :

L'une, dite du « contenu énergétique », utilisée par l'AIE et Eurostat, applique des rendements de conversion de 33% au nucléaire, 10% à la géothermie mais de 100% au photovoltaïque et à l'éolien (avec la convention arbitraire que l'électricité produite par ces deux dernières sources est assimilée à leur énergie primaire, ce qui est faux du point de vue de la physique).

Une méthode dite de la « substitution partielle » est utilisée par le World Energy Council (WEC).

Une 3^{ème} méthode, dite de « l'équivalence directe » figure dans les rapports du GIEC. Elle traite l'électricité **nucléaire sans discrimination, avec un coefficient de conversion de 100%, comme les électricités renouvelables.**

Toutes ces méthodes ont leurs défauts et leurs mérites. Leur problème commun est que chacune conduit à afficher un bouquet énergétique primaire différent des autres (voir graphique ci-dessous), pour décrire ce qui devrait être la même et unique consommation énergétique d'un pays !

C'est pourquoi les **énergies primaires** (issues d'un calcul, pas d'une mesure physique) sont parfois déroutantes, pour les citoyens, les médias et même les décideurs. Sans forcément les abandonner, il serait bon de recentrer enfin les statistiques énergétiques sur l'essentiel : **l'énergie finale**, consommée et mesurable. Cela n'exonère en rien chaque joule ou kWh final de devoir rendre des comptes aussi sur d'autres critères : sur ses impacts économiques, techniques et environnementaux (ressources naturelles, CO2).

Conclusions

L'énergie primaire n'est plus un concept énergétique pertinent.

Qu'importe l'énergie primaire d'une éolienne, ou d'un capteur photovoltaïque ! L'important est d'en améliorer les faibles rendements pour en extraire et stocker plus d'énergie finale.

Quel sens donner à l'énergie primaire de l'hydroélectricité (baptisée autrefois « houille blanche ») ?

Encadré 1

Les contributions du nucléaire et des énergies renouvelables au bouquet énergétique et à la baisse des émissions de CO₂ différent selon les méthodes de comptabilisation utilisées

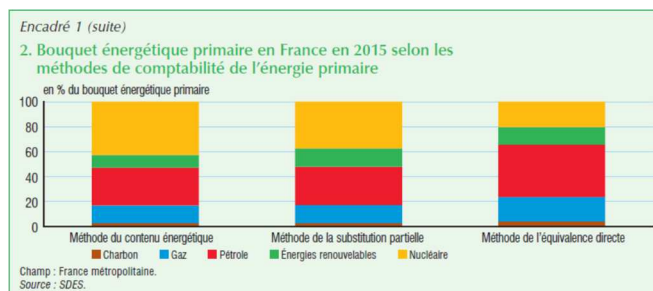
La comptabilisation des quantités des différentes formes d'énergies obéit à certaines conventions, qui influent sur les résultats commentés précédemment. Les méthodes existantes traitent de la même manière les combustibles (énergies fossiles ou biomasse), comptabilisés en énergie primaire à hauteur de leur pouvoir calorifique, mais différent pour le nucléaire et les énergies renouvelables électriques sans combustion (photovoltaïque, éolien, hydraulique, etc.). Trois méthodes peuvent être recensées : la méthode du contenu énergétique, qui fait référence au niveau international et est utilisée dans le reste de cette étude ; la méthode de la substitution partielle et la méthode de l'équivalence directe (figure 1).

1. Caractéristiques des méthodes usuelles de comptabilisation de l'énergie

Méthode	Principe	Traitement du nucléaire et de la géothermie	Traitement des énergies renouvelables électriques	Principaux utilisateurs
Contenu énergétique	L'énergie primaire considérée est la première forme d'énergie utilisée dans le processus de transformation de l'énergie : chaleur pour le nucléaire et la géothermie, électricité pour le PV et l'éolien.	Comptabilisation de la chaleur nucléaire ou géothermique, avec des coefficients de conversion par défaut respectivement de 33 % et 10 %. 1 kWh d'électricité nucléaire = 10,9 MJ d'énergie primaire.	Coefficient de conversion de 100 % 1 kWh d'énergie renouvelable électrique = 3,6 MJ d'énergie primaire.	Agence internationale de l'énergie Eurostat, bilan de l'énergie national.
Substitution partielle	Pour la production d'électricité nucléaire ou renouvelable (non thermique), l'énergie primaire correspondante est la quantité d'énergie fossile qui aurait été utilisée pour produire la même quantité d'électricité.	Les coefficients d'équivalence en énergie fossile varient légèrement selon les méthodes autour de 38 %. Pour le WEC, 1 kWh d'électricité nucléaire = 9,3 MJ d'énergie primaire.	Pour le WEC, 1 kWh d'énergie renouvelable électrique = 9,3 MJ d'énergie primaire.	WEC (World Energy Council), US EIA, BP
Équivalence directe	L'électricité nucléaire ou renouvelable (non thermique) produite est directement comptée comme énergie primaire sans différence selon les filières.	Coefficient de conversion de 100 % 1 kWh d'électricité nucléaire = 3,6 MJ d'énergie primaire.	Coefficient de conversion de 100 % 1 kWh d'énergie renouvelable électrique = 3,6 MJ d'énergie primaire.	Rapports du GIEC.

Champ : France métropolitaine.
 Note : l'agrégat des énergies renouvelables est constitué des énergies renouvelables électriques (PV, éolien, hydroélectrique, etc.) et des énergies renouvelables thermiques (biomasse essentiellement mais aussi pompes à chaleur ou solaire thermique).
 Source : EIA, 2017.

Les bouquets énergétiques sont contrastés selon la méthode utilisée. La méthode du contenu énergétique est celle qui conduit à la plus forte part du nucléaire (42,5 %) et à la plus faible des énergies renouvelables (10,0 %) (figure 2). La méthode de substitution partielle et celle d'équivalence directe aboutissent à des résultats proches concernant le poids des énergies renouvelables (respectivement 14,7 % et 13,9 %), mais divergent sur celui du nucléaire (respectivement 37,2 % et 20,3 %) (figure 2).



Quel sens donner à l'énergie primaire contenue dans l'uranium dont nous n'exploitons aujourd'hui qu'une infime partie du potentiel énergétique (de l'ordre de 1% seulement, venant essentiellement de son isotope fissile, l'isotope fertile restant quasiment « imbrûlé ») ?

Le nucléaire du futur est désormais prêt à exploiter l'énorme potentiel énergétique de l'uranium (ou du thorium) et à repousser ainsi l'horizon de cette formidable ressource énergétique à plusieurs milliers d'années, même en ne considérant que les réserves minières déjà exploitées et l'uranium appauvri et de retraitement qui attend sagement que l'homme exploite enfin son énergie quasi illimitée.

Même si elle demeurera une grandeur utile dans certaines statistiques énergétiques fossiles, **l'énergie primaire** doit laisser la place à **l'énergie finale** comme paramètre de **pilotage de la transition énergétique mondiale**. C'est bien l'énergie que nous consommons, celle que nous payons, celle de nos compteurs électriques ou à gaz, celle que nous mettons dans le réservoir de notre véhicule, notre cuve à fuel ou à gaz, c'est cette énergie finale qui doit être notre principal indicateur pour améliorer **la sobriété** de nos **usages énergétiques**, indépendamment de leurs sources primaires.

De même, l'**indépendance** énergétique d'un pays devrait se mesurer à son degré d'autonomie à fournir son **énergie finale**, indépendamment de toute conversion en énergie primaire (que ce soit avec le coefficient de conversion français de 2,58 qui ne repose plus sur aucune réalité, ou avec un autre). Certes, il faudra admettre la réalité que le taux d'indépendance énergétique de la France est bien inférieur aux 54% que nous affichons ; pour preuve nos importations massives d'hydrocarbures, qui relativisent mais ne minimisent en rien le succès de notre aventure nucléaire nationale.

Enfin, qu'elle soit encore mesurée en TEP, ou demain en joules ou en kWh, **la quantité d'énergie (fût-elle primaire ou finale) n'est pas le seul paramètre de pilotage de la transition énergétique** et du changement climatique. Nos décisions futures vont devoir se prendre aussi à l'aune de leur **empreinte carbone** et des **ressources naturelles** laissées aux générations futures.

Afin de clarifier notre combat environnemental il est temps d'en **simplifier** des principes énergétiques, devenus incompréhensibles pour le citoyen comme, parfois, pour les médias et les décideurs, au point de faire emprunter certaines de fausses routes critiquables (comme celles qui brouillent les bonnes intentions du scénario *NégaWatt*), et contradictoires pour certaines avec nos objectifs les plus durables (sur lesquels repose notamment le crédo sage et objectif du scénario *NégaTep* de l'association *Sauvons le Climat*).

Après une révolution industrielle qui a vu régner sans partage deux siècles de charbon et un siècle de pétrole et de gaz, les enjeux de l'humanité ont changé. Sans présager de ce dont après demain sera fait, notre triple **feuille de route** pour le XXIème siècle est simple :

(i) limitons nos consommations d'énergie FINALE, (ii) réduisons, de façon juste et équitable, nos consommations de RESSOURCES naturelles non durables ni recyclables, et (iii) éliminons notre empreinte CARBONE atmosphérique.

Un jour futur, peut-être trouvera-t-on une théorie d'unification de ces trois critères en un concept énergétique unique, une sorte « **d'énergie finale durable et désempreintée** », nette des énergies nécessaires pour neutraliser son empreinte carbone ainsi que les consommations non durables de ses ressources naturelles.