
Dossier



Avertissement

Les données chiffrées sont parfois arrondies, en général au plus près de leurs valeurs réelles. Le résultat arrondi d'une combinaison de chiffres (qui fait intervenir leurs valeurs réelles) peut être légèrement différent de celui que donnerait la combinaison de leurs valeurs arrondies.

Signes conventionnels utilisés

...	Résultat non disponible
///	Absence de résultat due à la nature des choses
e	Estimation
p	Résultat provisoire
sd	Résultat semi-définitif
n.s.	Résultat non significatif
€	Euro
K	Millier
M	Million
Md	Milliard
Réf.	Référence

Une analyse de la baisse des émissions de CO₂ dues à la combustion d'énergie en France depuis 1990

Mathieu Écoiffier*

En France, les émissions de CO₂ dues à l'énergie ont diminué de 18 % entre 1990 et 2015 malgré une hausse du PIB de 44 %. La tendance à la baisse depuis 2005 s'explique par une forte diminution de l'intensité énergétique et du contenu carbone de l'énergie consommée. La réduction de ce dernier est liée principalement au développement du nucléaire dans les années 1990 et à celui des énergies renouvelables depuis 2005.

Les émissions de CO₂ du seul secteur productif (hors émissions liées au transport) ont baissé de 31 % entre 1990 et 2015, en partie en raison de la tertiarisation de l'économie et du remplacement d'une partie de la production industrielle domestique par des importations. Le progrès technologique a joué un rôle majeur dans la réduction de 28 % des émissions d'origine industrielle.

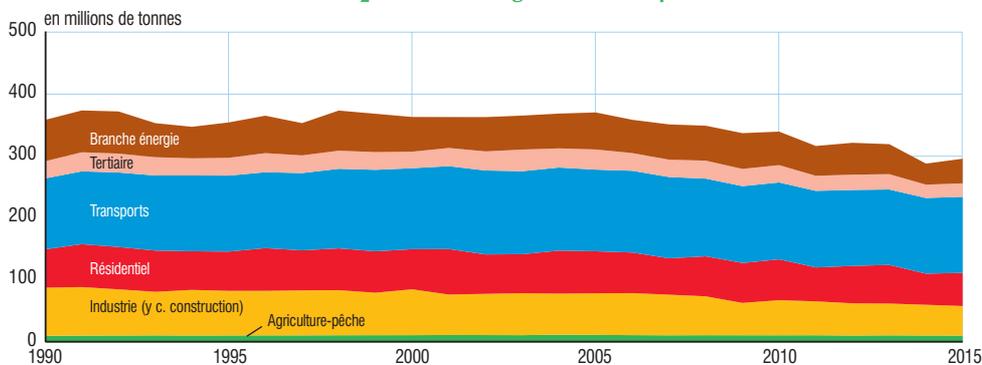
Depuis le début des années 2000, l'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules et l'incorporation de biocarburants ont permis de diminuer les émissions du transport de voyageurs, qui restent toutefois supérieures à leur niveau de 1990. Les mêmes facteurs, auxquels s'ajoutent la baisse de la demande de fret depuis la crise de 2008 et des progrès dans l'organisation logistique, ont contribué à la diminution des émissions du transport de marchandises.

En 2015, les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) dues à l'énergie sur le territoire métropolitain¹ s'élèvent à 295 millions de tonnes, soit environ 70 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) totales (*figure 1*) [CGDD, 2016a]. Dans le cadre des engagements qu'elle a pris en matière de lutte contre le changement climatique, la France s'est fixé comme objectif de diviser par quatre ses émissions de GES à l'horizon 2050 par rapport à 1990. Dans cette optique, il est utile de dresser le bilan des évolutions à l'œuvre depuis 1990. Cette étude s'attache ainsi à mieux comprendre et à quantifier les facteurs d'évolution des émissions de CO₂ dues à l'énergie entre 1990 et 2015. Après une analyse au niveau agrégé des émissions nationales, elle offre des éclairages sectoriels, d'abord sur le secteur productif, avec un focus sur l'industrie, puis sur les transports (de passagers et de marchandises).

* Mathieu Écoiffier, SDES (CGDD/MTES).

1. Les émissions de CO₂ analysées ici sont celles à l'intérieur du territoire national, selon l'approche utilisée par les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Les émissions liées aux importations et localisées dans d'autres pays sont exclues de cette comptabilité, leur prise en compte relève d'une approche différente (empreinte carbone).

1. Évolution des émissions de CO₂ dues à l'énergie en France par secteur de 1990 à 2015



Champ : France métropolitaine.

Note : la branche énergie correspond aux activités de transformation de l'énergie primaire en énergie finale (centrales électriques, raffineries, cokeries, pertes de réseau, etc.).

Source : SDES.

La baisse des émissions de CO₂ s'explique par une réduction de l'intensité énergétique et du contenu carbone de l'énergie consommée

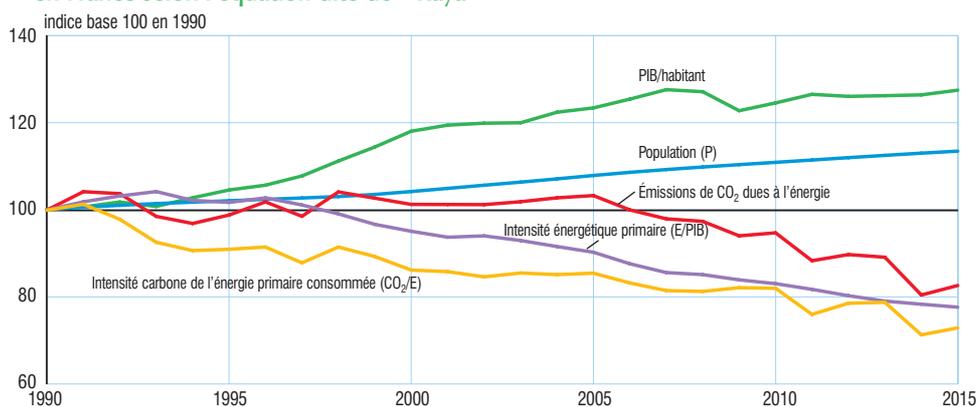
L'évolution des émissions de CO₂ peut être vue comme le résultat de l'évolution conjointe de la population, du PIB par habitant, de l'**intensité énergétique** de l'économie (énergie primaire/PIB) et de l'intensité carbone de la **consommation d'énergie primaire** (émissions de CO₂/énergie primaire), selon l'équation dite de « Kaya » :

$$CO_2 = P (PIB/P) (E/PIB) (CO_2/E)$$

où CO₂ représente les émissions de CO₂ annuelles, P la population et E la consommation d'énergie primaire.

La baisse de 18 % des émissions de CO₂ françaises dues à l'énergie entre 1990 et 2015 peut ainsi s'expliquer par celles de l'intensité énergétique de l'économie (- 22 %) et de l'intensité carbone de la consommation d'énergie primaire (- 27 %), qui ont largement compensé la croissance démographique (+ 14 %) et la hausse du PIB par habitant (+ 28 %) (figure 2).

2. Décomposition de l'évolution des émissions de CO₂ dues à l'énergie de 1990 à 2015 en France selon l'équation dite de « Kaya »



Champ : France métropolitaine.

Lecture : entre 1990 et 2015, l'indice représentant les émissions de CO₂ est passé de 100 à 82, ce qui correspond à une baisse de 18 %. Cette évolution se décompose en quatre facteurs : une hausse de la population de 14 %, une hausse du PIB/habitant de 28 %, une baisse de l'intensité énergétique primaire de 22 % et une baisse de l'intensité carbone de l'énergie primaire de 27 %.

Sources : SDES ; Insee.

La baisse des émissions de CO₂ apparaît concentrée en fin de période, avec - 2,7 % en moyenne annuelle entre 2005 et 2015. Trois facteurs contribuent à cette rupture de tendance : le ralentissement de la croissance économique (+ 0,8 % par an sur la période 2005-2015 contre + 1,9 % par an sur 1990-2005), une baisse plus soutenue de l'intensité énergétique primaire (- 1,5 % par an contre - 0,7 %) et une diminution de l'**intensité carbone de l'énergie** primaire depuis 2010 (- 2,3 % par an entre 2010 et 2015 contre - 1,0 % entre 1990 et 2005).

La réduction du contenu carbone de l'énergie consommée est due surtout au développement du nucléaire dans les années 1990 et des énergies renouvelables depuis 2005

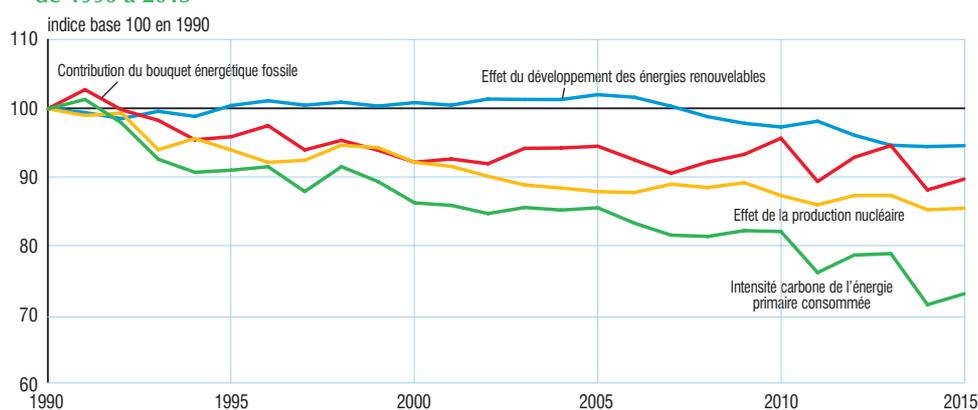
L'analyse précédente peut être affinée en exprimant l'intensité carbone de la consommation d'énergie primaire elle-même (Ic) en fonction de l'intensité carbone des seules énergies fossiles et des parts respectives du nucléaire et des énergies renouvelables dans le **bouquet énergétique** :

$$Ic = (CO_2/E) = CO_2 / (\text{énergie fossile primaire} + \text{énergie nucléaire primaire} + \text{énergies renouvelables})$$

La méthode dite « LMDI » (*logarithm mean divisia index*) est utilisée pour décomposer l'évolution de l'intensité carbone en la somme d'effets liés à ces trois facteurs (*figure 3*).

Ainsi, sur la période 1990-2015, la baisse de l'intensité carbone (- 27 % de 1,6 tCO₂/TEP en 1990 à 1,2 tCO₂/TEP en 2015) s'explique à 50 % par la hausse de la production nucléaire primaire, à 18 % par le déploiement des énergies renouvelables et à 33 % par la baisse de l'intensité carbone des énergies fossiles. La baisse de l'intensité carbone des énergies fossiles (2,4 tCO₂/TEP en 2015 contre 2,7 tCO₂/TEP en 1990) s'explique principalement par le développement du gaz au détriment du charbon ou des produits pétroliers dans certains secteurs comme l'industrie, le résidentiel ou la production d'électricité. La contribution du nucléaire est surtout importante dans les années 1990, au cours desquelles plusieurs réacteurs ont été mis en service. Le développement des énergies renouvelables ne joue qu'en fin de période, à partir de 2005. À noter que, tout comme la consommation primaire, la production d'énergies renouvelables peut connaître des variations conjoncturelles d'une année sur l'autre en raison du climat (température, pluviométrie, régime de vent, etc.), sans incidence sur les tendances de long terme.

3. Évolution et décomposition de l'intensité carbone de l'énergie primaire en France de 1990 à 2015



Champ : France métropolitaine.

Lecture : entre 1990 et 2015, l'indice représentant la contribution des énergies renouvelables à l'intensité carbone de l'énergie primaire est passé de 100 à 95, soit une baisse de 5 %. Cette contribution correspond à 18 % de la baisse de l'intensité carbone de l'énergie primaire (- 27 % entre 1990 et 2015).

Source : SDES.

Selon les résultats de cette décomposition, le déploiement des énergies renouvelables entre 1990 et 2015 aurait permis de diminuer de 17 millions de tonnes par an en 2015 les émissions de CO₂, par rapport à une situation où les énergies renouvelables n'auraient pas progressé mais où la consommation d'énergie primaire et la proportion des autres énergies auraient été identiques. Ce chiffrage doit être interprété avec prudence dans la mesure où il dépend fortement de la convention de comptabilisation de l'énergie primaire sous-jacente (*encadré 1*).

Encadré 1

Les contributions du nucléaire et des énergies renouvelables au bouquet énergétique et à la baisse des émissions de CO₂ diffèrent 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 diffèrent 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.

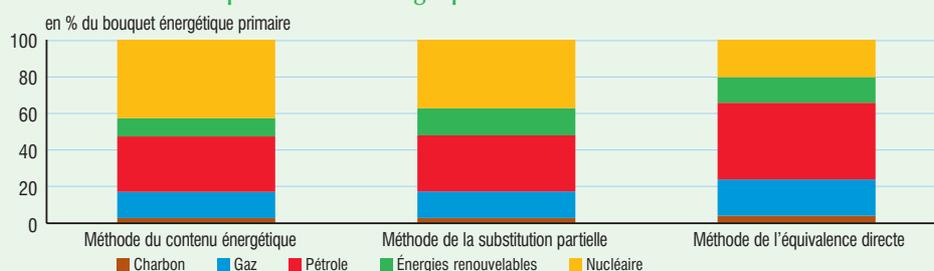
Note : l'agrégat des énergies renouvelables est constitué des énergies renouvelables électriques (PV, éolien, hydroélectrique, etc.) et des énergies renouvelables thermiques (biomasse essentiellement mais aussi pompes à chaleur ou solaire thermique).

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*).

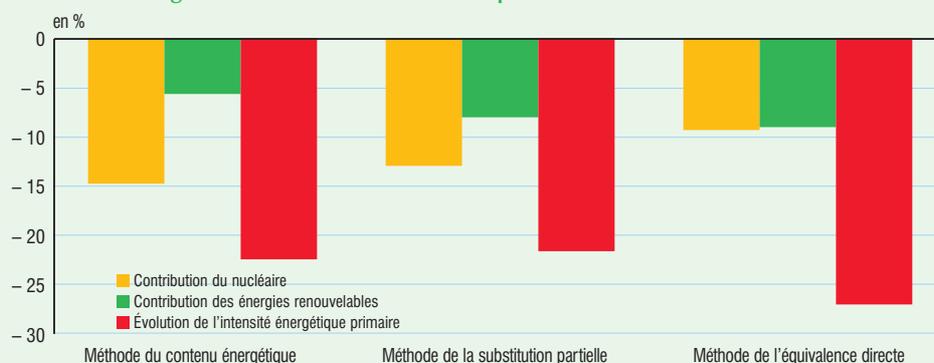
Encadré 1 (suite)

2. Bouquet énergétique primaire en France en 2015 selon les méthodes de comptabilité de l'énergie primaire



Ces écarts se retrouvent dans les contributions du nucléaire et des énergies renouvelables à l'évolution des émissions de CO₂. Ainsi, entre 1990 et 2015, la contribution des énergies renouvelables, estimée à - 6 % avec la méthode du contenu énergétique (- 0,2 % par an en moyenne), passe à - 8 % avec celle de substitution partielle (- 0,3 % par an) et à - 9 % avec l'équivalence directe (- 0,4 % par an) (figure 3). À l'inverse, la contribution du nucléaire, estimée à - 15 % avec la méthode du contenu énergétique, est réduite à - 13 % avec la méthode de substitution partielle et à - 9 % avec la méthode d'équivalence directe. Cette dernière conduit en outre à une baisse de l'intensité énergétique primaire sensiblement plus marquée que les deux autres méthodes, du fait du développement sur la période du nucléaire auquel elle accorde un poids moins élevé dans le bouquet énergétique primaire.

3. Contribution de différents facteurs à la réduction des émissions de CO₂ dues à l'énergie selon les méthodes de comptabilité entre 1990 et 2015



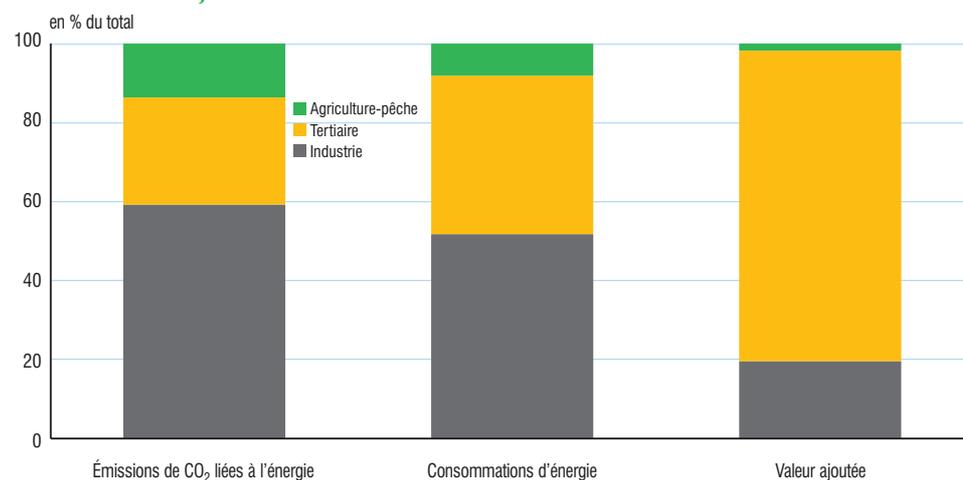
Chacune de ces méthodes comporte des limites. Celle du contenu énergétique, même si elle correspond à une certaine réalité physique, sous-estime la contribution des énergies renouvelables électriques et surestime celle du nucléaire, en considérant que ces énergies se substituent en partie à de la production d'électricité thermique fossile. La méthode de substitution partielle évite cet écueil, mais avec un raisonnement à production d'électricité constante, elle peut être critiquée dans la mesure où le développement plus ou moins important de l'électricité n'est pas indépendant de son bouquet de production. À l'inverse, la méthode d'équivalence suppose implicitement que 1 kWh d'électricité d'origine nucléaire ou renouvelable est parfaitement substituable à 1 kWh d'énergie fossile primaire, mais cette hypothèse est au moins aussi discutable compte tenu des nombreux usages spécifiques de l'électricité et des pertes de transformation entre énergie fossile primaire et énergie finale électrique.

Un tiers de la baisse des émissions de CO₂ du secteur productif est lié à la tertiarisation de l'économie

Pour mieux étudier l'influence de l'activité (PIB), les émissions de CO₂ du secteur productif (hors branche énergie et hors émissions liées à l'usage de transports) sont isolées dans cette partie. Cette approche permet d'identifier un effet de structure, associé aux évolutions de la part de ces secteurs dans la valeur ajoutée totale.

Le secteur productif représente 28 % des émissions de CO₂ dues à l'énergie, soit 80 millions de tonnes en 2015 (*figure 4*). L'industrie en concentre à elle seule 60 % alors qu'elle représente moins de 20 % de la valeur ajoutée du secteur productif, dominée par le secteur tertiaire. En effet, elle émet 9 fois plus de CO₂ que le tertiaire pour dégager la même valeur ajoutée. Cela s'explique principalement par une intensité énergétique supérieure et, dans une moindre mesure, par un plus fort contenu carbone de l'énergie consommée dans l'industrie (*figure 4*).

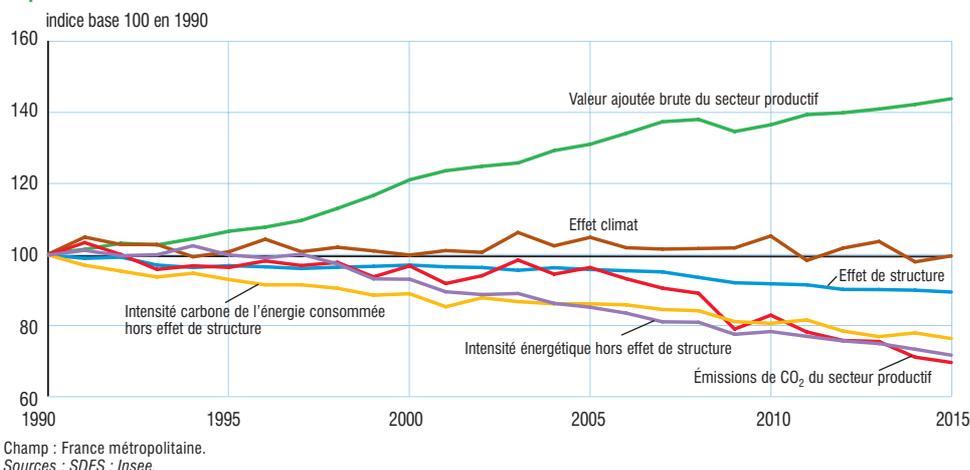
4. Répartition des émissions de CO₂ liées à l'énergie et de la valeur ajoutée entre secteurs en France en 2015



Champ : France métropolitaine.
Source : SDES.

Entre 1990 et 2015, malgré une hausse de la valeur ajoutée de 44 %, les émissions du secteur productif ont baissé de 31 % soit 1,5 % par an en moyenne (*figure 5*). La contribution de l'effet de structure (*encadré 2*) représente environ un tiers de cette baisse : il correspond à l'augmentation de la part du tertiaire dans la valeur ajoutée, passée de 74,5 % à 78,5 % au détriment de l'agriculture (- 0,3 point) et de l'industrie (- 3,7 points), plus intensives en émissions. La baisse de la part de l'industrie s'est accompagnée d'un remplacement d'une partie de la production industrielle domestique par des importations. Hors cet effet de structure, l'intensité énergétique finale à l'intérieur des trois branches a baissé de 1,3 % par an en moyenne et l'intensité carbone de l'énergie consommée a de surcroît baissé de 1,1 %. Cette dernière baisse est due en grande partie à la hausse des parts de l'électricité et de la biomasse dans le bouquet énergétique des secteurs productifs, deux énergies finales à émissions directes nulles (*encadré 2*). La hausse de la part du gaz naturel, moins émetteur que les autres énergies fossiles, a également joué.

5. Décomposition de l'évolution des émissions de CO₂ dues à l'énergie du secteur productif en France de 1990 à 2015

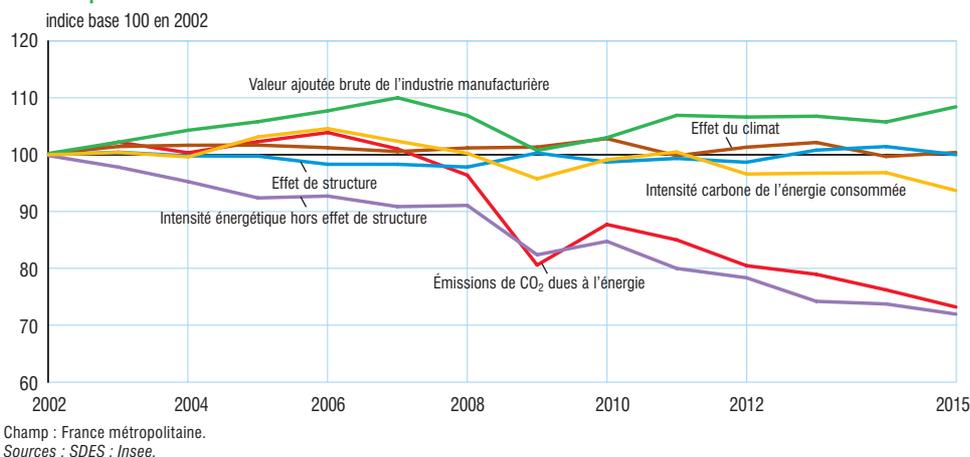


La baisse des émissions de CO₂ dans l'industrie s'explique essentiellement par une amélioration des procédés de fabrication

Les émissions de CO₂ de l'industrie manufacturière ont baissé de 27 % entre 2002 et 2015 (soit une baisse annuelle moyenne de 2,4 %), alors que sa valeur ajoutée brute a progressé de 9 % (figure 6). L'impact de la crise économique est manifeste, les émissions chutant fortement en 2009 puis continuant à décroître rapidement après 2010 dans un contexte de faible dynamisme de l'activité globale.

Au-delà de la crise, la baisse de l'intensité énergétique joue un rôle déterminant dans celle des émissions de CO₂. Hors effet de structure, elle atteint - 28 % entre 2002 et 2015, soit - 2,5 % par an, reflétant une forte amélioration de l'**efficacité énergétique** des procédés de fabrication dans les différentes branches industrielles. Sur cette période, les réallocations internes à l'industrie manufacturière (effet de structure) sont neutres sur l'intensité énergétique de l'industrie manufacturière.

6. Évolution des émissions de CO₂ dues à l'énergie de l'industrie manufacturière et de plusieurs variables liées en France de 2002 à 2015



Méthodologie et sources

Le principe de cette étude consiste à décomposer les émissions de CO₂ dues à l'énergie (émissions totales ou d'un secteur en particulier) comme étant le produit de plusieurs facteurs qui comprennent, en général, un indicateur d'activité, l'intensité énergétique (ratio de la consommation d'énergie à cet indicateur), l'intensité carbone de l'énergie (ratio des émissions à la consommation d'énergie) et, le cas échéant, un effet de structure ou un effet du climat. La décomposition est présentée en base 100 ; ainsi, l'indice représentant l'évolution des émissions est égal au produit des indices correspondant aux différents facteurs (à un multiple de 100 près).

L'intensité carbone de l'énergie primaire peut elle-même être décomposée en plusieurs facteurs : l'intensité carbone des énergies fossiles, la contribution du nucléaire et celle des énergies renouvelables. La décomposition est ici faite selon la méthode dite « LMDI » (*logarithm mean divisia index*) [Ang, 2004] et est également présentée de façon multiplicative (en base 100).

L'effet de structure correspond aux conséquences de l'évolution de la structure interne d'un ensemble de secteurs, par opposition aux effets « purs » d'intensité (énergétique ou carbone). Cet effet de structure capte, par exemple, la contribution de la tertiarisation à la baisse des émissions de CO₂ liée au fait que dégager un euro de valeur ajoutée dans le tertiaire nécessite de moins émettre de CO₂ en moyenne que dans l'industrie ou l'agriculture. Le calcul de cet effet se fait grâce à la méthode LMDI [Ang, 2004]. Cette méthode, qui permet une décomposition parfaite (sans résidu), est usuelle pour l'analyse des émissions de CO₂ et des consommations d'énergie depuis le début des années 2000 [Ang, 2004].

À titre d'exemple, les formules appliquées pour la décomposition de l'intensité énergétique d'un agrégat donné entre contribution de l'effet de structure (D_{str}) de l'intensité énergétique « pure » (D_{int}) entre l'année 0 et l'année T sont décrites ci-dessous :

$$D_{str} = \exp \left(\sum_i \frac{(E_i^T - E_i^0) / (\ln E_i^T - \ln E_i^0)}{(E^T - E^0) / (\ln E^T - \ln E^0)} \times \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right) \right)$$

$$D_{int} = \exp \left(\sum_i \frac{(E_i^T - E_i^0) / (\ln E_i^T - \ln E_i^0)}{(E^T - E^0) / (\ln E^T - \ln E^0)} \times \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right) \right)$$

La consommation énergétique totale de l'agrégat est E et sa valeur ajoutée est VA. Il est divisé en i secteurs, chacun avec une consommation énergétique E_i , une part dans l'activité totale $S_i = VA_i / VA$ et une intensité énergétique $I_i = E_i / VA_i$.

Elle est appliquée ici à l'ensemble du secteur productif en distinguant l'agriculture, l'industrie et le tertiaire ; à l'industrie manufacturière en distinguant 12 branches correspondant au niveau A38 de la nomenclature ; aux transports (de marchandises et de voyageurs) en distinguant les différents modes (route, ferroviaire, etc.).

Une partie des émissions des secteurs résidentiel, tertiaire et industriel, liée au chauffage, est sensible aux variations climatiques. Est isolé par conséquent, pour ces secteurs, un effet du climat, différence entre la consommation réelle et la consommation dite « corrigée des variations climatiques » qui aurait été observée avec des températures égales à leur moyenne sur la période 1980-2015 [CGDD, 2016b].

Les émissions de CO₂ prises en compte sont uniquement les émissions directes, c'est-à-dire celles liées à la combustion. Cela exclut notamment les émissions liées à la consommation d'électricité, qui sont délicates à répartir entre secteurs. Toutefois, inclure ces émissions indirectes aurait un impact modéré sur les résultats présentés ici compte tenu du contenu carbone relativement faible de la production d'électricité en France. Les émissions liées à la combustion de biomasse et de biocarburants sont considérées comme nulles, comme dans les inventaires officiels de gaz à effet de serre (GES), car on considère que le carbone émis dans l'atmosphère a été prélevé au préalable dans l'atmosphère lors de la croissance de la plante. Les émissions des transports excluent le transport maritime et aérien international.

Les émissions du résidentiel ne sont pas étudiées en détail en raison de l'importance des émissions indirectes dues à l'électricité dans ce secteur, notamment celles liées au chauffage, et de la difficulté à les mesurer.

La principale source utilisée dans cette étude pour les émissions de CO₂ et la consommation d'énergie est le bilan de l'énergie du service de la donnée et des études statistiques (SDES) du ministère de la Transition écologique et solidaire [CGDD, 2016b]. Les données de PIB et de valeur ajoutée par secteur sont issues des comptes nationaux. La décomposition de la consommation d'énergie par sous-secteur industriel depuis 2002 provient de l'Enquête annuelle sur les consommations d'énergie dans l'industrie (EACEI) de l'Insee. Les décompositions relatives aux transports s'appuient essentiellement sur les comptes du transport du SDES, ainsi que sur des données de la SNCF en ce qui concerne la répartition des consommations d'énergie et des émissions du mode ferroviaire.

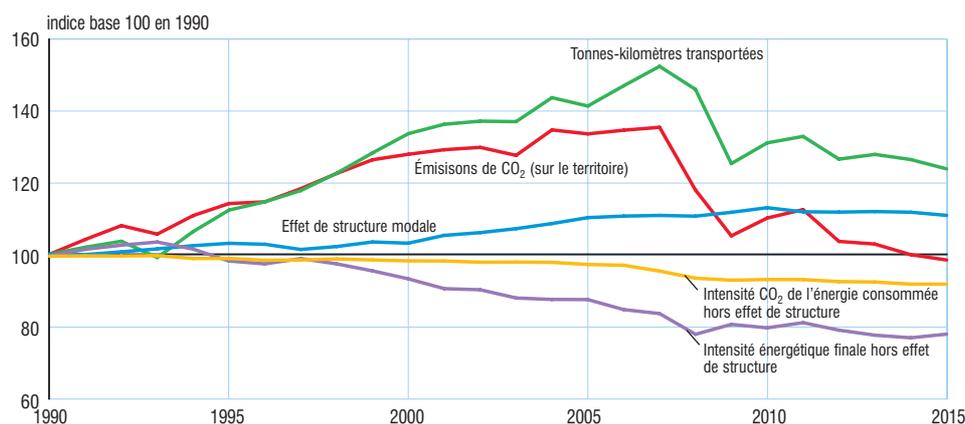
Le champ géographique est la France métropolitaine.

En effet, l'expansion de branches intensives en énergie, la chimie notamment, et le déclin de certaines branches peu intensives comme le textile sont compensés par la croissance d'autres d'industries peu intensives, comme la pharmacie. La baisse de l'intensité carbone de l'énergie consommée de 7 % sur la période, liée au développement de la biomasse et du gaz naturel au détriment du pétrole, a également contribué à la diminution des émissions de CO₂, mais plus modestement que l'intensité énergétique.

Dans le transport de marchandises, la diminution de l'activité depuis 2008 est la principale cause de la baisse des émissions de CO₂ de ce secteur

Entre 1990 et 2015, les émissions de CO₂ du transport de marchandises ont globalement baissé de 2 % (figure 7). En 2015, ces émissions représentent 22 millions de tonnes de CO₂, soit 8 % des émissions de CO₂ dues à l'énergie en France. Après une hausse jusqu'en 2008, les émissions chutent à l'occasion de la crise économique de 2008-2009, puis, après un faible rebond, diminuent régulièrement depuis 2011 (- 3,1 % par an en moyenne) à la suite de la baisse des activités mesurée en tonnes-kilomètres (- 1,7 % par an en moyenne).

7. Décomposition de l'évolution des émissions de CO₂ du transport de marchandises en France de 1990 à 2015

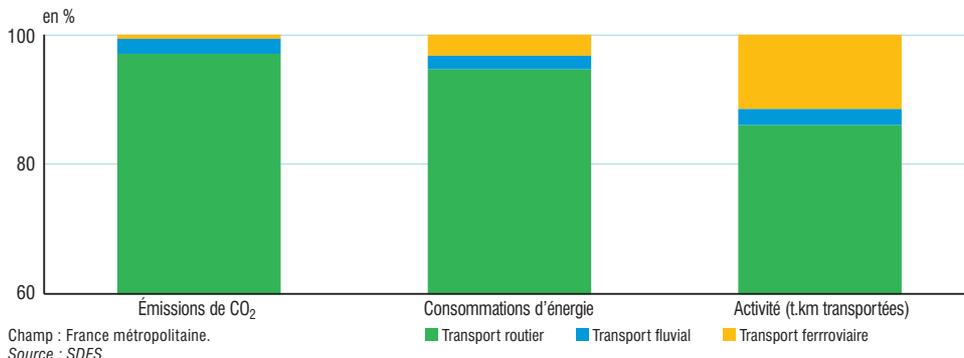


Champ : France métropolitaine.
Sources : SDES ; SNCF.

Le transport de marchandises est largement dominé par le transport routier *via* les poids lourds (86 % des tonnes-kilomètres transportées), devant le transport ferroviaire et fluvial (figure 8). La part du routier prédomine massivement dans la consommation d'énergie (95 %) – les transports ferroviaire et fluvial étant plus efficaces énergétiquement – et dans les émissions de CO₂ (97 %), en raison notamment du recours majoritaire à l'électricité pour le transport ferroviaire. Si la tendance s'inverse légèrement depuis 2010, la **part modale** de la route (marchandises transportées par des poids lourds) a augmenté globalement entre 1990 et 2015, ce qui se traduit par une contribution annuelle moyenne de 0,4 % à la hausse des émissions de CO₂.

Le principal facteur de maîtrise des émissions de CO₂ de transport sur la période 1990-2015 est la diminution de l'intensité énergétique, de 1,0 % par an en moyenne hors effet de structure. Elle est entièrement imputable au mode routier, l'intensité énergétique des modes fluvial et ferroviaire n'ayant pas varié significativement au cours de la période. La baisse observée dans le transport routier résulte de deux facteurs : la croissance du chargement moyen par véhicule de 0,7 % par an en moyenne et la baisse, malgré cette hausse de l'emploi, de la consommation unitaire des poids lourds de 0,3 % par an.

8. Répartition de l'activité de transport de marchandises et des émissions de CO₂ par mode en France en 2015

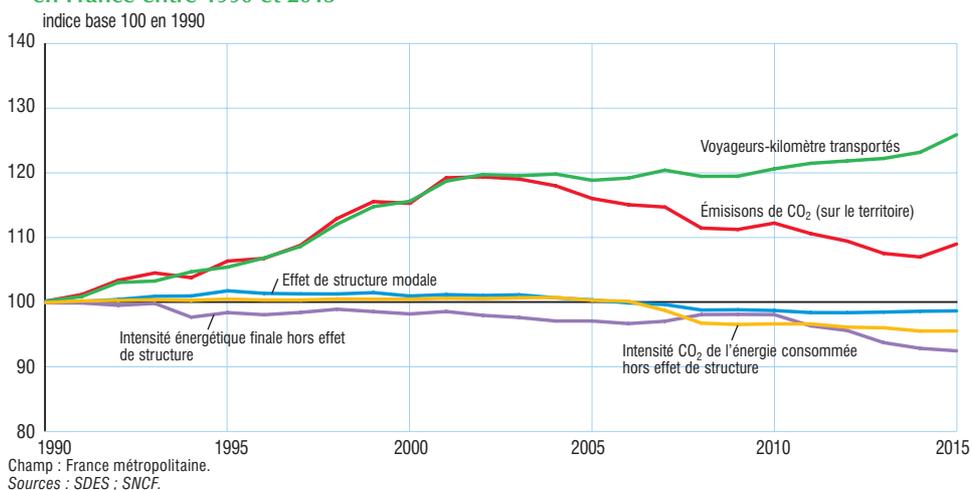


La baisse de l'intensité carbone de l'énergie consommée a également contribué à la maîtrise des émissions de CO₂, à hauteur de -0,4 % par an en moyenne, hors effet de structure. Cette diminution est en grande partie liée à l'incorporation de biocarburants dans le gazole consommé par les poids lourds. Le basculement d'une partie du transport ferroviaire de la traction diesel vers la traction électrique a également participé à la baisse des émissions de CO₂, mais dans une moindre mesure.

L'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules particuliers et l'incorporation de biocarburants ont permis de diminuer les émissions de CO₂ du transport de voyageurs

Entre 1990 et 2015, les émissions de CO₂ du transport de passagers ont augmenté de 9 % (figure 9). En 2015, ces émissions représentent 74 millions de tonnes de CO₂, soit 25 % des émissions de CO₂ dues à l'énergie. Deux sous-périodes se distinguent : jusqu'au début des années 2000, les émissions s'accroissent, comme le nombre de voyageurs-kilomètres ; à partir de

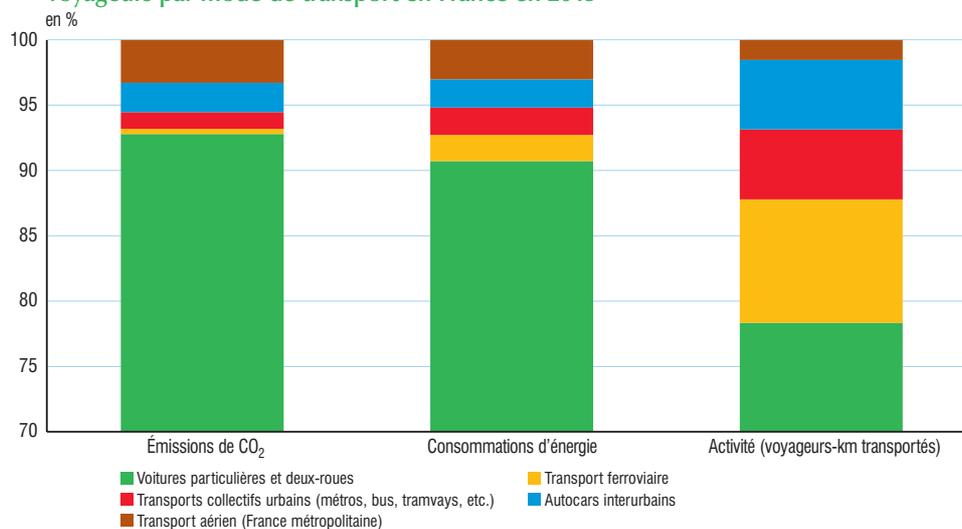
9. Décomposition de l'évolution des émissions de CO₂ du transport de voyageurs en France entre 1990 et 2015



2003, la tendance est à la baisse (– 1,1 % par an en moyenne entre 2003 et 2013), même si les émissions de CO₂ ont rebondi en 2015.

De façon analogue au transport de marchandises, la route est le mode prédominant en matière de voyageurs-kilomètres (78 %), et plus encore en matière de consommation d'énergie (91 %) et d'émissions de CO₂ (93 %) (figure 10). Ce mode de transport présente en effet une intensité énergétique et un contenu carbone de l'énergie consommée plus élevés que les transports collectifs terrestres (autocars, transport urbain et ferroviaire)². La modification de la structure modale entre 1990 et 2015 a contribué légèrement à la baisse des émissions de CO₂, (– 0,1 % par an en moyenne), du fait d'une légère réduction de la part de la route.

10. Répartition de l'activité et des émissions de CO₂ du transport de voyageurs par mode de transport en France en 2015



Champ : France métropolitaine.
Sources : SDES.

Entre 1990 et 2015, l'intensité énergétique, en baisse de 0,3 % par an en moyenne hors effet de structure, est là encore le principal facteur de baisse des émissions de CO₂. Les voitures particulières sont évidemment en grande partie responsables de cette évolution. En effet, leur consommation unitaire par kilomètre a diminué de 0,8 % en moyenne annuelle, en raison des progrès technologiques et, dans une moindre mesure, de la diésélisation du parc³. Cet effet l'a emporté sur celui de la baisse du nombre moyen de passagers par véhicule (– 0,4 % par an en moyenne).

L'intensité carbone de l'énergie consommée (hors effets de structure) a diminué de 5 % en 25 ans, soit – 0,2 % par an en moyenne. Cette baisse est en grande partie due à l'incorporation de biocarburants dans le gazole et l'essence consommés par les voitures particulières, les autocars et les autobus. Le basculement d'une partie du transport ferroviaire et collectif urbain de la traction diesel vers la traction électrique a également contribué à cette évolution, mais dans une moindre mesure. La diésélisation a légèrement joué en sens inverse, le gazole affichant un facteur d'émission légèrement plus élevé que l'essence (3,1 contre 3,0 tCO₂/TEP). ■

2. À l'inverse, le transport aérien est environ deux fois plus intensif en CO₂ et en énergie que le transport routier de voyageurs, mais il pèse relativement peu dans le transport intérieur de passagers.

3. En considérant à la fois la consommation énergétique unitaire et le différentiel d'intensité carbone (effets opposés), la diésélisation du parc a légèrement contribué à la baisse des émissions de CO₂. Outre les émissions de CO₂, il faut noter que le diesel présente d'autres externalités négatives pour la qualité de l'air (NO_x, particules).

Définitions

Bouquet énergétique : aussi appelé mix énergétique, il s'agit de la répartition de la consommation d'énergie primaire entre sources d'énergie.

Consommation d'énergie primaire : l'énergie primaire est l'énergie tirée de la nature (soleil, fleuves, vent) ou contenue dans les produits énergétiques tirés de la nature (comme les combustibles fossiles ou le bois) avant transformation. La consommation d'énergie primaire est l'ensemble des énergies primaires utilisées sur le territoire français. La consommation d'énergie finale est l'énergie consommée par les utilisateurs finals, ménages ou entreprises (hors branche de l'énergie) sous différentes formes (électricité, combustibles fossiles ou renouvelables, chaleur).

Efficacité et intensité énergétiques : l'efficacité énergétique est le rapport entre le résultat d'une activité et l'énergie consacrée à cette activité, tandis que l'intensité énergétique est le rapport inverse. Au niveau macroéconomique, l'intensité énergétique est ainsi définie comme le ratio de la consommation d'énergie au PIB [CGDD, 2017].

Intensité carbone de l'énergie : rapport entre les émissions de CO₂ et la quantité d'énergie consommée.

Part modale dans les transports : part des différents modes de transports (routier, ferroviaire, etc.) dans l'activité totale de transport. L'activité est usuellement mesurée en voyageurs-kilomètres pour le transport de voyageurs et en tonnes-kilomètres pour le transport de marchandises. L'évolution des parts modales dans le temps est appelée report modal.

Tonne équivalent pétrole (TEP) : unité de mesure usuelle de l'énergie. C'est l'énergie produite par la combustion d'une tonne de pétrole moyen, soit environ 42 gigajoules (GJ).

Pour en savoir plus

Commissariat général au développement durable (CGDD), « L'efficacité énergétique en France-Évolution entre 2000 et 2016 et comparaison internationale », *Datalab essentiel* n° 113, 2017.

Commissariat général au développement durable (CGDD), *Chiffres clés du climat France et Monde*, coll. « Datalab », novembre 2016a.

Commissariat général au développement durable (CGDD), *Bilan énergétique de la France pour 2015*, coll. « Datalab », novembre 2016b.

Ang B.W., "Decomposition analysis for policy making in energy: which is the preferred method", *Energy Policy*, 2004.
