

# Coup d'œil à l'intensité énergétique depuis 1960

L'intensité énergétique est un indicateur fréquemment utilisé par les économistes de l'énergie pour évaluer la propension d'un pays à gaspiller ou économiser l'énergie et, donc, à émettre plus ou moins de gaz à effet de serre. Si son niveau d'agrégation permet d'analyser des évolutions sur longue période, un usage plus fin nécessite des précautions. La baisse de l'intensité énergétique constatée sur longue période est-elle durable ? Quels sont les déterminants de cette baisse ? Quel est l'effet des politiques énergétiques ?

par Richard Lavergne  
Secrétaire général  
de l'Observatoire de l'énergie

énergétique finale du secteur considéré. Par abus de langage, on désigne parfois aussi par intensité énergétique finale, le rapport  $E/Y$  où  $E$  est l'énergie finale dont la part relative à l'électricité est calculée avec le coefficient d'équivalence à la consommation (0,086 tem/MWh, contre 0,222 tem/MWh pour le coefficient officiel de l'Observatoire de l'énergie calculé en équivalence à la production).

L'intensité énergétique est un révélateur du contenu énergétique de la richesse nationale marchande. Elle peut servir d'instrument de mesure des efforts du pays pour utiliser rationnellement l'énergie : plus l'intensité énergétique baisse, moins on consomme d'énergie par unité de richesse nationale. De même, l'inverse de l'intensité énergétique, soit le rapport  $Y/E$ , qui est aussi appelé « efficacité énergétique », peut être assimilé à un rendement de l'économie française vis-à-vis de l'énergie, où l'*input* est l'énergie consommée et l'*output* la production marchande.

Notons qu'il existe une relation simple, bien que schématique, entre l'intensité énergétique, soit  $i$ , et l'élasticité de la consommation d'énergie par rapport au PIB marchand, soit  $e_Y = (\partial E / \partial Y) / (E/Y)$ , à savoir :  $di/i = (e_Y - 1) dY/Y$ .

Sur la seule base du PIB, l'intensité énergétique varie donc dans le même sens que la croissance économique (on cite souvent, pour la France, une élasticité de la demande d'énergie par rapport au PIB de 1,2 ou 1,3 sur la période qui suit la deuxième guerre mondiale). Ainsi, conformément à l'intuition, plus la richesse nationale est importante, plus on tend à s'éclairer, se déplacer, se chauffer, etc. Néanmoins, d'autres effets infirment ou confirment cette tendance : le progrès technique, qui permet de consommer relativement moins d'énergie pour une production inchangée, une politique de maîtrise de l'énergie, l'évolution des prix relatifs de l'énergie, une modification de structure de l'économie

(passage de certaines industries grosses consommatrices d'énergie vers le tertiaire, effets de commerce extérieur...), la rigueur du climat, une modification des comportements (télétravail, usage d'Internet...) etc. Les économistes de l'énergie cherchent à expliquer les déterminants de ces évolutions, qui peuvent varier au cours du temps, afin d'en déduire des perspectives et d'orienter les actions de maîtrise de l'énergie de la manière la plus efficace. Par ailleurs, d'autres instruments de mesure peuvent être utilisés, comme l'évolution des consommations unitaires et des parcs (voitures, habitations, équipements...), à condition de disposer d'enquêtes appropriées (voir par exemple [1], [2], [3] et [4]).

De nombreux travaux ont été conduits, à l'Ademe notamment, pour analyser précisément les évolutions de l'intensité énergétique, tant primaire que finale, et on pourra se reporter en [5], [6], [7], [8] et [9] de la bibliographie. Dans la suite, pour simplifier, seule l'expression « intensité énergétique », sans précision supplémentaire, se référera à l'intensité énergétique primaire.

Évolutions de court et moyen termes de l'intensité énergétique de la France

Les bilans de l'énergie calculés depuis 1970 et, partiellement, entre 1960 et 1969, par l'Observatoire de l'énergie [10], permettent de calculer l'intensité énergétique de la France (primaire totale et finale par secteur). Trois périodes peuvent être distinguées (voir la figure 1) :

– de 1960 à 1973, année du premier choc pétrolier, l'intensité énergétique apparaît en légère croissance, principalement sous l'effet de bas prix de l'énergie, particuliè-

(1) Voir les définitions dans l'encadré page suivante.

rement du pétrole qui se substitue au charbon ;

– de 1973 à 1990, l'intensité énergétique décroît de 1,4 % par an en moyenne, sous l'effet des deux chocs pétroliers de 1973 et 1979 ; la forte croissance des prix relatifs de l'énergie à la consommation des ménages (+55 % entre 1973 et 1985) a eu cependant beaucoup moins d'effet que celle qui a frappé l'industrie ;

– depuis 1990, le relâchement des économies d'énergie à la suite du « contre-choc » de 1986, après un répit de quelques années, a conduit à une stabilisation, voire une légère remontée.

Selon le secteur, entre 1960 et 1997, l'évolution de l'intensité énergétique finale a évolué de manière contrastée (voir la figure 2) :

– pour la sidérurgie, et plus généralement pour les industries grosses consomma-

trices d'énergie (IGCE), il s'est produit une forte décroissance sur toute la période (-4,2 % par an en moyenne) sous l'influence principale, d'abord, entre 1960 et 1973, d'économies d'échelle permises par une forte croissance économique, puis de prix relatifs élevés de l'énergie, qui ont poussé les entreprises à économiser l'énergie ; d'autres effets ont joué par ailleurs, tels que le progrès de la productivité et les restructurations ;

– pour les transports, une sensible hausse apparaît de 1960 à 1973 (+1,2 % par an en moyenne) et une stagnation ensuite (-0,3 % par an) ; une reprise de la hausse semble même se produire depuis 1989-1990, en partie du fait de la chute des prix liée au « contre-choc » pétrolier ; l'analyse des consommations unitaires, des parcs (véhicules particuliers et utilitaires) et des kilométrages, ainsi que des comportements et de l'usage des transports publics, permettrait d'affiner l'analyse (voir bibliographie) ;

– une évolution voisine se constate pour le résidentiel-tertiaire (+2,2 % par an de 1960 à 1973 et -0,4 % par an depuis), mais le coefficient d'équivalence à la production utilisé pour l'électricité masque la forte pénétration de l'électricité depuis 1973 (notamment pour le chauffage) qui, comptabilisée selon les coefficients internationaux, ferait apparaître une amélioration à la baisse.

Pour une analyse fine de ces évolutions et de leurs causes, on pourra consulter les ouvrages cités en bibliographie.

Evolutions  
sur longue période  
de l'intensité énergétique

S'agissant de la France, une étude récente sur l'intensité énergétique sur longue période (depuis 1850) a été réalisée à la demande de l'Observatoire de l'énergie [11]. Elle montre que, « si l'effet de structure est crucial pour expliquer la demande d'énergie avant 1938, il n'en est pas de même après 1949, en raison sans doute de la diversification de l'appareil industriel ». Depuis la dernière guerre mondiale, l'intensité énergétique apparaît en baisse de -1,0 % par an en moyenne, hors effets de prix, de structure et de climat ; autrement dit, cette baisse de l'intensité énergétique sur longue période s'explique par le progrès technique, la politique énergétique et

## Les méthodes de comptabilisation

L'unité de compte énergétique est l'unité dans laquelle sont converties les unités de mesure spécifiques (masse, volume) utilisées pour différentes formes d'énergie : PJ (pétajoule), Twh (térawattheure), tep (tonne d'équivalent pétrole), tec (tonne d'équivalent charbon), Btu (British thermal unit), cal (calorie).

Les unités de compte font appel à des coefficients d'équivalence pour additionner, dans des bilans globaux, des quantités d'énergie de natures différentes. Il existe deux méthodes génériques de comptabilisation de l'énergie permettant d'établir un « bilan énergétique », c'est-à-dire de présenter les flux correspondant aux différentes étapes de la chaîne énergétique (énergie primaire, secondaire ou dérivée, finale, utile) :

- la méthode du contenu énergétique (ou du pouvoir calorifique) suivant laquelle toutes les formes d'énergie sont comptabilisées selon leur pouvoir calorifique strict (réel) – c'est-à-dire la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible ou, dans le cas de l'électricité, la quantité de chaleur dissipée par effet Joule ; pour les combustibles, on distingue le pouvoir calorifique supérieur (PCS), qui inclut la chaleur de condensation de la vapeur d'eau produite lors de la combustion, et le pouvoir calorifique inférieur (PCI), qui ne l'inclut pas (la France, comme l'AIE et Eurostat, utilisent systématiquement le PCI dans les bilans énergétiques qu'ils publient) ; pour les énergies non combustibles cette méthode nécessite des hypothèses et des conventions à préciser.

- la méthode de substitution partielle suivant laquelle toutes les formes d'énergie autres que l'électricité sont comptabilisées selon leur pouvoir calorifique strict (réel), et suivant laquelle l'électricité est comptabilisée soit selon l'énergie fossile qui serait nécessaire à sa production (procédure désignée par « méthode de l'équivalent primaire à la production »), soit à partir d'un rendement conventionnellement adopté et constant. Chaque méthode induit des coefficients d'équivalence permettant de passer d'une énergie à l'autre : on parle de « coefficients de conversion » dans le cas de la méthode du contenu énergétique et de « coefficients de substitution » dans le cas de la méthode de substitution partielle. Il existe des « bilans mixtes » où la méthode de l'équivalence primaire à la production est appliquée aux ressources (disponibilités) et celle du contenu énergétique aux emplois. Ainsi, la France applique strictement la méthode de substitution partielle, mais l'AIE, Eurostat et le CME – Conseil mondial de l'énergie – ont adopté une méthode mixte (substitution / contenu énergétique) qui diffère de la méthode française, principalement pour l'électricité.

Notons, enfin, que la capacité de substitution d'une énergie par un combustible donné est impossible à apprécier dans l'absolu, puisque les conditions d'utilisation, par exemple pour un combustible, peuvent modifier considérablement la quantité de chaleur dégagée ; pour l'électricité, selon l'usage et le mode de production, un kilowattheure pourra remplacer, par exemple, 100 g ou 1 kg de produits pétroliers.

le reliquat d'effets non modélisés.

Cette baisse n'est pas uniforme sur longue période comme l'a montré, par exemple, l'étude de Jean-Marie Martin [12] : chaque pays possède une courbe d'intensité énergétique en forme de cloche, dont le sommet varie selon l'industrialisation du pays. Pour le Royaume-Uni, ce sommet peut être daté autour de 1880, pour la France, les Etats-Unis et l'Allemagne autour de 1920, pour le Japon autour de 1950. Ce sommet

correspond au moment où les effets de montée en régime (disparition des industries non marchandes, industrialisation) sont épuisés et où apparaît l'effet du progrès technique dans les usages énergétiques. Une courbe reliant les sommets des courbes des différents pays révèle le progrès technique au niveau mondial (voir la figure 3).

Pour les pays en développement, la courbe en cloche n'est souvent qu'esquissée, mais elle permet d'évaluer les évolutions

futures et leurs conséquences, par exemple en ce qui concerne les émissions de CO<sub>2</sub>.

Comparaison entre les pays de l'OCDE

L'Agence Internationale de l'énergie (AIE) calcule des intensités énergétiques avec des coefficients d'équivalence distincts de ceux utilisés par l'Observatoire de l'énergie, mais l'utilisation d'une méthode commune à l'ensemble des pays membres de l'OCDE permet de faire des comparaisons entre ces pays. Les PIB sont mesurés en dollars US constants et en parité de pouvoir d'achat (ppa). Néanmoins, les courbes obtenues sont brutes d'effets de structure et d'autres effets qui ne peuvent pas être considérés strictement comme des efforts de maîtrise de l'énergie (voir la figure 4).

Avec les coefficients de l'AIE qui comptabilisent l'électricité nucléaire plus fortement que ceux de l'Observatoire de l'énergie (0,261 tep/MWh, contre 0,222 tep/MWh), l'intensité énergétique de la France apparaît, en 1996, légèrement au-dessus de la moyenne européenne (UE à 15), après avoir été en dessous jusqu'en 1990. Les Etats-Unis restent nettement au-delà de tous les pays européens, y compris de l'Allemagne. Pour ce dernier pays, les statistiques d'avant 1970 ne sont pas disponibles en raison de difficultés de rétroprojection de données incluant l'ancienne Allemagne de l'Est. L'effet des restructurations industrielles qui sont intervenues en Allemagne, notamment en rapport avec la réunification, ainsi qu'au Royaume-Uni pour d'autres raisons, apparaît de façon particulièrement sensible sur l'intensité énergétique.

Il est intéressant de rapprocher les évolutions d'intensité énergétique de celles des émissions de gaz à effet de serre, particulièrement de CO<sub>2</sub>, qui témoignent d'une répartition quelque peu différente des efforts des pays (voir la figure 5). A cette aune, la France demeure le « meilleur élève de la classe » en étant le seul, parmi les pays considérés, à émettre moins de 2 tonnes de carbone par habitant et par an (2,4 pour la moyenne européenne en 1996, selon l'AIE).

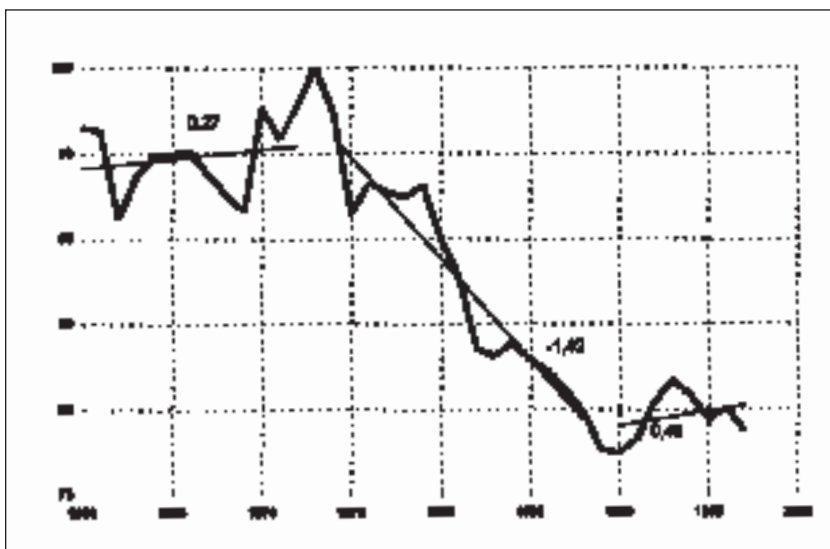


Fig. 1. Intensité énergétique primaire de la France, en indice base 100 en 1973 (les chiffres proches de la courbe indiquent le taux de croissance annuel sur la période considérée en %).  
Source : Observatoire de l'énergie, 1998.

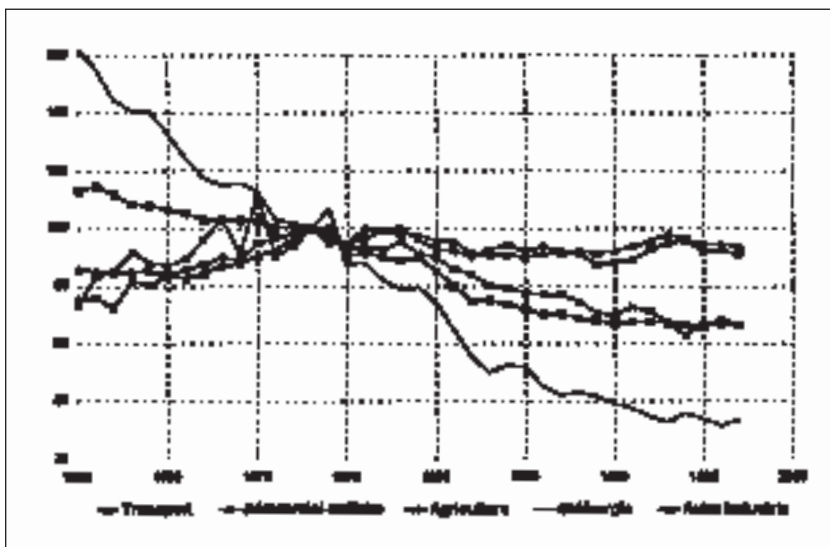


Fig. 2. Intensité énergétique finale de la France par secteur, en indice base 100 en 1973.  
Source : Observatoire de l'énergie, 1998.

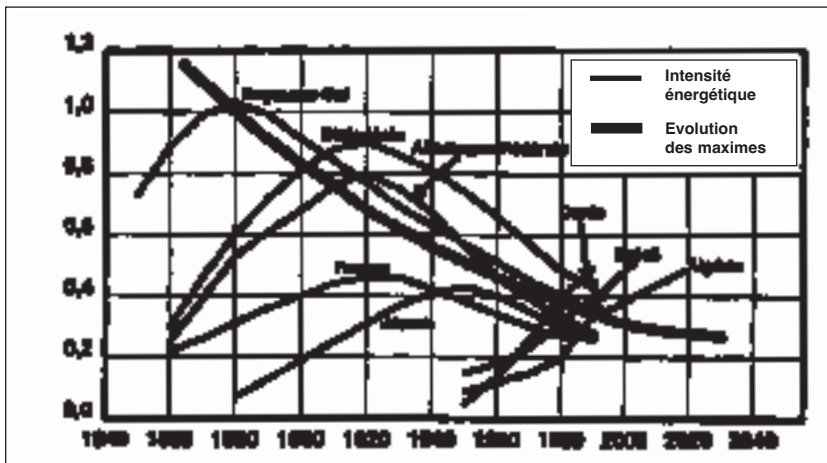


Fig. 3. Intensités énergétiques de quelques pays sur longue période (en tep/1000 US\$ de 1980).

Source : Bibliographie [9].

BIBLIOGRAPHIE

[1] Sessi, enquête annuelle sur les consommations d'énergie dans l'industrie.

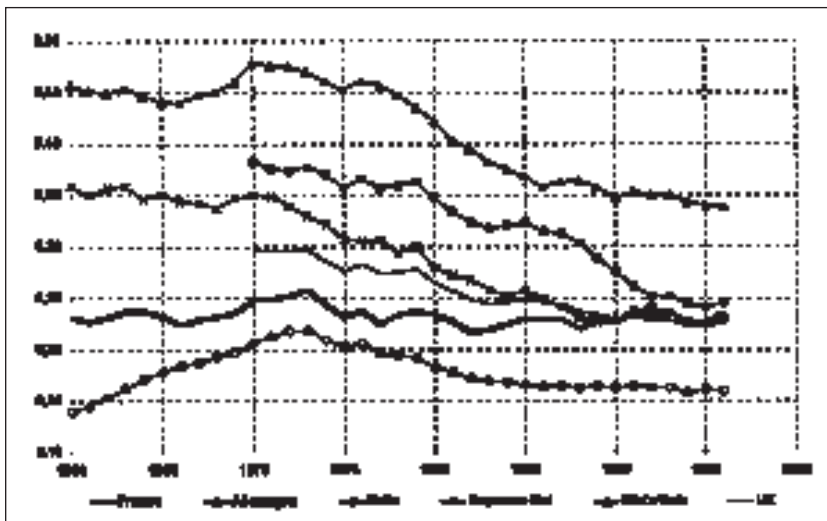


Fig. 4. Intensité énergétique primaire de quelques pays membres de l'OCDE, de 1960 à 1996, en tep par million de dollars US ppa.

Source : AIE/OCDE, 1998.

[2] Ceren, enquêtes sur le résidentiel, le tertiaire et l'industrie.

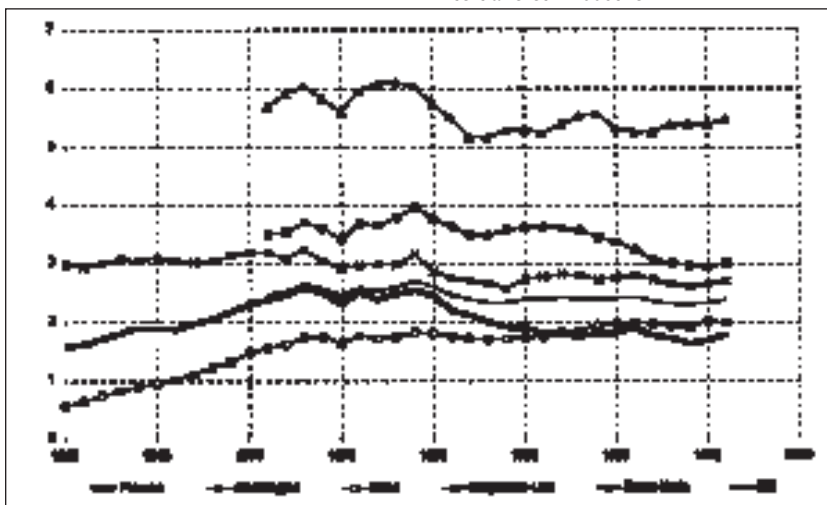


Fig. 5. Emissions de CO<sub>2</sub> par habitant, en tonnes de carbone.

Source : AIE/OCDE, 1998.

[3] Insee, enquête « logement ».

[4] Secodip, panel « carburants ».

[5] La maîtrise de l'énergie, Rapport d'évaluation de la politique énergétique de la France, Commissariat général du Plan, la Documentation Française, Yves Martin, 1998.

[6] Energy Efficiency Policies and Indicators, Rapport au Conseil mondial de l'énergie, François Moisan, Didier Bossebœuf, Bertrand Chateau, Bruno Lapillonne, 1998.

[7] The link between energy and human activity, Agence internationale de l'énergie, OCDE, 1997.

[8] Ademe-Save-ENR, Energy efficiency indicators : the European experience, Ademe, 1998.

[9] Indicators of energy use and efficiency, Agence internationale de l'énergie, OCDE, 1997.

[10] Bilans de l'énergie 1970-1997, Observatoire de l'énergie, Secrétariat d'Etat à l'Industrie, 1998.

[11] Evolution sur longue période de l'intensité énergétique. Observatoire de l'énergie, Jean Rouchet, Pierre Villa (CEPII), 1998.

[12] «L'intensité énergétique de l'économie dans les pays industrialisés : les évolutions de très longues périodes livrent-elles des enseignements utiles ?» in Economies et Sociétés, Revue de l'ISMEA, vol. 4, 1988, p. 9-27.