

Commissariat général au développement durable

Les facteurs d'évolution des émissions de CO₂ liées à l'énergie en France entre 1990 et 2016

sommaire

Les facteurs d'évolution des émissions de CO₂ liées à l'énergie en France entre 1990 et 2016

- 5 - Quels rôles ont joué l'efficacité énergétique et le bouquet énergétique dans l'évolution des émissions de CO₂ de la France ?
- 11 - Quels facteurs d'évolution dans le résidentiel ?
- 17 - Quels facteurs d'évolution dans les transports ?
- 25 - Quels facteurs d'évolution dans le secteur productif ?
- 31 - Données clés
- 33 - Annexes

Document édité par :
**Le service de la donnée et des études
statistiques (SDES)**

contributeur



avant-propos



aire les bons choix en matière de politique d'atténuation du changement climatique nécessite de comprendre quels ont été les déterminants passés de l'évolution des émissions de gaz à effet de serre.

Cette publication a pour objet d'y contribuer sur le champ des émissions de CO₂ dues à la combustion d'énergie, en quantifiant les contributions respectives des évolutions de l'activité, des gains d'efficacité énergétique et de la modification du bouquet énergétique, d'abord de manière agrégée puis par grand secteur.

— **Sylvain Moreau**

CHEF DU SERVICE DE LA DONNÉE ET DES ÉTUDES STATISTIQUES (SDES)

partie 1

Quels rôles ont joué l'efficacité énergétique et le bouquet énergétique dans l'évolution des émissions de CO₂ de la France ?



partie 1 : quels rôles ont joué l'efficacité énergétique et le bouquet énergétique dans l'évolution des émissions de CO₂ de la France ?

En France métropolitaine, les émissions de CO₂ dues à la combustion d'énergie ont diminué, à climat constant, de 18 % entre 1990 et 2016, malgré une hausse concomitante du PIB de 47 %. La tendance à la baisse entre 2005 et 2016 est liée à une forte diminution de l'intensité énergétique et du contenu carbone de l'énergie consommée. La réduction de ce dernier, qui était très liée au développement du nucléaire dans les années 1990, est fortement imputable à celui des énergies renouvelables depuis 2005.

LA BAISSÉ DES ÉMISSIONS DE CO₂ EST LIÉE À UNE RÉDUCTION DE L'INTENSITÉ ÉNERGÉTIQUE ET DU CONTENU CARBONE DE L'ÉNERGIE CONSOMMÉE

CO₂/énergie primaire), selon l'équation dite de « Kaya » :

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

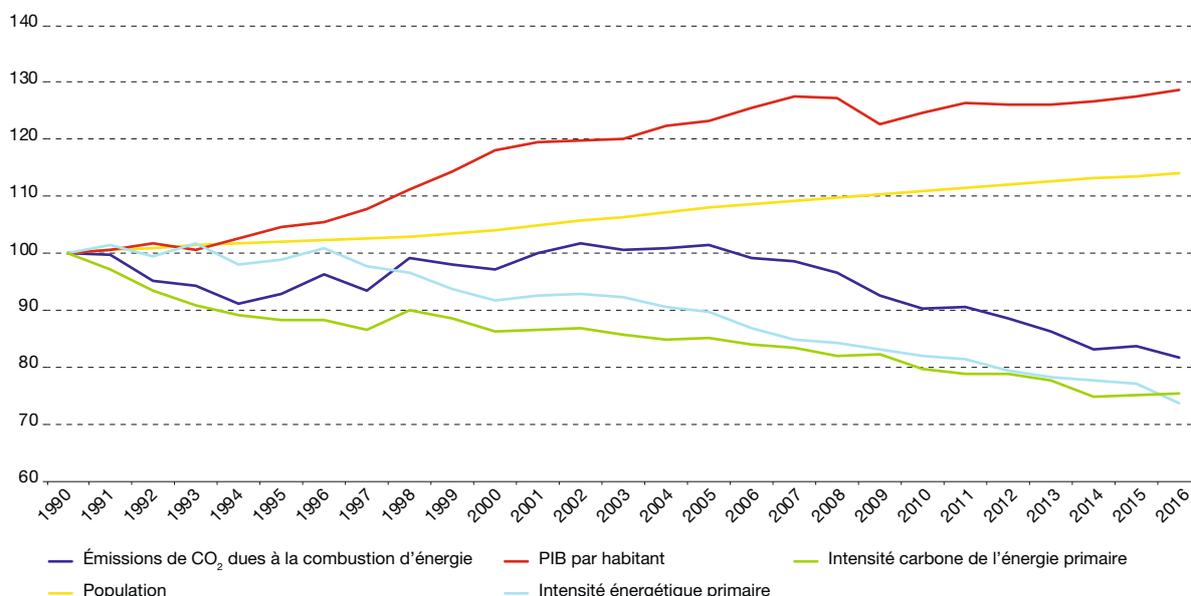
Corrigées des variations climatiques (voir méthodologie), les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) dues à la combustion d'énergie sur le territoire métropolitain s'élèvent en 2016 à 309 millions de tonnes (Mt), soit deux tiers des émissions de gaz à effet de serre (GES) totales de la France. Ces émissions ont baissé de 18 % par rapport à 1990.

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

Suivant cette décomposition, la baisse de 18 % des émissions entre 1990 et 2016 peut ainsi s'expliquer par celles de l'intensité énergétique de l'économie (- 26 %) et de l'intensité carbone de la consommation d'énergie primaire (- 25 %), qui ont largement compensé la croissance démographique (+ 14 %) et la hausse du PIB par habitant (+ 29 %) – (figure 1).

Figure 1 : décomposition de l'évolution des émissions de CO₂ dues à l'énergie en France entre 1990 et 2016 suivant l'équation de Kaya

Base 100 en 1990, données corrigées des variations climatiques



Source : calculs SDES

partie 1 : quels rôles ont joué l'efficacité énergétique et le bouquet énergétique dans l'évolution des émissions de CO₂ de la France ?

Après une relative stabilité entre 1990 et 2005, les émissions de CO₂ baissent régulièrement depuis, de - 2,0 % en moyenne annuelle. Deux facteurs contribuent à cette rupture de tendance : le ralentissement de la croissance économique (+ 0,9 % par an en moyenne sur la période 2005-2016 contre + 1,9 % sur 1990-2005) et une baisse plus soutenue de l'intensité énergétique primaire (- 1,8 % par an en moyenne contre - 0,7 %).

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 (Ic) en

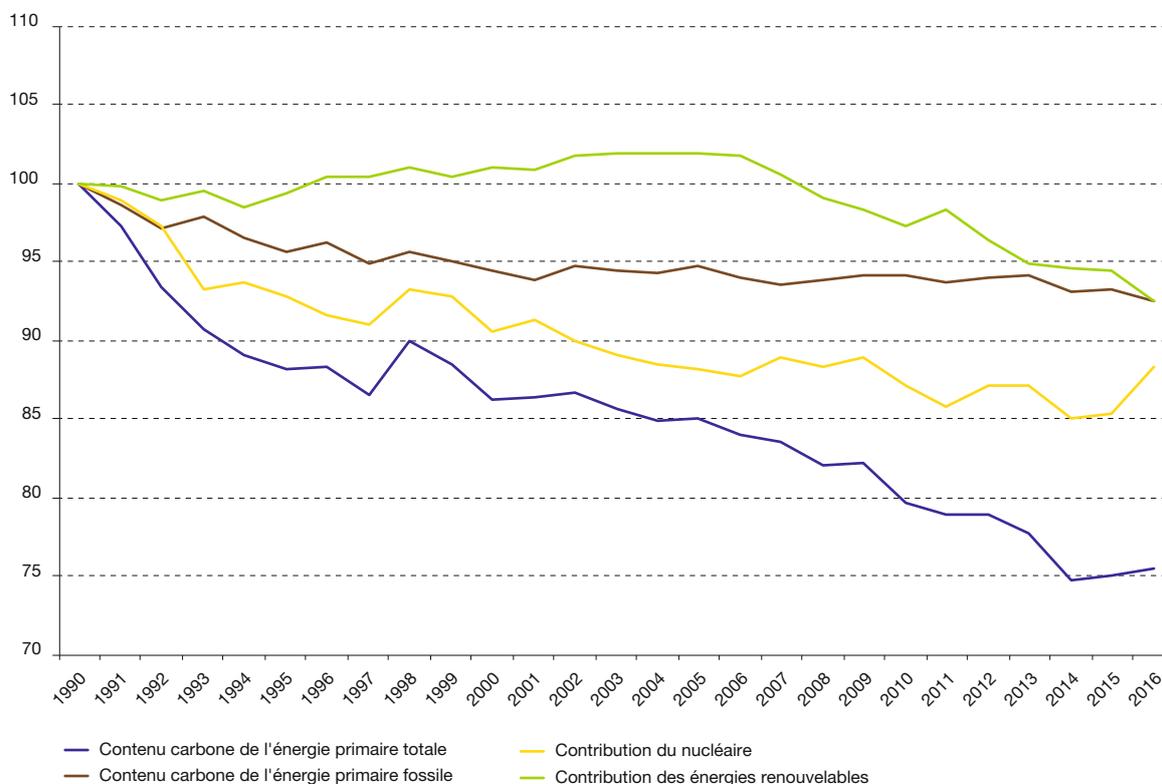
fonction du contenu carbone des seules énergies fossiles et des parts respectives du nucléaire et des énergies renouvelables (EnR) dans le bouquet énergétique :

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

La méthode dite « LMDI » (*logarithm mean divisia index*) (voir méthodologie) est utilisée pour décomposer l'évolution du contenu carbone en la somme d'effets liés à ces trois facteurs (figure 2).

Figure 2 : décomposition de l'évolution du contenu carbone de l'énergie primaire entre 1990 et 2016

Base 100 en 1990, données corrigées des variations climatiques



Source : calculs SDES

partie 1 : quels rôles ont joué l'efficacité énergétique et le bouquet énergétique dans l'évolution des émissions de CO₂ de la France ?

Ainsi, sur la période 1990-2016, le premier facteur de baisse du contenu carbone (- 25 %, de 1,7 tCO₂/tep en 1990 à 1,3 tCO₂/tep en 2016) a été la hausse de la production nucléaire primaire, devant la baisse de l'intensité carbone des énergies fossiles et le déploiement des énergies renouvelables. La baisse du contenu carbone des énergies fossiles (2,6 tCO₂/tep en 2016 contre 2,8 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 joue en fin de période, à partir de 2005, du fait du regain de la consommation de bois-énergie et de l'essor de nouvelles sources, notamment les biocarburants, les pompes à chaleur et l'éolien (voir Datalab « *Les chiffres clés des énergies renouvelables* »). Par ailleurs, la production et la consommation

d'énergies renouvelables peuvent 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.

Selon les résultats de cette décomposition, le déploiement des énergies renouvelables entre 1990 et 2016 aurait permis de diminuer les émissions de CO₂ de 23 millions de tonnes en 2016, par rapport à une situation où la part des énergies renouvelables n'aurait pas progressé, mais où la consommation d'énergie primaire et les proportions des autres énergies auraient été identiques à ce qu'elles ont effectivement été. 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 : une méthode alternative conduit à attribuer à la progression des énergies renouvelables une réduction des émissions de 31 MtCO₂ en 2016 (voir encadré).

partie 1 : quels rôles ont joué l'efficacité énergétique et le bouquet énergétique dans l'évolution des émissions de CO₂ de la France ?

Encadré : 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'énergie obéit à certaines conventions qui influent sur les résultats commentés précédemment. La méthode utilisée ici est celle du « contenu énergétique », qui fait référence au niveau international. Il en existe toutefois d'autres, notamment celle de la « substitution partielle », utilisée par l'agence de l'énergie des États-Unis. Les deux méthodes 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.) – (tableau 1).

Tableau 1 : caractéristiques des méthodes de comptabilisation de l'énergie usuelles

Méthode	Principe	Traitement du nucléaire et de la géothermie	Traitement des EnR 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 photovoltaïque et l'éolien.	Comptabilisation de la chaleur nucléaire ou géothermique, avec des coefficients de conversion par défaut de respectivement 33 % et 10 %. 1 kWh d'électricité nucléaire = 10,9 MJ d'énergie primaire.	Coefficient de conversion de 100 % 1 kWh d'EnR électrique = 3,6 MJ d'énergie primaire.	AIE, 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 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'EnR électrique = 9,3 MJ d'énergie primaire.	WEC (<i>World Energy Council</i>), U.S. EIA, British Petroleum

Source : U.S. Energy Information Agency (EIA), 2017

Les bouquets énergétiques sont contrastés selon la méthode utilisée. La méthode du contenu énergétique conduit, en 2016, à des parts respectives du nucléaire et des énergies renouvelables de 41,3 % et 10,8 % contre 36,0 % et 16,0 % pour la méthode de substitution partielle. Ces écarts se retrouvent dans les contributions du nucléaire et des énergies renouvelables à l'évolution des émissions de CO₂. Ainsi, entre 1990 et 2016, la contribution des énergies renouvelables, estimée à - 7,6 % avec la méthode du contenu énergétique, passe à - 10,0 % avec celle de substitution partielle. À l'inverse, la contribution du nucléaire, estimée à - 11,8 % avec la méthode du contenu énergétique, est réduite à - 10,3 % avec la méthode de substitution partielle. Chacune de ces méthodes comporte des limites. Celle du contenu énergétique, même si elle présente une certaine cohérence d'un point de vue physique, sous-estime le poids des énergies renouvelables électriques et surestime celui du nucléaire par rapport à leurs contributions réelles au bouquet de production d'électricité. La méthode de substitution partielle évite cet écueil, mais raisonner à production d'électricité constante, comme elle le fait, est également critiquable dans la mesure où l'électricité peut elle-même se substituer à d'autres formes d'énergie.

partie 2

Quels facteurs d'évolution dans le résidentiel ?



partie 2 : quels facteurs d'évolution dans le résidentiel ?

Les émissions de CO₂ (y compris les émissions indirectes liées à la consommation d'électricité et de chauffage urbain) du secteur résidentiel ont diminué de 28 % entre 2005 et 2016 après être restées relativement stables entre 1990 et 2005. Cette baisse est imputable en grande partie à la diminution du contenu carbone de l'énergie, qui s'explique elle-même par le regain des énergies renouvelables thermiques ainsi qu'à la décarbonation du bouquet de production d'électricité. L'amélioration des performances thermiques des logements, découlant des réglementations thermiques sur les constructions neuves et des politiques d'incitation à la rénovation, y contribue aussi, mais cet effet est annulé en grande partie par la hausse du nombre de logements et celle de leur surface moyenne.

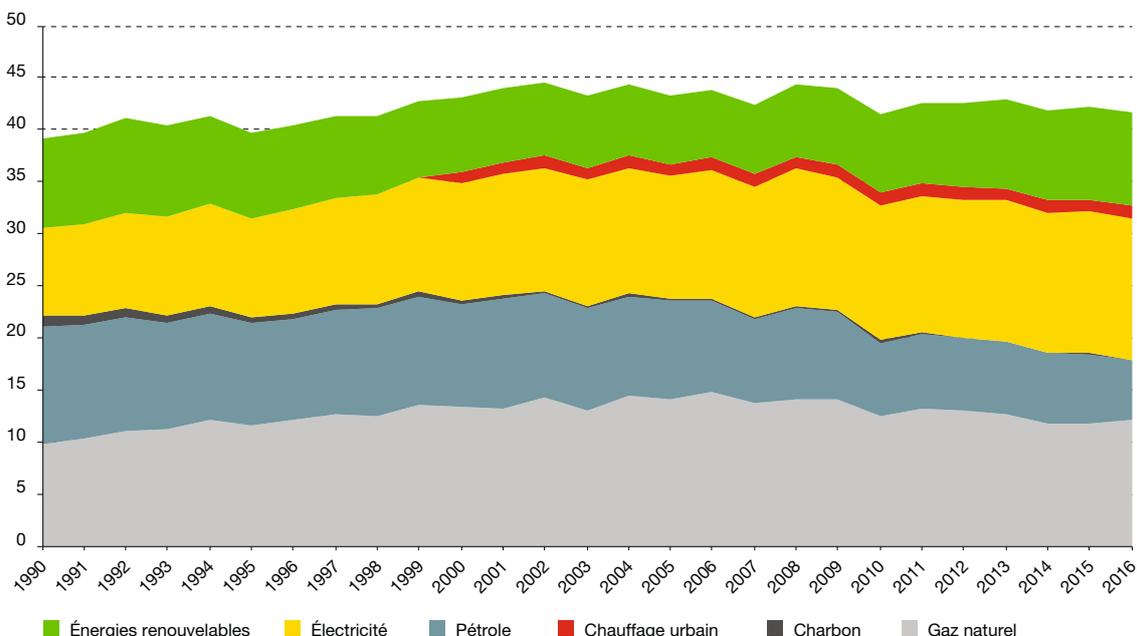
LES ÉMISSIONS DE CO₂ DU RÉSIDENTIEL BAISSENT TENDANCIELLEMENT DEPUIS 2010, SOUS L'EFFET DE LA STABILISATION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE ET DE LA BAISSÉ DE SON CONTENU CARBONE

Corrigée des variations climatiques, la consommation d'énergie du secteur résidentiel représente 41,7 Mtep en 2016, soit 30 % de la consommation nationale à usage énergétique. Après avoir crû jusqu'au début des années 2000, elle tend à décroître légèrement depuis une dizaine d'années (*figure 3*). L'électricité représente aujourd'hui la première

forme d'énergie utilisée dans le résidentiel, avec un tiers du total, devant le gaz, les énergies renouvelables, le gaz naturel, les produits pétroliers (fioul domestique et gaz de pétrole liquéfié) et le chauffage urbain. Ce bouquet a significativement évolué depuis 1990, l'électricité et, dans une moindre mesure, le gaz s'étant développés au détriment des produits pétroliers et du charbon (ce dernier étant aujourd'hui quasiment absent de la consommation résidentielle). Les énergies renouvelables, principalement le bois-énergie, ont quant à elles décliné jusqu'au milieu des années 2000, mais connaissent depuis cette date un regain significatif.

Figure 3 : consommation d'énergie du secteur résidentiel par forme d'énergie

En Mtep, données corrigées des variations climatiques



Source : calculs SDES

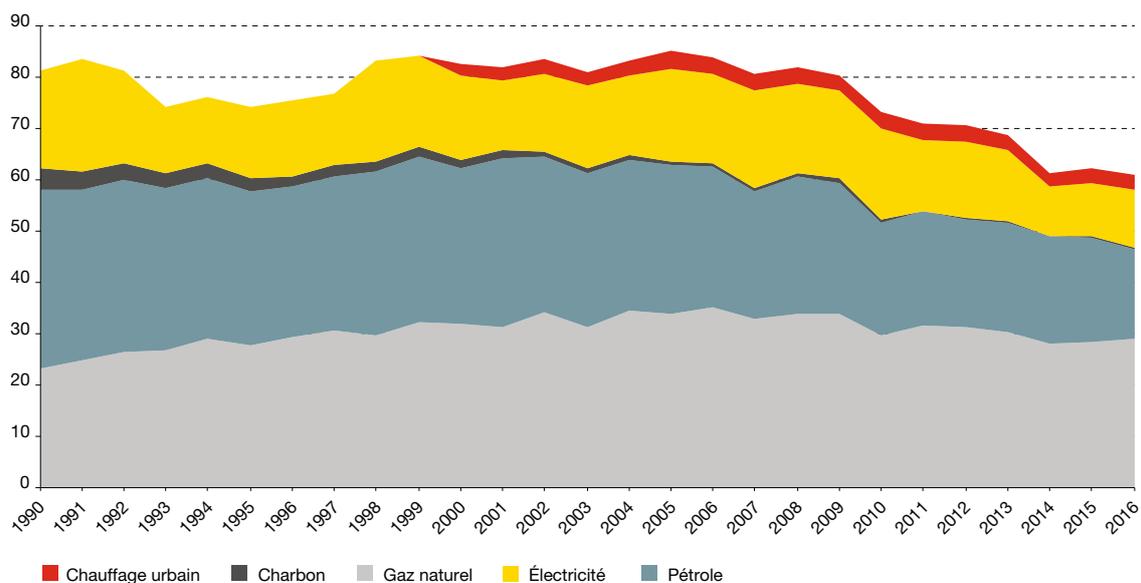
partie 2 : quels facteurs d'évolution dans le résidentiel ?

Les émissions de CO₂ du secteur résidentiel s'élèvent en 2016 à 60,7 Mt (figure 4), soit un cinquième des émissions nationales dues à la combustion d'énergie. Elles sont composées de 46,5 Mt d'émissions directes (gaz : 28,7 Mt ; produits pétroliers : 17,6 Mt) et de 14,2 Mt d'émissions indirectes (voir méthodologie) liées à la consommation d'électricité (11,4 Mt) et à celle de chauffage urbain (2,8 Mt). Au total, les émissions directes ont baissé de 25 % depuis 1990, la hausse des émissions liées au gaz ayant été plus que compensée par la baisse de celles liées aux produits pétroliers. Malgré la hausse de la consommation d'électricité,

les émissions de CO₂ qui lui sont indirectement liées ont également diminué depuis 1990 en raison de la forte baisse du contenu carbone de l'électricité produite en France. Cette dernière baisse s'explique elle-même par différents facteurs au cours du temps : le développement du nucléaire a joué un rôle prédominant au début des années 1990 avant que ne prenne le relais, depuis le milieu des années 2000, le développement des énergies renouvelables, auquel il faut ajouter l'accélération de la substitution de gaz au charbon dans le mix électrique.

Figure 4 : émissions de CO₂ du secteur résidentiel par forme d'énergie

En MtCO₂, données corrigées des variations climatiques



Source : calculs SDES

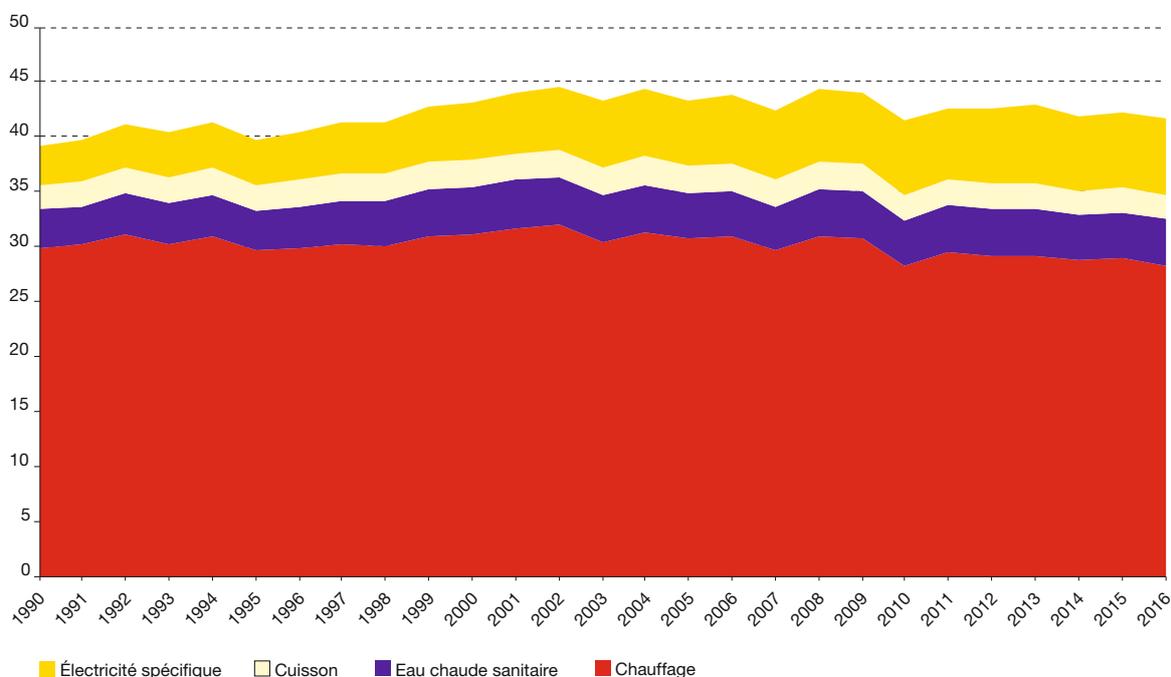
partie 2 : quels facteurs d'évolution dans le résidentiel ?

Le chauffage représente 68 % de la consommation d'énergie résidentielle en 2016, devant les usages spécifiques de l'électricité (17 %), l'eau chaude sanitaire (10 %) et la cuisson (5 %). La consommation de chauffage, stable dans les années 1990, baisse légèrement depuis le début des

années 2000 (figure 5). La consommation d'électricité pour des usages spécifiques a, à l'inverse, presque doublé entre 1990 et 2016, tandis que les consommations liées à la cuisson et à l'eau chaude sanitaire sont restées globalement stables.

Figure 5 : consommation d'énergie du secteur résidentiel par usage

En Mtep, données corrigées des variations climatiques



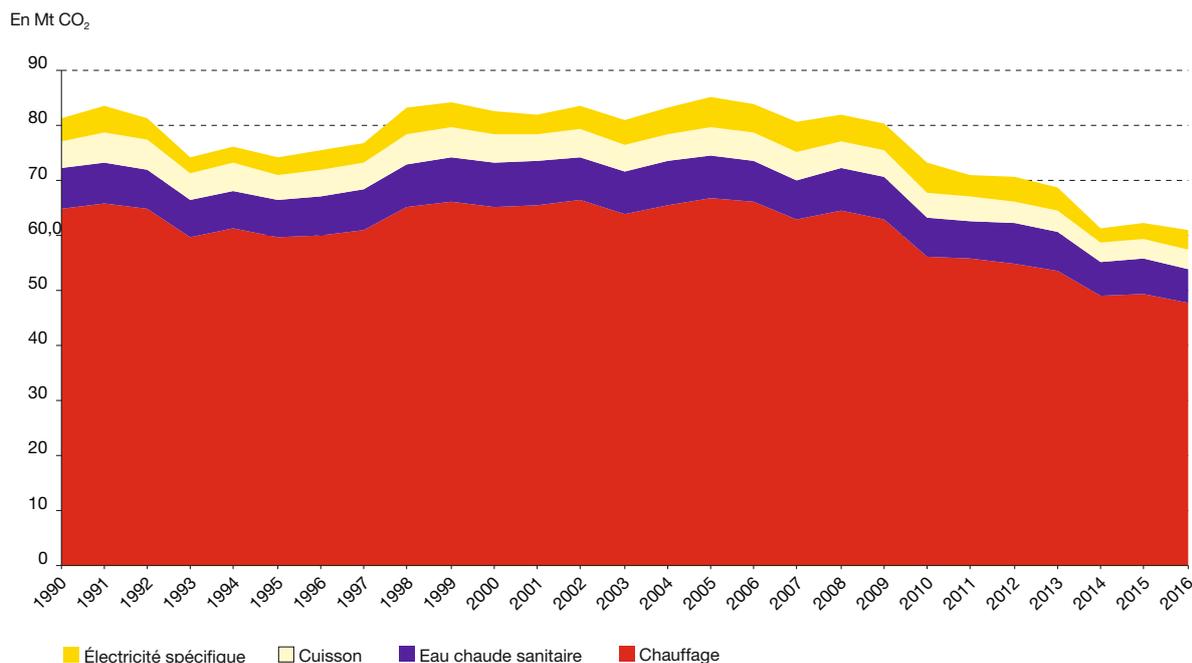
Source : calculs SDES

Le chauffage est encore plus prédominant en matière d'émissions de CO₂, étant à l'origine de 78 % d'entre elles en 2016, que de consommation d'énergie (figure 6). Cela s'explique, d'une part, par le poids plus important des énergies fossiles dans le chauffage que dans l'ensemble des usages, et, d'autre part, par le fait que l'électricité consommée pour le chauffage présente un contenu carbone supérieur à celui des autres usages de l'électricité. En effet, la consommation de chauffage, concentrée sur la période hivernale, nécessite le recours aux moyens de production

d'électricité de pointe, notamment les centrales thermiques à combustibles fossiles. À l'inverse, l'électricité spécifique, dont la consommation, davantage répartie tout au long de l'année, a un contenu carbone moins élevé que celle liée au chauffage électrique, et pèse significativement moins dans les émissions de CO₂ (5 %) que dans la consommation d'énergie. L'eau chaude sanitaire et la cuisson représentent respectivement 10 % et 6 %, parts proches de ce que ces usages pèsent dans la consommation d'énergie.

partie 2 : quels facteurs d'évolution dans le résidentiel ?

Figure 6 : émissions de CO₂ du secteur résidentiel par usage



Source : calculs SDES

Les émissions liées à chacun des usages ont diminué au cours du temps. La chute du contenu carbone de l'électricité spécifique a plus que compensé le quasi-doublement de sa consommation entre 1990 et 2016, les émissions associées baissant de 21 % sur la période. Ce même facteur ainsi que l'expansion du recours à l'électricité, au détriment du fioul pour l'eau chaude sanitaire et du GPL pour la cuisson, sont les principales explications des baisses de respectivement 14 % et 29 % des émissions liées à ces deux usages entre 1990 et 2016. Les émissions liées au chauffage sont étudiées plus en détail ci-après.

LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE DE CHAUFFAGE DÉCROÎT GLOBALEMENT DEPUIS 2005 MALGRÉ L'AUGMENTATION DU NOMBRE DE LOGEMENTS ET LA HAUSSE DE LEUR SURFACE MOYENNE

Les émissions liées au chauffage des résidences principales (qui représentent 97 % des émissions liées au chauffage

résidentiel) peuvent être décomposées, pour en analyser l'évolution (figure 7), comme le produit des termes suivants :

- le nombre d'habitants ;
- le nombre de résidences principales par habitant (soit l'inverse du nombre d'occupants par logement) ;
- la surface par logement ;
- la consommation d'énergie par mètre carré ;
- le contenu carbone de l'énergie consommée.

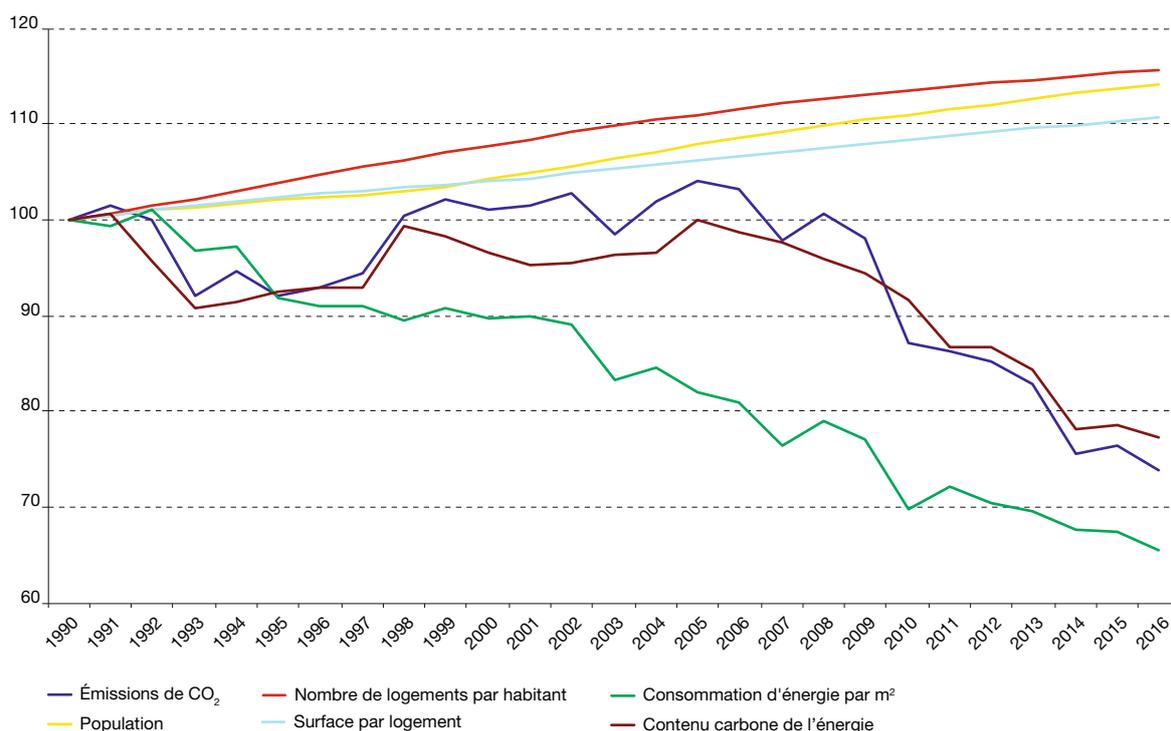
Globalement, les émissions de CO₂ liées au chauffage résidentiel ont baissé de 26 % sur la période 1990 et 2016, au sein de laquelle il faut distinguer deux sous-périodes : la relative stabilité observée jusqu'en 2008 contraste avec le rythme élevé de baisse constaté depuis lors (- 3,1 % par an en moyenne avec une très forte réduction entre 2008 et 2014 et une tendance moins marquée entre 2014 et 2016).

L'évolution du contenu carbone de l'énergie consommée en constitue la principale explication. Le niveau de ce contenu en 2005 était identique à celui de 1990, résultant de la

partie 2 : quels facteurs d'évolution dans le résidentiel ?

Figure 7 : décomposition de l'évolution des émissions de CO₂ liées au chauffage résidentiel

Base 100 en 1990, données corrigées des variations climatiques



Source : calculs SDES

neutralisation de deux effets contraires : d'une part, le développement de l'électricité nucléaire (expliquant la baisse du début des années 1990) et, d'autre part, la baisse relative du recours aux énergies renouvelables. Le regain de ces dernières, notamment le bois et les pompes à chaleur, au détriment du fioul domestique, est le principal facteur à l'origine de la baisse du contenu carbone observée depuis 2005 (- 2,3 % par an en moyenne). La décarbonation du mix électrique et, dans une moindre mesure, celui du chauffage urbain y ont également contribué.

À cet effet de modification du mix énergétique, s'ajoute celui de l'amélioration des performances thermiques des nouveaux logements et des efforts de rénovation des logements existants. La consommation de chauffage au mètre carré diminue ainsi en moyenne de 2,0 % depuis 2005 (contre 1,1 %

par an en moyenne dans les années 1990). Ces gains sont toutefois absorbés en grande partie par la hausse de la surface totale des logements (+ 1,3 % par an en moyenne depuis 2005), qui trouve son origine dans la croissance de la population (+ 0,5 % par an en moyenne), dans l'augmentation de la taille moyenne des logements (+ 0,4 % par an en moyenne) et dans celle du nombre moyen de logements par habitant (+ 0,4 % par an en moyenne). La hausse de ce dernier ratio, qui était plus forte dans les années 1990 (+ 0,7 % par an en moyenne), tend à décélérer aujourd'hui. Elle correspond à la diminution du nombre moyen de personnes occupant un logement, liée au vieillissement de la population et à des ruptures conjugales plus fréquentes. Au total, la consommation d'énergie de chauffage des résidences principales baisse en moyenne de 0,8 % par an depuis 2005.

partie 3

Quels facteurs d'évolution dans les transports ?



partie 3 : quels facteurs d'évolution dans les transports ?

Les émissions du transport de voyageurs ont crû de 8 % entre 1990 et 2016. En effet, la baisse de la consommation des véhicules ainsi que celle du contenu carbone d'origine fossile de l'énergie n'ont pas suffi à compenser la hausse du volume de déplacements, facteur auquel s'est ajoutée la baisse du taux d'occupation des véhicules. Au-delà de la chute d'activité liée à la crise de 2008-2009, des améliorations logistiques et techniques ont permis de limiter les émissions du transport de marchandises, même si la hausse de la part modale de la route a joué en sens inverse. Cette partie analyse successivement le transport de passagers puis celui de marchandises (en excluant les véhicules utilitaires légers).

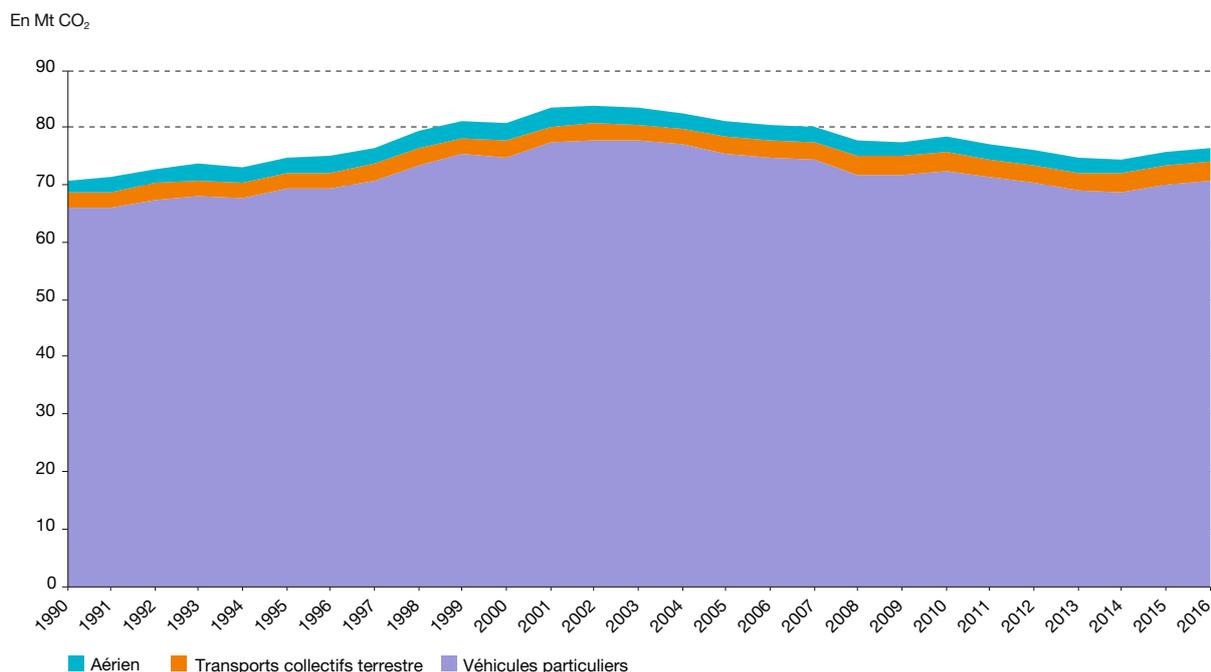
L'AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES VÉHICULES PARTICULIERS ET L'INCORPORATION DE BIOCARBURANTS ONT PERMIS DE DIMINUER LES ÉMISSIONS DE CO₂ DU TRANSPORT DE VOYAGEURS

Le transport de voyageurs est à l'origine de l'émission de 76,4 Mt CO₂ en 2016, soit 25 % des émissions nationales dues à la combustion d'énergie. Le transport individuel routier

(voitures particulières et deux roues) est largement prédominant, représentant 93 % de ces émissions en 2016, contre 4 % pour le transport collectif terrestre (routier et ferroviaire) et 3 % pour les vols intérieurs (figure 8).

Les émissions du transport individuel routier ont crû de 8 % entre 1990 et 2016. Deux sous-périodes se distinguent : jusqu'au début des années 2000, les émissions s'accroissent

Figure 8 : émissions de CO₂ du transport de voyageurs sur le territoire national



Source : calculs SDES

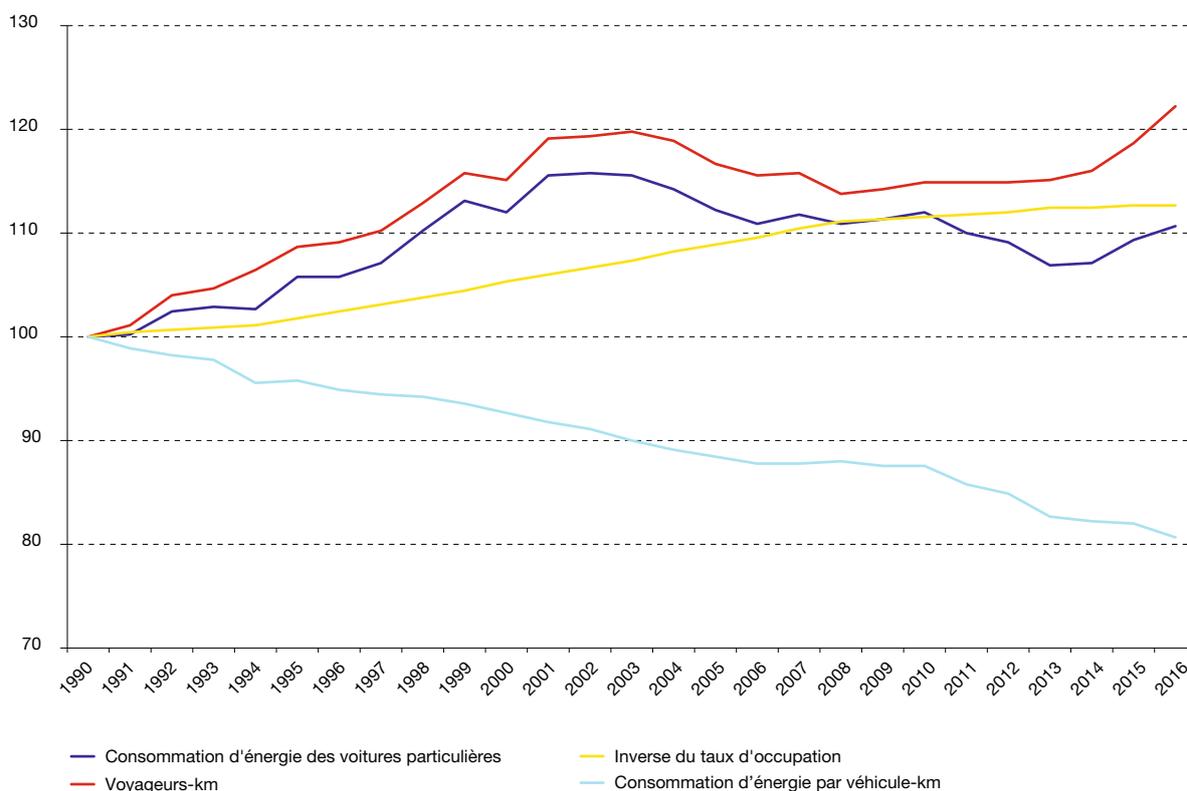
de manière quasiment proportionnelle au nombre de voyageurs-kilomètres ; à partir de 2003, la tendance est à la baisse (- 1,2 % par an en moyenne entre 2003 et 2013), même si les émissions de CO₂ repartent à la hausse depuis 2014. Ce profil s'explique essentiellement par celui de la consommation d'énergie des voitures particulières (qui représentent 98 % des émissions du transport individuel routier en 2016, contre 2 % pour les deux-roues). Cette consommation, très liée au volume de déplacements mesuré

en voyageurs-kilomètres, est tirée à la baisse par l'amélioration technologique des véhicules, la consommation par véhicule kilomètre ayant diminué de 0,8 % par an en moyenne depuis 1990 (hors véhicules immatriculés à l'étranger – figure 9). La baisse du taux moyen d'occupation des véhicules de 1,78 passager en 1990 à 1,58 en 2016, a toutefois joué en sens inverse, même si ce taux tend à se stabiliser aujourd'hui. Le développement de l'incorporation de biocarburants depuis 2005 a par ailleurs contribué à la baisse des émissions.

partie 3 : quels facteurs d'évolution dans les transports ?

Figure 9 : décomposition de l'évolution de la consommation d'énergie des voitures particulières immatriculées en France

Base 100 en 1990



Champ : voitures particulières immatriculées en France.
Source : calculs SDES

Même si elles refluent légèrement depuis 2012, les émissions des transports collectifs terrestres ont, quant à elles, augmenté globalement de 19 % entre 1990 et 2016, en raison du nombre de voyageurs-kilomètres transportés. Cette hausse a toutefois été atténuée par la baisse du contenu carbone de l'énergie utilisée, liée, d'une part, à l'électrification croissante des transports collectifs, et d'autre part, à la baisse du contenu en CO₂ de l'électricité elle-même.

Les émissions du transport aérien (vols intérieurs) sont, en 2016, plus élevées de 15 % que ce qu'elles étaient en

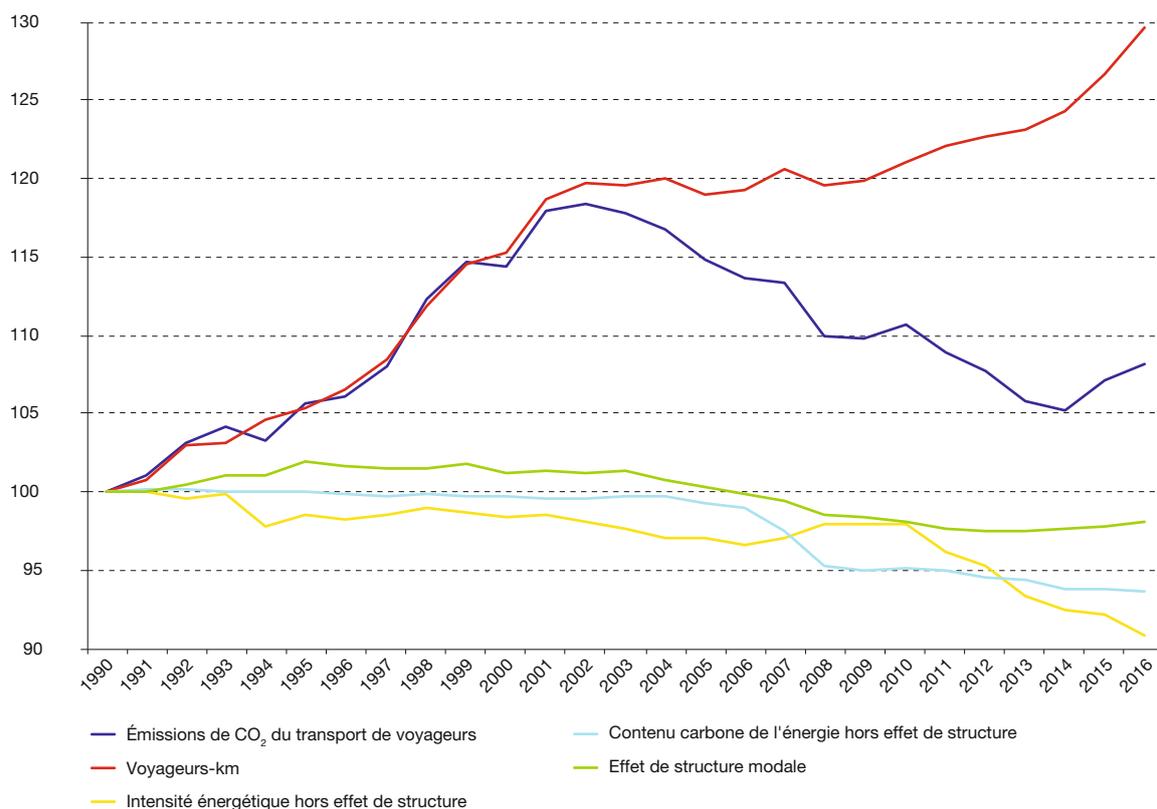
1990. Elles ont crû dans les années 1990 puis diminué dans les années 2000, suivant les mouvements de l'activité (nombre de voyageurs-kilomètres transportés). Depuis 2010, elles tendent à se stabiliser, la baisse de la consommation d'énergie par voyageur kilomètre compensant à peu près le regain d'activité.

Tous modes confondus, les émissions du transport de voyageurs ont augmenté de 8 % entre 1990 et 2016, plus modérément que l'activité mesurée en voyageurs-kilomètres (+ 30 % – figure 10).

partie 3 : quels facteurs d'évolution dans les transports ?

Figure 10 : décomposition de l'évolution des émissions de CO₂ du transport de voyageurs

Base 100 en 1990



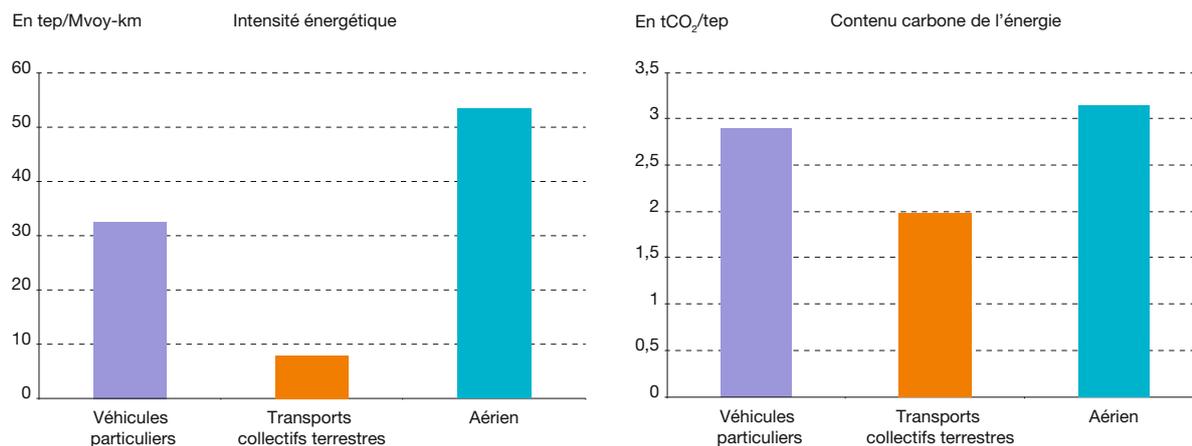
Source : calculs SDES

De manière synthétique, trois facteurs ont contribué à modérer les émissions. Le plus important est la baisse de l'intensité énergétique, de 0,4 % par an en moyenne (hors effet de structure modale), devant celle du contenu carbone de l'énergie consommée, de 0,3 % par an en moyenne (hors effet de structure modale). Le report modal a également joué,

mais de manière globalement assez modeste, à hauteur de - 0,1 % par an en moyenne. La part modale des transports collectifs terrestres, dont la consommation d'énergie est moins élevée par voyageur-kilomètre et moins carbonée que celle des véhicules particuliers (figure 11), a en effet progressé de 17 % à 19 % entre 1990 et 2016.

partie 3 : quels facteurs d'évolution dans les transports ?

Figure 11 : intensité énergétique et contenu carbone de l'énergie du transport de voyageurs par mode en 2016



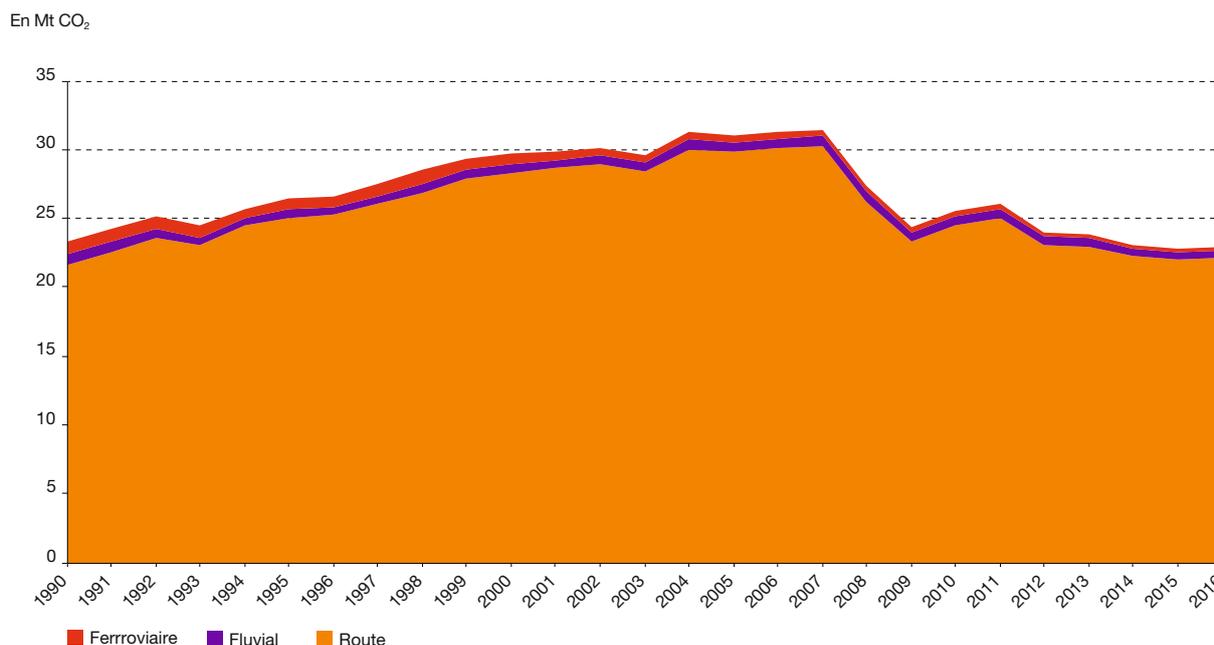
Source : calculs SDES

DANS LE TRANSPORT DE MARCHANDISES, LA DIMINUTION DE L'ACTIVITÉ DEPUIS 2008 EST LA PRINCIPALE CAUSE DE LA BAISSÉ DES ÉMISSIONS DE CO₂

Le transport de marchandises (hors véhicules utilitaires

légers) est à l'origine de l'émission de 22,9 MtCO₂ en 2016, soit 7 % des émissions nationales dues à la combustion d'énergie. Encore davantage que pour les voyageurs, la route est largement prédominante, représentant 97 % de ces émissions en 2016, contre 2 % pour le ferroviaire et 1 % pour le fluvial (figure 12).

Figure 12 : émissions de CO₂ du transport de marchandises sur le territoire national



Source : calculs SDES

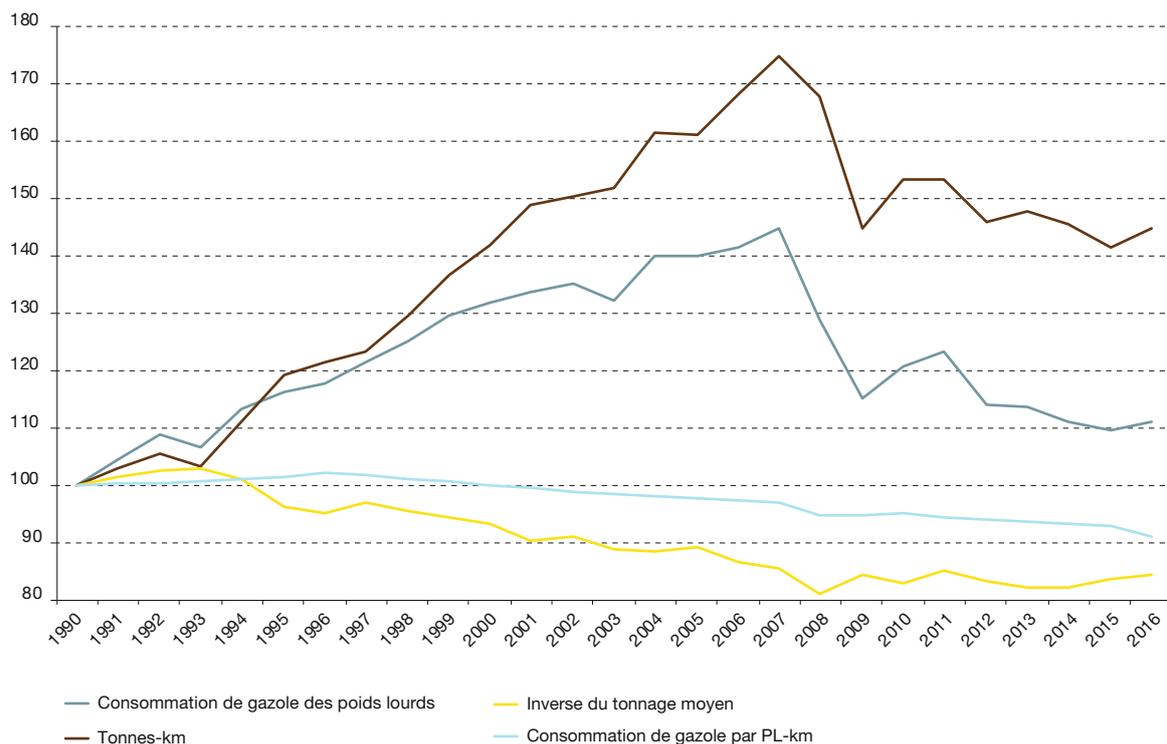
partie 3 : quels facteurs d'évolution dans les transports ?

Les émissions du transport routier de marchandises sont directement liées à sa consommation d'énergie, presque encore exclusivement composée du gazole, même si, du fait de l'incorporation progressive de biodiesel dans ce dernier depuis 2005, ces deux grandeurs ne sont plus strictement proportionnelles. La consommation d'énergie du transport routier de marchandises a augmenté de manière quasi continue entre 1990 et 2008 avant de brutalement chuter sous l'effet de la crise économique et de s'éroder depuis lors. Globalement, sur l'ensemble de la période 1990-2016, cette

consommation a globalement crû de 11 % (figure 13), contre + 45 % pour l'activité du secteur, mesurée en tonnes kilomètres. Cet écart reflète une baisse de l'intensité énergétique (i.e. de la consommation d'énergie par tonne-kilomètre), de 1,0 % par an en moyenne, elle-même imputable à deux facteurs : la croissance du chargement moyen par véhicule de 0,7 % par an en moyenne et la baisse, malgré cette hausse de l'empout, de la consommation unitaire des poids lourds de 0,4 % par an.

Figure 13 : décomposition de l'évolution de la consommation d'énergie des poids lourds

Base 100 en 1990



Source : calculs SDES

partie 3 : quels facteurs d'évolution dans les transports ?

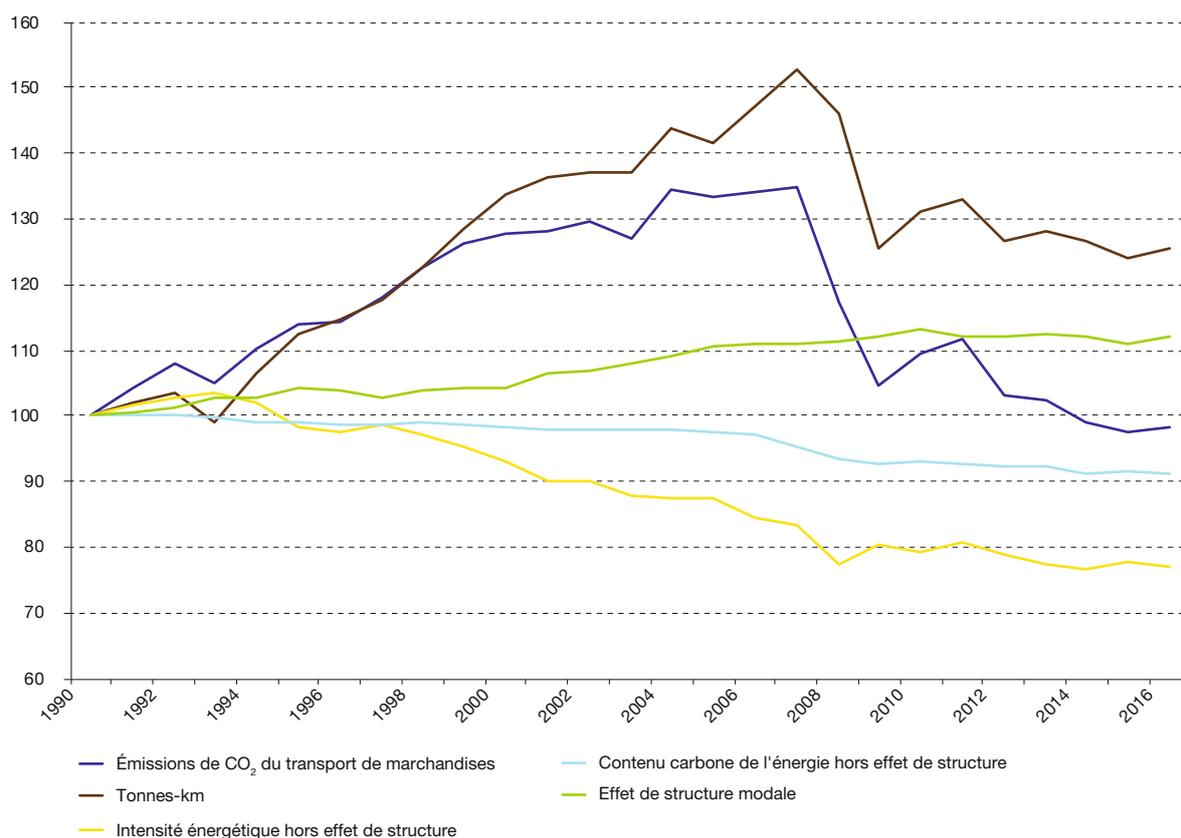
Les émissions du fret ferroviaire ont, quant à elles, décliné de 73 % entre 1990 et 2016. Cela s'explique par deux facteurs : d'une part, la baisse de l'activité du secteur, de 38 % globalement sur la période, qui résulte, au-delà de l'effet amplificateur de la crise de 2008-2009, d'une érosion progressive au cours des années 2000 ; d'autre part, la diminution du contenu carbone de l'énergie consommée, de 56 % sur la période, du fait à la fois de la tendance à l'électrification et de la baisse du contenu carbone de l'électricité elle-même.

Enfin, les émissions du fret fluvial ont diminué de 34 % entre 1990 et 2016, du fait du repli de l'activité du secteur de 5 % et, surtout, de la baisse de son intensité énergétique de 31 %.

Tous modes confondus, les émissions du transport de marchandises ont diminué de 2 % entre 1990 et 2016. Au-delà de la hausse du nombre de tonnes kilomètres transportés (+ 25 %), la modification de la structure modale a contribué à pousser à la hausse ces émissions, à hauteur de 12 % (figure 14).

Figure 14 : décomposition de l'évolution des émissions de CO₂ du transport de marchandises

Base 100 en 1990



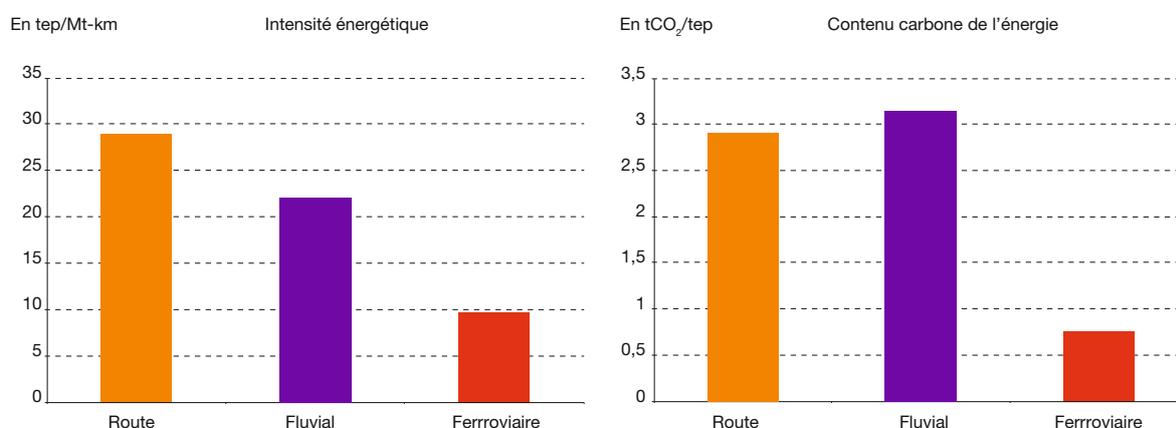
Source : calculs SDES

partie 3 : quels facteurs d'évolution dans les transports ?

En effet, la part de la route a augmenté de 75 % en 1990 à 87 % en 2016, au détriment essentiellement du ferroviaire, alors que ce dernier mode présente une moindre intensité

énergétique (et donc une meilleure efficacité) et émet moins de CO₂ par unité d'énergie (*figure 15*).

Figure 15 : intensité énergétique et contenu carbone de l'énergie du transport de marchandises par mode en 2016



Source : calculs SDES

Le principal facteur, à l'inverse, de maîtrise des émissions de CO₂ de transport de marchandises sur la période 1990-2016 est la diminution de l'intensité énergétique, de 1,0 % par an en moyenne (hors effet de structure modale). La baisse du contenu 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 modale).

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.

partie 4

Quels facteurs d'évolution dans le secteur productif ?



partie 4 : quels facteurs d'évolution dans le secteur productif ?

Les émissions de CO₂ du secteur productif (hors celles liées au transport) ont baissé de 24 % entre 1990 et 2016. L'amélioration des procédés de production, notamment dans l'industrie, et le recours croissant à des énergies peu carbonées sont les principaux facteurs explicatifs de cette baisse. La tertiarisation de l'économie, en partie imputable au remplacement d'une partie de la production domestique par des importations, y a toutefois également contribué.

PRÈS DE LA MOITIÉ DE LA BAISSÉ DES ÉMISSIONS DE CO₂ DU SECTEUR PRODUCTIF EST LIÉE À LA TERTIARISATION DE L'ÉCONOMIE

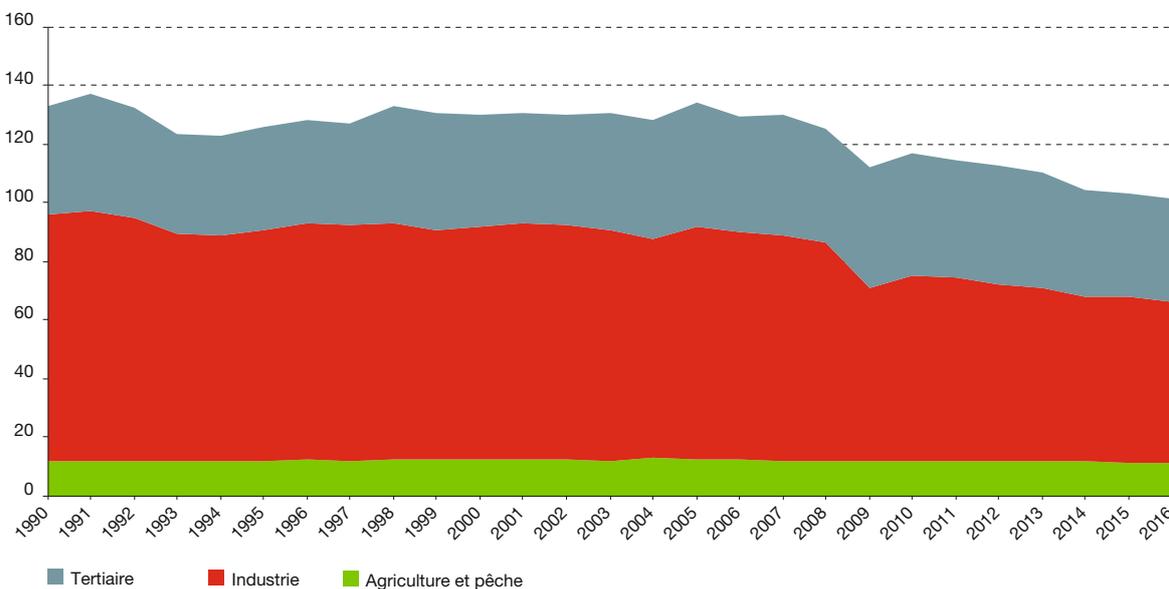
Pour mieux étudier le lien entre les émissions de CO₂ dues à l'énergie et la production (PIB), le secteur productif (industrie, tertiaire et agriculture-pêche) est isolé dans cette partie. Les secteurs ici considérés comme productifs présentent l'avantage d'être reliés à une variable d'activité commune (la valeur ajoutée), ce qui permet d'identifier des effets de structure. La consommation d'énergie liée à l'usage de

transport ainsi que les émissions associées sont exclues de la présente analyse, étant étudiées dans la partie précédente. Le secteur productif représente 41 % de la consommation finale énergétique et 33 % des émissions de CO₂ dues à la combustion d'énergie (y compris émissions indirectes liées à l'électricité et à la chaleur), soit 101 Mt en 2016.

Entre 1990 et 2016, les émissions de CO₂ du secteur productif ont globalement diminué de 24 % entre 1990 et 2016 (figure 16). Par secteur, la baisse s'est élevée à 35 % dans l'industrie, 4 % dans le tertiaire et 1 % dans l'agriculture.

Figure 16 : émissions de CO₂ du secteur productif

En MtCO₂, données corrigées des variations climatiques



Source : calculs SDES

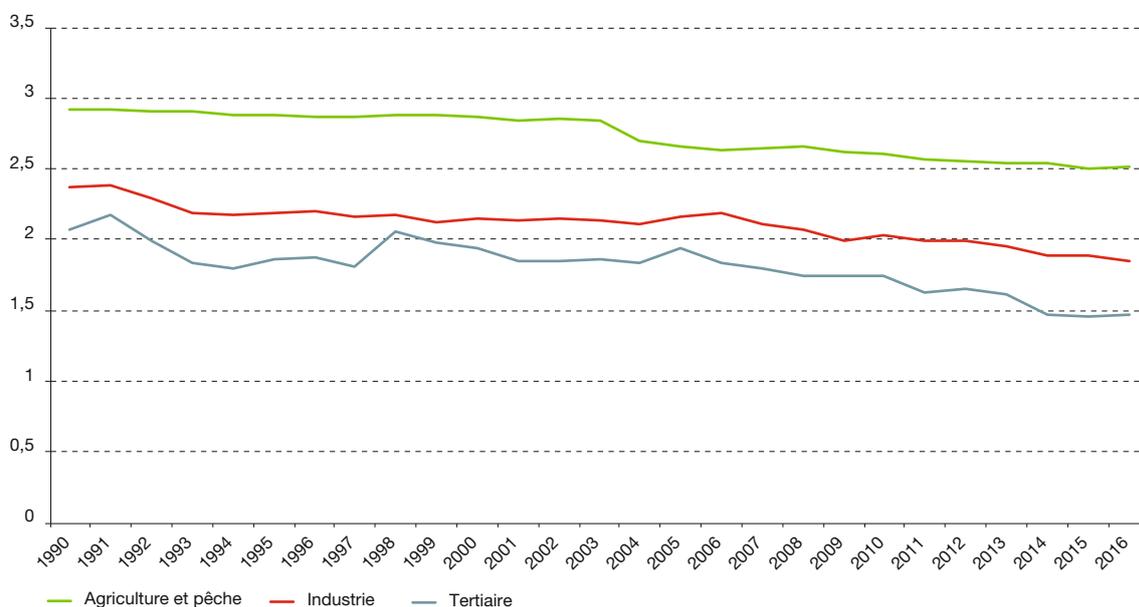
partie 4 : quels facteurs d'évolution dans le secteur productif ?

Cette baisse des émissions du secteur productif s'explique par celle du contenu carbone de l'énergie qu'il consomme. Ce dernier a décliné de 22 % dans l'industrie, de 29 % dans le tertiaire et 14 % dans l'agriculture (figure 17).

Cette baisse reflète de manière générale la progression des énergies décarbonées (nucléaire dans les années 1990 et énergies renouvelables à partir de 2005) au détriment des énergies fossiles, notamment le charbon (voir partie 1).

Figure 17 : contenu carbone de l'énergie consommée par secteur

En tCO₂/tep, données corrigées des variations climatiques



Source : calculs SDES

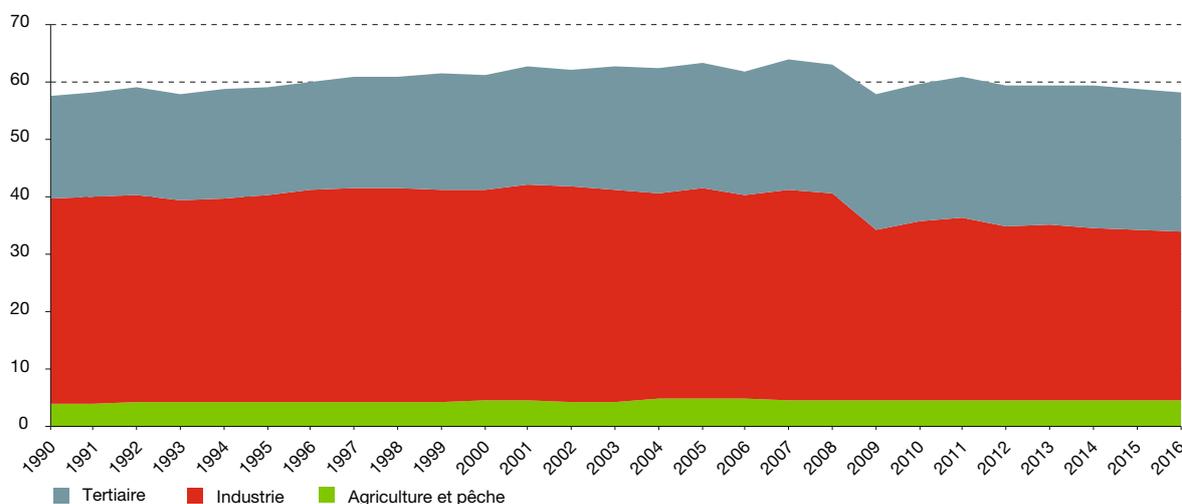
partie 4 : quels facteurs d'évolution dans le secteur productif ?

La consommation d'énergie du secteur productif, quant à elle, s'établit en 2016 à un niveau proche de celle observée en 1990 (figure 18). La baisse de la consommation de

l'industrie (- 18 %) a été en effet compensée par les hausses de celles du tertiaire (+ 35 %) et de l'agriculture (+ 15 %).

Figure 18 : consommation d'énergie du secteur productif

En Mtep, données corrigées des variations climatiques



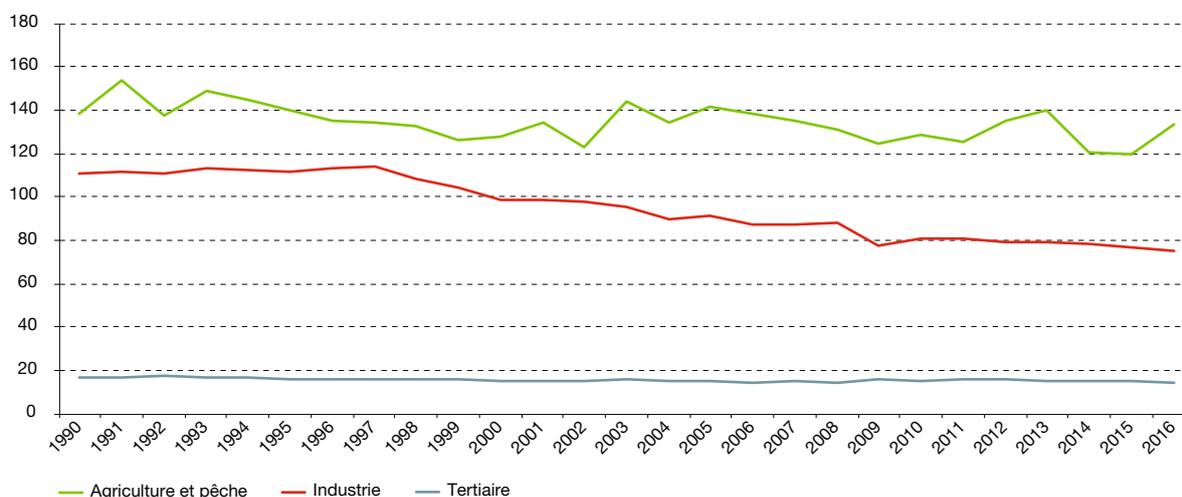
Source : calculs SDES

Dans le même temps, les valeurs ajoutées de l'agriculture, de l'industrie et du tertiaire ont augmenté de 20 %, 22 % et

55 %. Ainsi, les intensités énergétiques de ces trois secteurs ont respectivement diminué de 4 %, 32 % et 13 % (figure 19).

Figure 19 : intensité énergétique par secteur

En tep/M€, données corrigées des variations climatiques



Source : calculs SDES

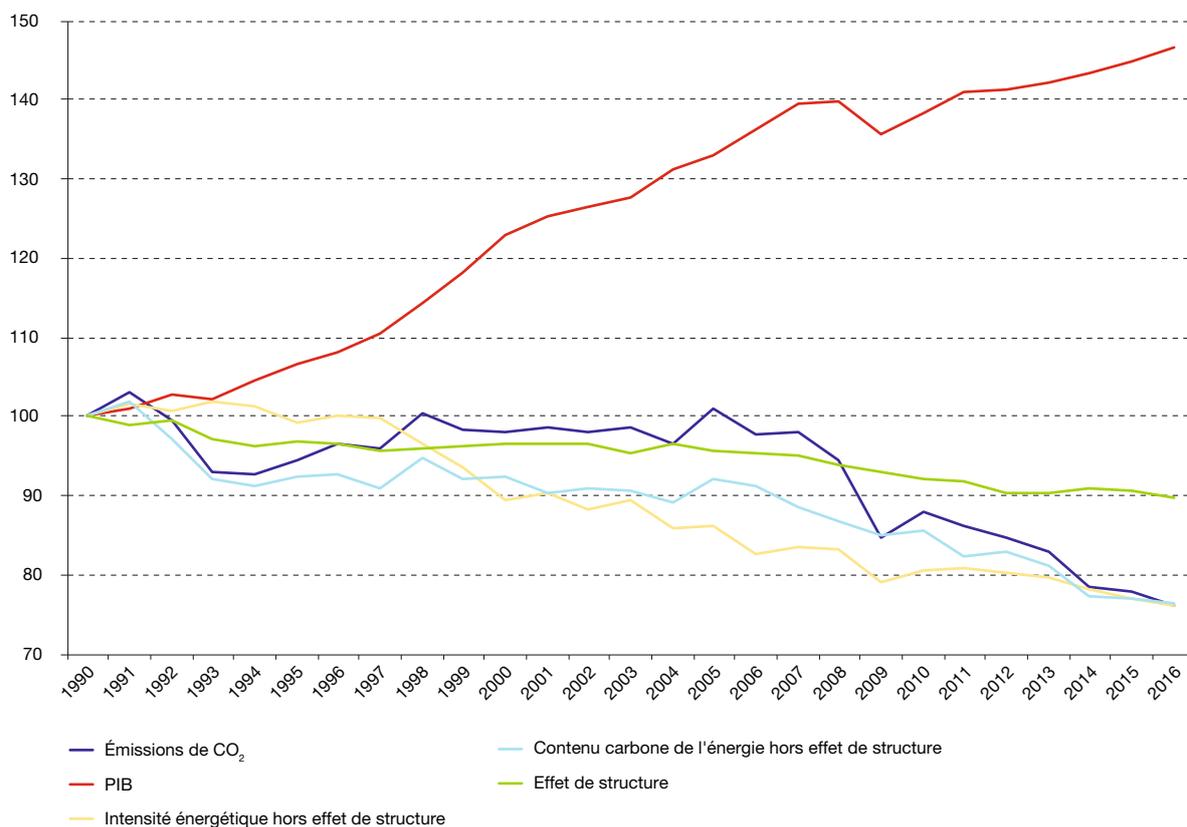
partie 4 : quels facteurs d'évolution dans le secteur productif ?

L'intensité énergétique du secteur productif dans son ensemble a décliné de 31 % entre 1990 et 2016, soit davantage que la moyenne des trois secteurs qui le composent. Cela s'explique par un effet de structure : la période est marquée par une augmentation de la part du secteur tertiaire (de 74,5 % à 78,5 %), moins intensif en énergie que l'industrie et l'agriculture, dans l'économie. Lorsqu'on neutralise cet effet de structure, l'intensité énergétique du secteur productif

apparaît avoir diminué de 24 % (figure 20). Le contenu en émissions de l'énergie consommée a, par ailleurs, également diminué de 24 %, hors effet de structure. L'effet de structure correspondant à la tertiarisation de l'économie a, quant à lui, contribué à hauteur de 10 % à la réduction des émissions. La combinaison de ces trois effets a ainsi plus que contrebalancé la hausse de 47 % de l'activité économique sur la période d'étude.

Figure 20 : décomposition de l'évolution des émissions de CO₂ du secteur productif

Base 100 en 1990, données corrigées des variations climatiques



Source : calculs SDES

partie 4 : quels facteurs d'évolution dans le secteur productif ?

La baisse des émissions est concentrée sur la fin de période, à partir de la fin des années 2000, ce qui est notamment lié au déploiement des énergies renouvelables, au-delà de la poursuite des gains d'efficacité énergétique. La crise économique a également joué un rôle important, d'une part, au travers de son impact sur le PIB et, d'autre part, en accélérant la désindustrialisation de l'économie. La suite de cette partie s'intéresse plus en détail au secteur industriel.

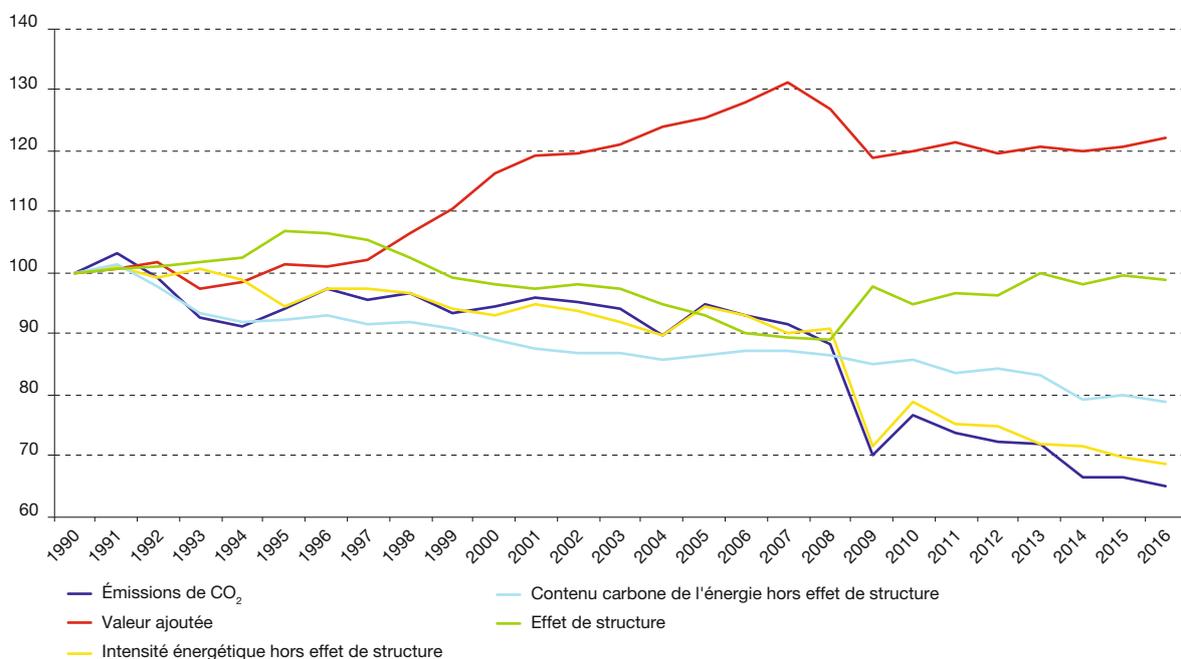
LA BAISSÉ DES ÉMISSIONS DE CO₂ DANS L'INDUSTRIE S'EXPLIQUE ESSENTIELLEMENT PAR UNE AMÉLIORATION DES PROCÉDÉS DE FABRICATION

Les émissions de CO₂ de l'industrie ont baissé de 35 % entre 1990 et 2016, alors que sa valeur ajoutée a progressé de 22 %. 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 - 32 % entre 1990 et 2016, soit, en moyenne, - 1,4 % par an, avec une accélération à - 2,9 % par an depuis 2005 (figure 21). Cette diminution reflète une forte amélioration de l'efficacité énergétique des procédés de fabrication dans les différentes branches industrielles. Sur cette période, globalement, les réallocations internes à l'industrie (effet de structure) sont neutres sur son intensité énergétique. En effet, si jusqu'en 2007, le déclin de la métallurgie tend à faire baisser l'intensité énergétique industrielle, le relatif rebond de ce secteur depuis cette date ainsi que l'expansion de la chimie jouent en sens inverse en fin de période. La baisse du contenu carbone de l'énergie consommée de 21 % sur la période a également contribué à la diminution des émissions de CO₂, mais un peu plus modestement que l'intensité énergétique.

Figure 21 : décomposition de l'évolution des émissions de CO₂ de l'industrie

Base 100 en 1990

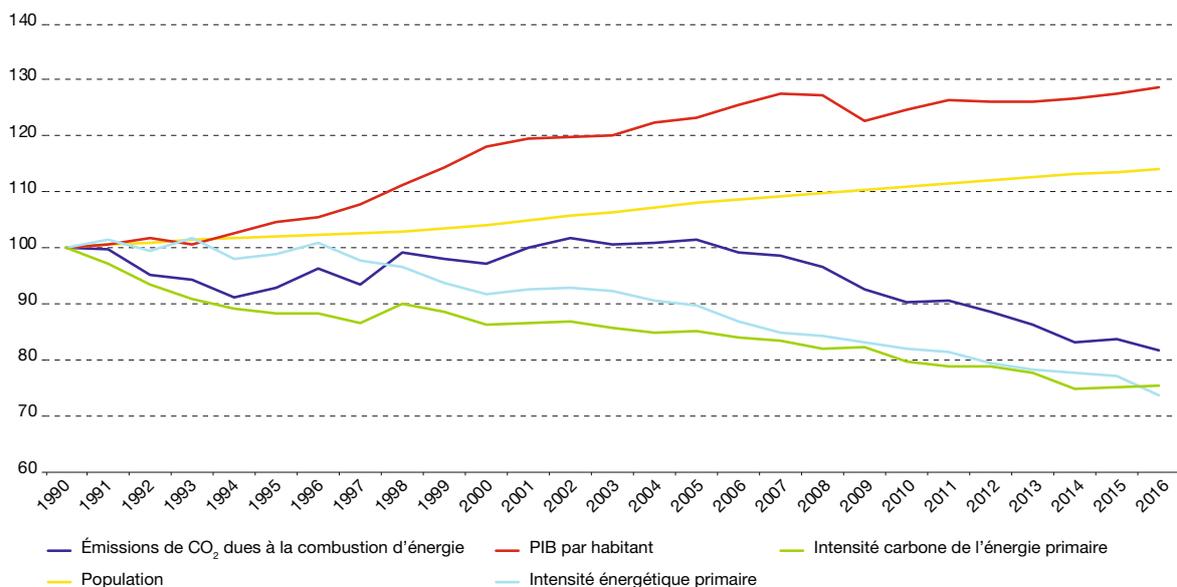


Source : calculs SDES

Données clés

Décomposition de l'évolution des émissions de CO₂ dues à l'énergie en France entre 1990 et 2016 suivant l'équation de Kaya

Base 100 en 1990, données corrigées des variations climatiques



Source : calculs SDES

Baisse des émissions entre 1990 et 2016

- ↘ **25 %** dans le résidentiel ;
- ↘ **2 %** dans le transport de marchandises (hors véhicules utilitaires légers) ;
- ↘ **1 %** dans l'agriculture ;
- ↘ **35 %** dans l'industrie ;
- ↘ **4 %** dans le tertiaire.

Augmentation des émissions entre 1990 et 2016

- ↗ **8 %** dans le transport de voyageurs.

Annexes

- Méthodologie et sources
- Définitions



Méthodologie et sources

La principale source utilisée dans cette étude pour les émissions de CO₂ et la consommation d'énergie est le *Bilan de l'énergie* publié par le service de la donnée et des études statistiques (SDES) du ministère de la Transition écologique et solidaire.

Le champ géographique est la France métropolitaine. Les émissions de CO₂ analysées ici sont celles émises à l'intérieur du territoire national, en excluant le transport maritime et aérien international, selon l'approche utilisée pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre (GES). Les émissions liées aux importations et localisées dans d'autres pays sont exclues de cette comptabilité, leur prise en compte relevant d'une approche différente (empreinte carbone). Le calcul des émissions de CO₂ repose toutefois sur des hypothèses moins fines en termes de facteurs d'émission que celles retenues pour les inventaires officiels nationaux, pouvant impliquer certaines divergences avec ces derniers.

Les émissions de CO₂ attribuées à chaque secteur de consommation finale (agriculture, industrie, tertiaire, résidentiel) incluent non seulement les émissions directes, c'est-à-dire celles liées à la combustion d'énergies fossiles, mais aussi les émissions indirectement liées à la consommation d'électricité et de chaleur commercialisée. Les facteurs d'émission de l'électricité par secteur et, pour le résidentiel, par usage, sont tirés de la base carbone de l'Ademe pour les années 2012 à 2016. Ils sont toutefois recalés de sorte à ce que les émissions totales liées à la production d'électricité correspondent à celles calculées dans le *Bilan de l'énergie*. Les facteurs d'émission pour les années antérieures sont estimés en les faisant évoluer comme le contenu carbone de la production d'électricité. Le facteur d'émission de la chaleur commercialisée est supposé indépendant du secteur et de l'usage et est calculé à partir des données du *Bilan de l'énergie*. 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, car il est considéré que le carbone émis dans l'atmosphère a été prélevé au préalable dans l'atmosphère lors de la croissance de la plante.

Les données sont corrigées des variations climatiques, afin de neutraliser les variations de besoins de chauffage liées aux fluctuations de températures. Plus précisément, les émissions et la consommation d'énergie prises en compte sont celles qui auraient été observées si les températures hivernales avaient été égales à la moyenne de celles observées entre 1986 et 2015 (moyenne glissante sur trente ans).

Les données de PIB et de valeur ajoutée par secteur sont

issues des comptes nationaux, celles de population du recensement.

Dans la partie 2, la répartition par usage de la consommation en chaque forme d'énergie du résidentiel est réalisée à l'aide de données du Ceren. Les données de nombre et de surface de logements sont issues des *Comptes du logement* publiés par le SDES. La série de population provient de l'Insee. La répartition de la consommation de gaz entre résidentiel et tertiaire, non disponible dans le *Bilan de l'énergie* avant 2000, a été rétropolée jusqu'en 1990, à partir de celle observée en 2000. De manière analogue, la répartition de la consommation de chaleur vendue entre résidentiel et industrie, non disponible dans le *Bilan de l'énergie* avant 2007, a été rétropolée jusqu'en 2000, à partir de celle observée en 2007. Avant 2000, la consommation de chaleur vendue n'est pas observée (les consommations de combustibles à des fins de production de chaleur étant directement attribuées aux secteurs de consommation finale de cette chaleur).

Dans la partie 3, les données sont principalement issues des *Comptes du transport* publiés par le SDES. C'est le cas notamment de la consommation d'énergie des véhicules routiers, qui est calculée à partir de la circulation routière sur le sol français. Leur périmètre diffère donc quelque peu de celui du *Bilan de l'énergie*, qui estime les consommations à partir de l'observation des achats de carburants en France. Les véhicules utilitaires légers (VUL) sont par ailleurs exclus de l'analyse, du fait de la difficulté à répartir leur consommation d'énergie (et donc également leurs émissions de CO₂) entre transport de voyageurs et transport de marchandises. La répartition des consommations d'énergie et des émissions du mode ferroviaire entre voyageurs et marchandises est tirée de la base Odyssee de l'Ademe.

Dans la partie 4, l'industrie comprend l'industrie manufacturière et le secteur de la construction. Les hauts-fourneaux, considérés dans le *Bilan de l'énergie* comme faisant partie du secteur de l'énergie, ont été réintégrés ici dans le secteur industriel. La ventilation de la consommation d'énergie au sein de l'industrie est celle utilisée par l'Agence internationale de l'énergie (AIE) pour l'élaboration de ses statistiques énergétiques : elle distingue 12 sous-secteurs industriels.

Cette étude comprend plusieurs **décompositions** de l'évolution des émissions de CO₂ dues à l'énergie (émissions totales françaises ou d'un secteur en particulier). Les émissions sont décomposées 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), le contenu de l'énergie (ratio des émissions à la consommation d'énergie) et, le cas échéant,

un effet de structure. La décomposition est présentée en base 100 en 1990 ; 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'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 (log mean divisia index). 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. La méthode LMDI est également utilisée dans la partie 1 pour décomposer le contenu carbone de l'énergie primaire selon les facteurs suivants : le contenu carbone des énergies fossiles, la contribution du nucléaire et celle des énergies renouvelables.

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_{st}) de l'intensité énergétique « pure » (D_{int}) entre l'année 0 et l'année T sont décrites ci-dessous

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

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

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 sous-secteurs ; aux transports (de marchandises et de voyageurs) en distinguant les différents modes (route, ferroviaire, etc.).

Définitions

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

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.

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.

Consommation d'énergie finale : énergie consommée par les utilisateurs finaux, ménages ou entreprises (hors branche de l'énergie) sous différentes formes (électricité, combustibles fossiles ou renouvelables, chaleur).

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

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).

Conditions générales d'utilisation

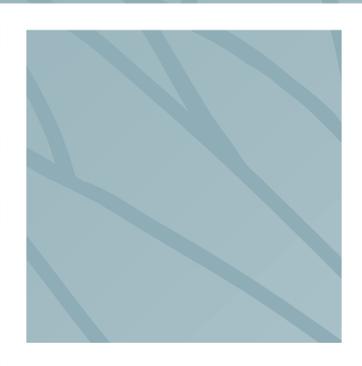
Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille - 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (loi du 1^{er} juillet 1992 - art. L.122-4 et L.122-5 et Code pénal art. 425).

Dépôt légal : août 2018
ISSN : 2557-8138 (en ligne)

Directeur de la publication : Sylvain Moreau
Rédactrice en chef : Anne Bottin
Coordination éditoriale : Claude Baudu-Baret
Maquettage et réalisation : Chromatiques, Paris



Les facteurs d'évolution des émissions de CO₂ liées à l'énergie en France entre 1990 et 2016



En France, les émissions de CO₂ dues à la combustion d'énergie ont diminué, à climat constant, de 18 % entre 1990 et 2016. Cette publication vise à identifier les rôles respectifs de l'activité économique, de l'efficacité énergétique et du bouquet énergétique dans cette évolution, pour chacun des grands secteurs émetteurs.

Le recours à des énergies moins carbonées que par le passé explique la majeure part de la baisse de 25 % des émissions du résidentiel. L'effet positif de l'amélioration des performances thermiques des logements est, quant à lui, annulé en grande partie par la hausse de leur surface.

Malgré l'amélioration des performances des véhicules, le transport génère davantage d'émissions en 2016 qu'en 1990. Outre l'augmentation du volume de transport, deux facteurs ont contribué à cette hausse : la baisse du taux d'occupation des véhicules pour le transport de passagers et la hausse de la part modale de la route pour celui de marchandises.

L'amélioration des procédés de production, le recours croissant à des énergies relativement peu carbonées et la tertiarisation de l'économie expliquent la baisse de 24 % des émissions du secteur productif, malgré une hausse du PIB de 44 %.

Commissariat général au développement durable

Service de la donnée et des études statistiques
Sous-direction des statistiques de l'énergie
Tour Séquoia
92055 La Défense cedex
Courriel : diffusion.sdes.cgdd@developpement-durable.gouv.fr

www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr

