

Les émissions de CO₂ du circuit économique en France

*Fabrice Lenglard, Christophe Lesieur, Jean-Louis Pasquier**

Au niveau micro-économique, le principe du double étiquetage conduit à indiquer au consommateur l'émission de CO₂ associée à la production, au transport et à la distribution du produit qu'il achète. De manière analogue, il est possible d'associer un contenu en émissions de CO₂ à chaque agrégat macro-économique (production et importations du côté de l'offre, consommation, investissement et exportations du côté de la demande), en prenant directement appui sur le cadre central de la comptabilité nationale.

En 2005, les émissions de CO₂ induites par l'activité économique sur le territoire français (les autres gaz à effet de serre sont exclus du calcul) se montent à un peu plus de 400 millions de tonnes (6,7 tonnes par an et par habitant). C'est 1,3 % des émissions mondiales, pour un pays dont l'économie représente 3 % du PIB mondial et le nombre d'habitants 1 % de la population mondiale. Un tiers de ces émissions correspond à la combustion des hydrocarbures (essence, fioul, gaz) utilisés par les ménages pour se déplacer et pour chauffer leurs logements. Deux tiers sont émis par l'appareil de production national.

Cependant, des émissions de CO₂ sont également produites à l'étranger du fait de nos importations ; elles sont en fait supérieures de 20 % aux émissions de notre propre appareil de production. À l'inverse, la demande étrangère induit une partie du CO₂ émis par notre appareil productif au travers des exportations, ainsi qu'une partie du CO₂ lié à nos importations (puisque nous importons certains produits pour les transformer et satisfaire in fine une demande extérieure). Tous calculs faits, les émissions de CO₂ induites par la demande finale française se montent à près de 550 millions de tonnes (9,0 tonnes par an et par habitant), dont 40 % émis chez nos partenaires étrangers. Trois quarts de ces émissions sont induites par les dépenses de consommation des ménages, principalement sur les postes du logement, du transport et de l'alimentation ; 10 % sont induites par les dépenses de consommation des administrations publiques et 15 % par l'investissement.

La quantité de CO₂ induite par la consommation des ménages est clairement croissante avec le niveau de vie : les 20 % des ménages les plus aisés induisent, via leurs achats, 29 % des émissions de CO₂, alors que les 20 % les plus modestes n'en induisent que 11 %. Toutefois, du fait de différences de structure dans les paniers de consommation, le contenu en CO₂ par euro dépensé est en moyenne plus faible pour un ménage aisé que pour un ménage modeste. De même, ce contenu est plus élevé pour les ménages agricoles ou ouvriers que pour les ménages cadres. Il reste que les ménages cadres induisent beaucoup plus d'émissions de CO₂, du fait de leur niveau bien plus élevé de consommation. Par ailleurs, le contenu en CO₂ par euro dépensé est croissant avec l'âge du chef de famille jusqu'à 50 ans et il plafonne au-delà.

Compte tenu des économies d'échelle au sein d'un ménage, la quantité de CO₂ émise par personne est en moyenne décroissante avec la taille du ménage. En France, un habitant induit par sa consommation une émission de 6,4 tonnes de CO₂ par an en moyenne, mais ce chiffre atteint 8,6 tonnes pour les personnes vivant seules, et il ne s'élève qu'à 4,1 tonnes pour les personnes vivant au sein d'une famille nombreuse.

* Fabrice Lenglard et Christophe Lesieur appartiennent au département des Comptes nationaux de l'Insee, Jean-Louis Pasquier au Service de l'observation et des statistiques (SOEs) du Commissariat général au développement durable.

Intégrer les émissions de CO₂ dans le cadre de la comptabilité nationale : un objectif dans la droite ligne des recommandations de la Commission « Stiglitz »

La comptabilité nationale s'est construite au milieu du siècle dernier comme cadre conceptuel de mesure des phénomènes économiques et des résultats de leurs interactions. L'affinement des méthodes et leur mise en commun au niveau mondial n'ont cessé de progresser.

Pour autant, le cadre central de la comptabilité nationale a fait l'objet de critiques renouvelées ces dernières années ; il serait en particulier insuffisamment adapté pour traiter de la problématique du développement durable. C'est ainsi que le Grenelle de l'environnement a posé la nécessité d'élaborer rapidement des indicateurs complémentaires du produit intérieur brut (PIB), afin de prendre en compte les dimensions sociale et environnementale du développement, au-delà de la seule approche économique. De même, en septembre 2009, le rapport de la Commission sur la mesure des performances économiques et du progrès social, dite Commission « Stiglitz », a replacé au cœur du débat public les agrégats de comptabilité nationale, pour en rappeler la pertinence, mais aussi les limites. Les auteurs du rapport y déplorent l'excessive polarisation sur le seul indicateur du PIB, qui mesure la production économique annuelle sur le territoire, et soulignent que le débat public gagnerait à ce que d'autres agrégats (certains déjà produits par la comptabilité nationale, d'autres qui restent à construire mais qui seraient directement liés à son cadre) puissent être mis en avant (voir le dossier *Les préconisations du rapport Stiglitz-Sen-Fitoussi : quelques illustrations*).

Le présent dossier s'inscrit dans le droit fil des recommandations de la Commission « Stiglitz ». Deux d'entre elles sont en effet ici mises en œuvre. D'une part, pour mieux rendre compte des interactions entre activité économique et environnement, la Commission incite à privilégier une approche qui met l'accent sur l'élaboration d'indicateurs physiques évaluant la dégradation de l'environnement induite par l'activité économique (gaz à effet de serre produit en tonnes équivalent CO₂ par exemple), par opposition à une mesure monétaire, jugée moins atteignable à court terme. D'autre part, pour évaluer le niveau de vie de la société, la Commission souligne que l'on ne peut pas se contenter de produire des chiffres globaux, c'est-à-dire de délivrer des évaluations moyennes ; elle insiste sur la nécessité de développer une information statistique nouvelle, visant à décrire, dans un cadre qui reste cohérent avec la comptabilité nationale, la façon dont les agrégats macro-économiques se distribuent parmi la population.

En France, le service de l'observation et des statistiques (SOeS) du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, en charge des comptes satellites de l'environnement, a engagé un programme de travail visant à faire le lien entre l'émission d'un polluant donné, ou d'un gaz à effet de serre, et chaque activité productive, avec un double point de vue : celui du consommateur final autant que celui du producteur. Ce travail est mené en collaboration avec l'Insee, qui fournit des tableaux de comptabilité nationale indispensables à la réalisation de cette tâche, et avec le Citépa (Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique), qui élabore, suivant les recommandations adoptées sous l'égide d'Eurostat, les comptes physiques d'émissions atmosphériques par activités économiques. Ce programme de travail a trouvé un premier aboutissement avec la publication (Pasquier, 2010) de résultats qui retracent d'une part les responsabilités respectives des acteurs (ménages, entreprises et administrations publiques) et des activités économiques (production, consommation) dans les émissions de CO₂ en France, et qui identifient d'autre part le niveau des émissions de CO₂ associées à la demande intérieure française, y compris celles émises à l'étranger via nos importations.

S'agissant de la seconde recommandation, l'Insee dispose depuis de nombreuses années d'enquêtes thématiques auprès des ménages qui permettent de décrire la diversité des situations individuelles (enquêtes revenus fiscaux et sociaux, budget de famille, logement,

patrimoine, ressources et conditions de vie...). Faire le pont entre ces données micro-économiques – dont la mesure comporte une part d'incertitude du fait qu'elles proviennent d'enquêtes par sondage et qu'elles peuvent être affectées par les comportements de réponse des ménages interrogés – avec les données macro-économiques de la comptabilité nationale n'est toutefois pas simple. L'Insee s'est engagé dans un programme de travail de mise en cohérence de ce type. Une première étape a été franchie en 2009 avec la publication (Accardo et al. 2009, Fesseau et al. 2009), sur une année de référence, de la ventilation du revenu et de la consommation, au sens de la comptabilité nationale, selon quatre types de catégories de ménages (quintile de niveau de vie, composition familiale, âge et catégorie socioprofessionnelle de la personne de référence).

On se propose ici, en réunissant ces deux productions statistiques récentes, de montrer qu'il est possible de décrire en détail, en prenant directement appui sur le cadre central de la comptabilité nationale, le rapport entre économie et environnement pour ce qui concerne les émissions de CO₂. Cette description permet de répondre à plusieurs questions simultanément, de façon cohérente d'un point de vue comptable. Quelles activités productives émettent du CO₂ en France et dans quelle proportion ? Quelles quantités d'émissions de CO₂ dans l'atmosphère peut-on rattacher aux différents éléments de la demande finale (consommation, investissement, exportations) ? Étant donné qu'une partie des biens et services absorbés par l'économie française est importée, quelle part des quantités de CO₂ émises pour satisfaire la demande intérieure française est en réalité émise à l'étranger ? Au final, quel bilan dresser des émissions de CO₂ liées à nos échanges extérieurs ? Enfin, les quantités d'émissions de CO₂ induites par la consommation finale des ménages français diffèrent-elles d'une catégorie de ménages à l'autre ou sont-elles simplement proportionnelles au poids de chacune de ces catégories dans la consommation totale ?

La France : 3 % du PIB, 1,3 % des émissions de CO₂ et 1 % de la population dans le monde

En 2005, les émissions de CO₂ liées à l'activité économique dans le monde sont de l'ordre de 32 milliards de tonnes (*figure 1*). Un petit quart des émissions provient d'Amérique du Nord (dont un petit cinquième des États-Unis), un petit quart de l'Europe, de la Russie et des autres pays de la Communauté des États indépendants (dont 13 % des 27 pays de l'Union européenne) et un peu plus d'un tiers de l'Asie (dont 18 % de la Chine). Le reste provient à parts à peu près égales du Moyen-Orient, de l'Amérique Latine et de l'Afrique.

Ces émissions de CO₂ n'ont cessé d'augmenter au fil du temps : en l'espace de 15 ans, elles ont progressé d'un tiers (*encadré 1*). Cette hausse globale accompagne la montée en puissance des pays émergents, liée elle-même au processus de mondialisation de l'économie. Entre 1990 et 2005, les émissions de l'Asie ont été multipliées par 1,8 (par 2,3 pour la Chine) (*figure 1*). Celles de l'Amérique du Nord ont augmenté de 20 %. Celles de l'Europe ont diminué de 15 %, car la hausse, modérée, de 5 % enregistrée en Europe de l'Ouest a été compensée par une baisse plus forte dans les pays d'Europe centrale et orientale, suite à la restructuration de leurs économies. Enfin, les émissions de la Russie et des pays de la CEI ont chuté de l'ordre de 30 %.

En niveau comme en tendance, cette répartition des émissions de CO₂ liées à l'activité économique est clairement corrélée aux produits intérieurs bruts des différents pays. De fait, exprimés en parité de pouvoir d'achat, le PIB de l'Amérique du Nord, celui de l'Europe (y compris Russie et autres États de la CEI), et celui de l'Asie représentent respectivement un quart, un quart (dont 20 % pour l'Union européenne) et un tiers (dont 15 % pour la Chine) du PIB mondial en 2005. La corrélation entre niveau de PIB et émissions de CO₂ apparaît donc forte, sans être totale : elle dépend également de l'intensité avec

La hausse du niveau de vie et celle des émissions de polluants vont-elles nécessairement de pair ?

Un des enjeux fondamentaux autour de la notion de « croissance durable » est de savoir si la hausse du niveau de vie entraîne nécessairement un accroissement de la dégradation du patrimoine naturel, sous la forme d'une croissance des émissions de polluants.

1. L'hypothèse d'une courbe de Kuznets environnementale

Dans les années cinquante, l'économiste Simon Kuznets estime pouvoir mettre en évidence une relation en cloche entre le niveau de PIB par tête et les inégalités de revenu : dans les économies préindustrielles le progrès économique irait de pair avec une croissance des inégalités de niveau de vie, mais au-delà d'un certain niveau de développement, le passage à une économie postindustrielle s'accompagnerait, au contraire, d'une réduction des inégalités.

À la suite de travaux empiriques visant à comparer le niveau et l'évolution d'émissions de certains polluants avec le niveau de richesse d'un pays (cf. par exemple *Grossman et Kruger, 1994*), une hypothèse analogue, communément désignée sous le nom de « courbe de Kuznets environnementale », a été formulée par certains économistes de l'environnement (cf. *Beckerman 1992*).

Très controversée, cette hypothèse s'appuie sur le raisonnement suivant. À des niveaux de revenus très faibles, la quantité et l'intensité des dégradations environnementales d'origine anthropique se limitent à l'impact des activités économiques de subsistance. À mesure que l'agriculture s'intensifie, que la population s'urbanise et que les industries entament leur décollage, l'extraction accélérée des ressources naturelles et les rejets massifs de polluants

accentuent la pression sur les écosystèmes. Cependant, lorsque les conditions de vie matérielles se sont suffisamment améliorées, les individus sont en mesure de consacrer une partie de leurs revenus monétaires en faveur de l'environnement. La société a alors accumulé suffisamment de capital pour pouvoir orienter une partie de ses investissements vers des techniques visant à diminuer l'impact des processus de production sur l'environnement. Au total, les gains en efficacité pourraient être assez importants pour renverser le sens de la relation entre la croissance économique et la dégradation environnementale.

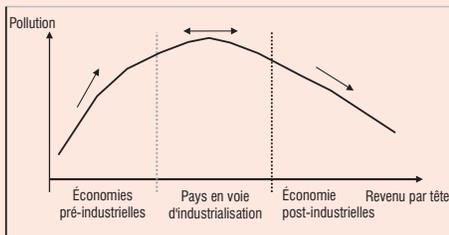
Cette forme en U inversé serait également la conséquence indirecte de l'augmentation des revenus individuels : ceux-ci agiraient par le biais d'une modification de la fonction de demande en faveur de produits plus respectueux de l'impact environnemental. Une fois dépassé un certain niveau de vie, la préoccupation environnementale se ferait plus prégnante : le bien environnemental deviendrait en quelque sorte un « bien supérieur » dans la fonction d'utilité du consommateur, c'est-à-dire un bien dont l'élasticité au revenu serait supérieure à 1 (à l'instar de la santé ou des loisirs). Leurs préférences les poussant à acheter des biens plus « verts », les consommateurs influenceraient de façon décisive l'évolution des structures économiques à travers leur pouvoir de marché. Les industries seraient ainsi incitées à améliorer leur procédé de fabrication de manière à réduire les émissions de polluants.

2. Résultats empiriques sur comparaisons internationales et au cours du temps

De nombreuses études empiriques ont tenté de vérifier l'hypothèse de la courbe de Kuznets environnementale. Certaines ont conclu à l'existence d'une courbe en cloche pour certains polluants locaux, mais d'autres mettent en cause la robustesse de ces observations d'un point de vue économétrique (voir Meunié, 2004, pour une revue de littérature sur le sujet).

En revanche, pour ce qui est des polluants globaux comme le CO_2 , aucune relation en cloche n'est observée à ce jour au niveau de l'économie mondiale prise dans son entier (figure 2). De fait, après les 30 glorieuses des grands pays industrialisés, l'économie planétaire

1. L'hypothèse d'une courbe de Kuznets environnementale



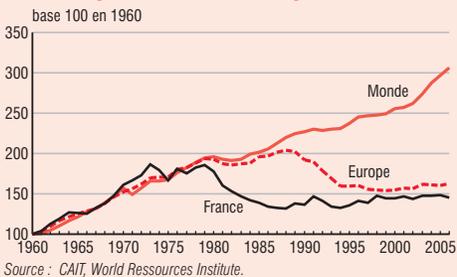
Source : CAIT, World Resources Institute.

encadré 1 (suite)

est désormais marquée par la trajectoire des pays émergents. Ceci rend l'hypothèse peu crédible, au moins à court et moyen terme.

Sur longue période, à première vue, le cas de la France peut sembler corroborer l'existence d'une courbe de Kuznets environnementale : les émissions ont en effet plafonné à compter du début des années 70, puis décliné durant les années 80 sous l'effet de la mise en œuvre du programme électronucléaire. Cependant, à partir des années 1990, les émissions de CO₂ augmentent à nouveau (de façon modérée), car les « gisements » de réduction de CO₂ sur la production électrique ont désormais atteint leur limite via le nucléaire en substitution au thermique (et même s'il existe encore des possibilités de diminution de l'intensité en CO₂ de la production d'électricité en France via la substitution du gaz au charbon et via le développement de l'éolien). Au niveau de l'Europe élargie à la Russie, les émissions de CO₂ se sont également repliées durant la première moitié des années 90, sous l'effet cette fois de l'effondrement de l'économie des pays de l'ex bloc soviétique. Elles plafonnent depuis.

2. Émissions comparées de la France, de l'Europe et du Monde depuis 1960



En outre, les émissions générées depuis le territoire ne sont qu'une vision partielle d'une éventuelle courbe de Kuznets environnementale. Dans une vision plus large, les émissions à l'étranger induites par la demande finale intérieure (tenant compte des échanges extérieurs) mériteraient également d'être prises en compte. Malheureusement, on manque aujourd'hui d'évaluations de ce type sur longue période.

3. Apport et limites de la présente étude

La présente étude apporte un éclairage différent, « en coupe » au sein de la population française à un instant donné. Elle montre en particulier que, dans le cas du CO₂, les effets liés au niveau de revenu l'emportent très largement sur les effets liés à la composition du panier de consommation. La quantité de CO₂ induite par la consommation d'une catégorie de ménage est ainsi nettement croissante avec son niveau de consommation. La déformation de la composition du panier de biens et services qui accompagne l'élévation du niveau de vie tend certes à faire décroître l'intensité en carbone moyenne de la dépense des ménages, mais cet effet demeure faible.

Pour être plus précis, il conviendrait également de pouvoir mesurer, au niveau individuel, et pour la consommation d'un produit particulier (par exemple un fruit), la plus ou moins grande propension d'un ménage à porter son choix sur un produit « écologiquement économe » (fruit de saison ou non, importé d'un pays lointain ou non) selon son niveau de vie. Faute d'information statistique disponible, l'étude présentée ici ne permet pas de prendre en compte de phénomènes de ce type (elle attribue un contenu moyen en CO₂ aux produits alimentaires, sans aller à un détail plus fin) ; a fortiori, elle ne permet pas d'en mesurer l'impact agrégé sur le contenu en CO₂ de la consommation de telle ou telle catégorie de ménages.

laquelle les économies ont recours aux énergies fossiles dans leurs processus de production (en particulier production d'électricité) et de consommation (en particulier consommation de carburant pour se déplacer, ainsi que de fioul, de gaz et de charbon pour se chauffer).

Dans ce paysage mondial, la France, dont la population représente 1 % de la population mondiale, génère 3 % du PIB et 1,3 % des émissions de CO₂ de l'ensemble du globe. Ces chiffres reflètent de façon synthétique une double réalité. D'une part, la France fait partie des pays très avancés sur le plan du développement économique. D'autre part, son intensité d'émission de CO₂ par habitant, tout en étant plus élevée qu'en moyenne sur le globe, reste nettement inférieure à celle de nombre de pays développés comparables (États-Unis et autres pays d'Europe de l'Ouest). Ceci tient pour l'essentiel au fait que l'énergie électrique produite en France est à 90 % assise sur des technologies non émettrices de CO₂ (entre 75 %

1. Émissions de CO₂, PIB et population dans le monde

	Émission de CO ₂				PIB		Population	
	1990 (Mt)	2005 (Mt)	Part du CO ₂ liée aux hydrocarbures (%)	Évolution 1990-2005 (%)	2005 en part (%)	Évolution 1990-2005 (%)	PIB PPA 2005 en part ¹ (%)	2005 en part (%)
Amérique du Nord	5 723	6 952	97,4	+ 21,5	21,7	+ 62,7	23,6	6,7
<i>États-Unis</i>	4 934	5 907	98,6	+ 19,7	18,5	+ 62,6	19,8	4,6
Europe, Russie et CEI hors Russie	8 299	6 949	96,3	- 16,3	21,7	+ 38,5	27,1	13,5
<i>UE27</i>	4 266	4 147	96,0	- 2,8	13,0	+ 44,8	21,1	7,6
<i>Allemagne</i>	996	837	97,4	- 16,0	2,6	+ 33,8	4,0	1,3
France	375	406	95,9	+ 8,1	1,3	+ 37,9	3,0	1,0
<i>Italie</i>	422	481	94,3	+ 14,1	1,5	+ 26,3	2,8	0,
<i>Espagne</i>	229	369	92,7	+ 61,2	1,2	+ 66,7	1,8	0,7
<i>Royaume-Uni</i>	571	543	98,5	- 5,0	1,7	+ 53,5	3,1	0,9
<i>Russie</i>	2 273	1 606	97,7	- 29,4	5,0	+ 5,3	2,5	2,2
Asie	6 062	11 023	85,0	+ 81,8	34,5	+ 170,9	35,6	55,4
<i>Japon</i>	1 108	1 258	96,6	+ 13,5	3,9	+ 26,3	6,3	2,0
<i>Chine</i>	2 545	5 843	87,3	+ 129,6	18,3	+ 416,9	14,6	20,3
<i>Inde</i>	723	1 358	84,6	+ 87,9	4,2	+ 185,1	6,1	16,9
Afrique	1 121	2 124	42,0	+ 89,6	6,6	+ 77,0	3,8	14,2
Moyen-Orient	663	1 316	95,8	+ 98,4	4,1	+ 100,3	2,5	2,9
Amérique du Sud	1 555	2 218	42,9	+ 42,7	6,9	+ 76,4	6,0	7,0
Océanie	287	422	97,8	+ 46,8	1,3	+ 78,9	1,3	0,4
Soulttes internationales et aériennes	649	959	100,0	+ 47,7	3,0	///	///	///
Total	24 359	31 962	85,4	+ 31,2	100,0	+ 84,5	100,0	100,0

Les PIB sont exprimés en parité de pouvoir d'achat (PPA) : ceci permet de juger des niveaux de production entre pays, en neutralisant dans cette comparaison ce qui est lié aux différences de niveau général de prix.

Les émissions de CO₂ couvrent la combustion d'énergie, les procédés industriels et les « autres » émissions. La combustion d'énergie explique à elle seule 85 % des émissions mondiales : plus de 95 % du total des émissions de l'Amérique du Nord, de l'Europe, du Moyen-Orient et de l'Océanie, 85 % de celles de l'Asie, mais seulement 42 % de celles de l'Amérique du Sud et de l'Afrique. La catégorie « autres » inclut la combustion du bois liée à la déforestation et autres incendies de forêts ; sa contribution est importante pour l'Afrique et l'Amérique du sud. Pour les forêts tempérées, les émissions nettes de la végétation sont considérées ici comme nulles.

L'évolution des émissions de la France sur la période 1990-2005 est plus faible si l'on s'intéresse aux émissions des 6 principaux gaz à effet de serre : - 0,3 % contre + 8,1 % pour le seul CO₂.

Source : Service de l'observation et des statistiques (SOeS), d'après l'Agence internationale de l'énergie (AIE)/OCDE.

et 78 % sur l'énergie nucléaire, entre 11 % et 13 % sur l'énergie hydroélectrique), alors que dans le monde seul un tiers de l'énergie électrique est produite sans recours aux hydrocarbures (charbon, gaz et pétrole). De fait, en France, la production « en base »¹ d'électricité est d'origine nucléaire, ce qui place notre pays dans une position très singulière quand on le compare aux autres (figure 2).

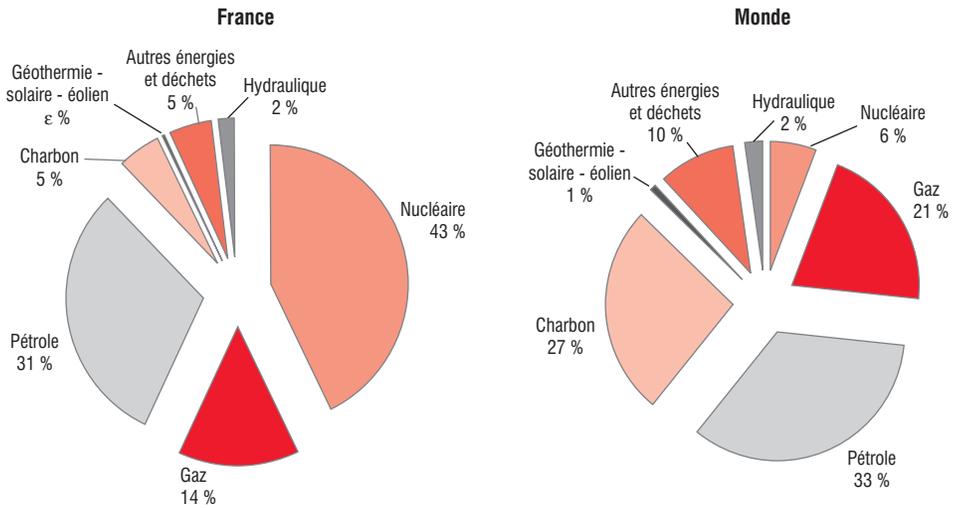
Le chauffage et les déplacements des ménages induisent un tiers des émissions de CO₂ sur le territoire français, le fonctionnement de l'appareil productif deux tiers

En 2005, environ 410 millions de tonnes de CO₂ ont été émises sur le territoire français du fait de l'activité économique². Ces émissions ont deux types d'origine : celles liées à la consommation finale d'hydrocarbures par les ménages et celles liées aux activités productives sur le territoire (figure 3).

1. Par opposition à la production « de pointe » nécessaire pour satisfaire la demande lors des pics de consommation, la production « en base » regroupe les moyens de production électriques qui fonctionnent plus de 5 000 heures par an.

2. Ce chiffre ne concerne que les émissions de CO₂. Sur les six principaux gaz à effet de serre (CO₂, mais aussi méthane (CH₄), protoxyde d'azote (N₂O) et gaz fluorés), il atteint environ 550 millions de tonnes équivalent CO₂ en 2005.

2. Part des différentes sources d'énergie primaire dans la production d'énergie



Source : Agence internationale de l'énergie (AIE) 2007.

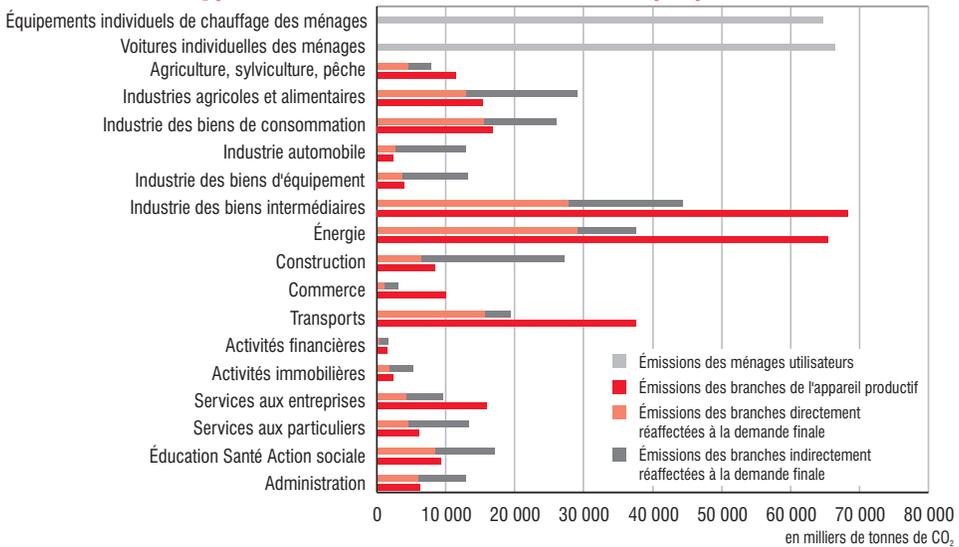
Les premières se montent à un tiers du total, soit 130 millions de tonnes. Elles correspondent pour moitié au carburant brûlé par les ménages automobilistes et pour moitié au fioul et au gaz utilisés par les ménages pour se chauffer (ainsi que pour la cuisine, de façon beaucoup plus marginale).

Les secondes proviennent pour l'essentiel des énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon) utilisées sur les sites de production, ainsi que, pour une part résiduelle (moins de 5 %), du CO₂ émis lors de procédés industriels particuliers. C'est le cas notamment dans les industries de produits minéraux non métalliques (ciment, verre, tuiles et briques), pour lesquelles une part non négligeable des émissions de CO₂ provient de la décarbonatation (transformation en CO₂, sous l'effet de la chaleur, du carbone contenu dans une matière première non énergétique tel que le calcaire). Ces 280 millions de tonnes émises peuvent être réparties par branche d'activité, en mobilisant des évaluations de facteurs d'émissions sur les sites de production, par produit. Les émissions de CO₂ du secteur primaire (agriculture) sont faibles : 11 millions de tonnes, soit 4 % du total³. Celles du secteur secondaire (industrie et construction), qui ne représente que 20 % de la valeur ajoutée en France, sont prépondérantes : 180 millions de tonnes, soit 64 % du total. Elles sont concentrées dans les branches d'activité des biens intermédiaires⁴ et de l'énergie (respectivement 75 et 65 millions de tonnes). De fait, nombre de ces activités nécessitent l'utilisation intensive d'énergie fossile : métallurgie, chimie, fabrication de ciment, cokéfaction et raffinage, production de gaz et de chaleur, ainsi que d'électricité dans le cas de centrales thermiques classiques utilisant des combustibles fossiles. Enfin, l'activité productive du secteur tertiaire, qui génère 78 % de la valeur ajoutée, est à l'origine de l'émission de 89 millions de tonnes de CO₂, soit 32 % du total. La consommation de carburant par la branche des transports (transport routier notamment) produit à elle seule 38 millions de tonnes. Les autres branches de services sont également émettrices (commerce, services aux entreprises et aux particuliers, services administratifs), du fait de la nécessité de chauffer les locaux, ainsi que, dans certains cas, de disposer de véhicules de sociétés.

3. L'activité agricole occupe une place nettement plus importante lorsque l'on comptabilise l'ensemble des gaz à effet de serre, car elle est à l'origine d'une majorité des émissions de méthane (CH₄), dû à l'élevage bovin, et du protoxyde d'azote (N₂O), résultant de l'utilisation des engrais.

4. Matière issues de l'extraction, bois et biens en bois, papier/carton, produits chimiques, plastiques, minéraux non métalliques et métaux.

3. Émissions de CO₂ par branches versus émissions réaffectées par produits



Lecture : – les ménages émettent 67 millions de tonnes de CO₂ en utilisant leurs voitures (combustion de carburant) ; ils émettent 65 millions de tonnes en utilisant leurs chauffages individuels (combustion de fioul, gaz, ...) ; les hydrocarbures brûlés au titre des chauffages collectifs sont ici comptabilisés (sans être isolés) dans les émissions de CO₂ induits par la demande finale en « énergie » ;

– la branche d'activité de la construction génère 8,5 millions de tonnes de CO₂ ; la demande finale en construction induit 27 millions de tonnes de CO₂, dont 6,5 proviennent directement de la branche d'activité de la construction et 20,5 proviennent d'autres branches d'activité, dont les produits sont utilisés comme consommations intermédiaires dans le processus de production menant à cette demande finale.

Sources : Service de l'observation et des statistiques (SOeS), Insee.

Réaffecter les émissions de l'appareil productif à la demande finale pour calculer des contenus en CO₂ par produit

Les évaluations des émissions de CO₂ passent nécessairement par la mobilisation de connaissances scientifiques et techniques relatives à chaque procédé de fabrication, par type de bien ou de service. Évaluer leurs quantités par type d'activité productive sur le territoire est donc la méthode la plus naturelle. Cependant, on ne peut s'y limiter pour décrire de façon adéquate l'impact de l'activité économique sur l'environnement, via ces émissions de CO₂.

De façon ultime, toute production répond à une demande finale, soit directement (par exemple une automobile), soit indirectement via une demande intermédiaire (par exemple les tôles ou le verre entrant dans la fabrication de l'automobile). C'est tout l'intérêt du cadre de la comptabilité nationale que de décrire l'ensemble de ce circuit économique de l'offre et de la demande. Et ce cadre comptable permet précisément de réaffecter les émissions de CO₂ liées aux activités productives aux éléments de la demande finale qu'elles vont satisfaire, soit directement, soit indirectement (*encadré 2*).

En pratique, tous calculs faits, sur les 280 millions de tonnes émises en 2005 du fait de l'activité productive sur le sol français, environ la moitié correspond à des produits destinés à un usage intermédiaire, donc peut être réaffectée de façon ultime à une demande finale en d'autres produits. À l'issue de cet exercice de réaffectation, on obtient la description des quantités de CO₂ émises sur le territoire et induites par la demande finale en chaque bien ou service.

En premier lieu, les trois branches d'activité les plus fortement émettrices de CO₂, celles des biens intermédiaires, de l'énergie et du transport, sont précisément des branches pour lesquelles la part des émissions à réaffecter est élevée, si bien que la demande finale en leurs produits induit des émissions (directes et indirectes) réduites de 40 à 50 % (*figure 3*). Ce résultat s'explique aisément pour les deux premières, qui correspondent par nature à des activités (par exemple la fabrication de produits chimiques ou celle d'électricité) fortement tournées

vers une demande intermédiaire émanant d'autres entreprises, pour les besoins de leurs propres productions (un médicament, une automobile). Dans le cas de la branche des transports, ce résultat provient du fait qu'une partie importante de l'activité concerne le service de transport de marchandises, payé en définitive par l'utilisateur final des biens transportés sous la forme de marges de transport. Ce raisonnement s'applique également à la branche du commerce, même si celle-ci est moins émettrice (10 millions de tonnes émises, dont les deux tiers sont à réaffecter aux biens vendus par le commerçant). La branche d'activité des services aux entreprises, qui comprend par exemple les services juridiques ou les services de télécommunications, émet 16 millions de tonnes, mais, selon le même raisonnement, seulement 10 millions de tonnes induites par la demande finale en services qu'elle produit.

En second lieu, de façon inversée, les émissions de CO₂ induites par des produits principalement destinés à la demande finale sont sensiblement plus élevées que les quantités de CO₂ émises par les branches d'activité correspondantes. C'est le cas, de façon spectaculaire, des produits industriels finis (biens de consommation, automobiles, biens d'équipement) ainsi que de la construction, pour lesquels les émissions de CO₂ sont multipliées par un facteur 3 – et même 5,5 dans le cas de l'automobile – lorsqu'on leur réaffecte les quantités de CO₂ émises en amont sur le territoire pour produire l'ensemble des biens intermédiaires nécessaires à leur fabrication. C'est aussi le cas, à un moindre degré, pour les services majoritairement tournés vers la demande finale (services aux particuliers, services de santé et d'éducation, services administratifs).

Le bouclage international : la demande finale intérieure induit aussi des émissions de CO₂ à l'étranger

Cette réaffectation des quantités de CO₂ émises sur le territoire national, depuis les branches émettrices vers les produits finaux auxquels l'activité de ces branches est destinée, est l'analogue macro-économique du double étiquetage qui, au niveau micro-économique, permet au consommateur de connaître l'émission de CO₂ associée à la production, au transport et à la distribution du produit qu'il achète. Elle vise en quelque sorte à faire prendre conscience que le coût véritable des produits finaux achetés dépasse leur simple valeur marchande, car il inclut en réalité des « coûts écologiques » (dans le cas présent, sous la forme d'émissions de CO₂). Ces coûts écologiques sont habituellement cachés, car non pris en compte par les acteurs économiques⁵.

Cependant, pour être complet, ce double étiquetage ne peut pas se restreindre à la comptabilisation des seules quantités de CO₂ émises depuis le territoire national. L'économie française étant ouverte sur l'extérieur, une partie des produits utilisés en France est importée et la fabrication de ces produits importés a également induit des émissions de CO₂, cette fois à l'étranger. Comptabiliser les émissions de CO₂ induites par la demande finale suppose donc de rajouter aux émissions intérieures précédentes l'ensemble des émissions « importées », qui sont d'origines diverses. En effet, dans le cas d'un bien importé et directement acheté par le consommateur ou l'investisseur final (un ordinateur produit en Asie par exemple), il faut comptabiliser à la fois les émissions de la branche d'activité correspondante (celle de la branche de production d'ordinateurs en Asie), mais aussi celles, en amont, liées à la fabrication des biens intermédiaires entrant dans le produit final (les composants électroniques) et celles, en aval, liées à l'acheminement (le transport, s'il

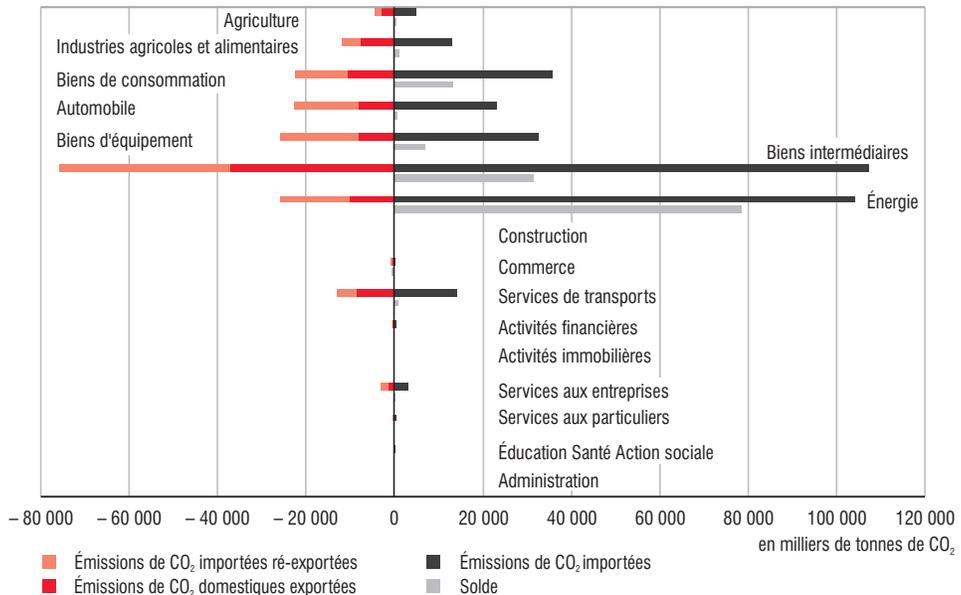
5. Ces coûts écologiques sont ici mesurés en quantités physiques (tonnes de CO₂). Si l'on était capable de les valoriser, la demande finale pourrait alors être estimée à un coût global, supérieur au coût de marché. La différence pourrait alors légitimement s'interpréter comme un transfert de capital de la nature vers l'économie, puisque ce coût est le reflet d'une détérioration concomitante du patrimoine naturel (Vanoli, 1995).

est également importé, c'est-à-dire assuré par un transporteur étranger). Si l'achat concerne un bien final produit sur le sol français (un Airbus acheté par une compagnie aérienne par exemple), il faudra également rajouter des émissions importées aux émissions domestiques induites par cet achat, dès lors que la production de ce bien par une entreprise résidente a nécessité de recourir en amont à des produits intermédiaires importés (éléments de fuselage fabriqués en Allemagne dans cet exemple).

L'évaluation des quantités de CO₂ émises à l'étranger du fait de nos importations nécessite de connaître non seulement le détail des produits importés, mais aussi leur provenance par pays ainsi que la structure de l'appareil productif de chacun de ces pays. En effet, cette structure peut être plus ou moins intensive en CO₂, en particulier selon la place qu'y occupent les énergies fossiles.

Le résultat de cette évaluation est spectaculaire : la quantité d'émissions de CO₂ induites à l'étranger par nos importations est de 339 millions de tonnes, soit un montant supérieur de 20 % aux émissions induites par l'activité productive sur notre territoire (*figure 4*). Elle est fort logiquement concentrée à 95 % sur les produits industriels. Si l'on menait cette évaluation en faisant l'hypothèse que la structure de production⁶ de nos partenaires était semblable à la nôtre, ces émissions importées seraient inférieures de plus de 40 %, à 195 millions de tonnes. Ceci illustre le fait que la France est dans une position singulière, compte tenu de l'importance

4. Balance des échanges extérieurs de CO₂ par produits (2005)



Lecture : les émissions de CO₂ émises à l'étranger du fait de nos importations de biens intermédiaires sont de 107 millions de tonnes ; les émissions de CO₂ induites par nos exportations de biens intermédiaires sont de 76 millions tonnes, dont 37 émises sur le territoire national et 39 émises à l'étranger via les importations nécessaires à la production de ces biens intermédiaires ; au total, le contenu en CO₂ du commerce extérieur en biens intermédiaires est une importation nette de 32 millions de tonnes de CO₂.

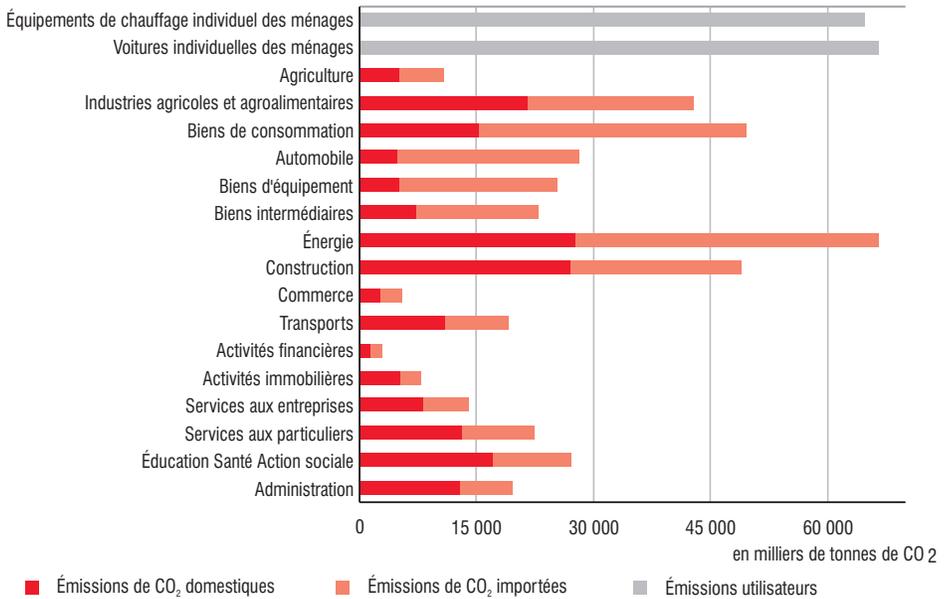
6. Cette structure de production est entendue ici au sens large ; elle comprend en particulier le « mix énergétique », qui décrit le poids respectif des différentes sources d'énergies primaires mobilisées par l'appareil de production d'un pays.

de son parc de centrales nucléaires : le contenu en CO₂ d'un bien ou d'un service produit en France s'en trouvera, la plupart du temps, inférieur à celui du même produit venant de l'étranger, du fait de l'énergie électrique mobilisée pour le produire⁷.

S'il est absolument nécessaire d'intégrer les émissions de CO₂ produites à l'étranger dans le calcul du contenu en CO₂ de notre demande finale, il faut toutefois garder à l'esprit que cette demande finale comprend une demande extérieure. Dit autrement, une partie des émissions de CO₂, celle liée aux exportations, doit être ré-imputée aux agents économiques non résidents : de même que la demande finale des ménages français et des entreprises situées en France est à l'origine d'émissions de CO₂ de par le monde, une partie des émissions de notre appareil productif est due à la demande de nos partenaires. La quantité de CO₂ émise induite par les exportations françaises se monte à 205 millions de tonnes ; 95 millions sont émises sur le territoire et 110 millions sont émises à l'étranger (du fait du contenu en importations de ces exportations) (figure 4). 70 % de ces 205 millions de tonnes sont liées à des exportations de produits de l'industrie manufacturière, dont 35 % de biens intermédiaires.

Au total, en 2005, alors que 410 millions de tonnes de CO₂ (soit 6,7 tonnes par an et par habitant) sont émises sur le territoire du fait de l'activité économique, la demande finale résidente induit en réalité l'émission de près de 550 millions de tonnes de CO₂ (soit 9,0 tonnes par an et par habitant⁸), pour près de 60 % en France et pour plus de 40 % à l'étranger (figure 5).

5. Émissions de CO₂ domestiques et importées induites par la demande finale intérieure (2005)



Lecture : la demande finale en construction induit 49 millions de tonnes de CO₂, dont 27 émises par l'appareil de production domestique et 22 émises à l'étranger via les importations de produits utilisés pour répondre à cette demande finale.

Sources : Service de l'observation et des statistiques (SOeS), Insee.

7. Compte tenu de cette singularité française, la prépondérance de la part du nucléaire dans la production d'électricité, on pourrait s'étonner que le surcroît d'émissions lié aux produits importés de pays aux « mix énergétiques » plus intensifs en carbone ne soit pas plus important encore. L'ordre de grandeur du montant des émissions de CO₂ induit par nos importations est pourtant correct (pour plus de détail sur les sources utilisées, voir l'encadré La matrice de Leontief au service de l'environnement). En effet, la majorité de nos importations concernent des biens industriels, dont le contenu en CO₂ reste, même en France, bien plus élevé que celui des biens agricoles et de la plupart des services. De plus, ces importations de biens supposent qu'ils soient transportés jusqu'en France, le service de transport étant, lui, fortement émetteur en CO₂.

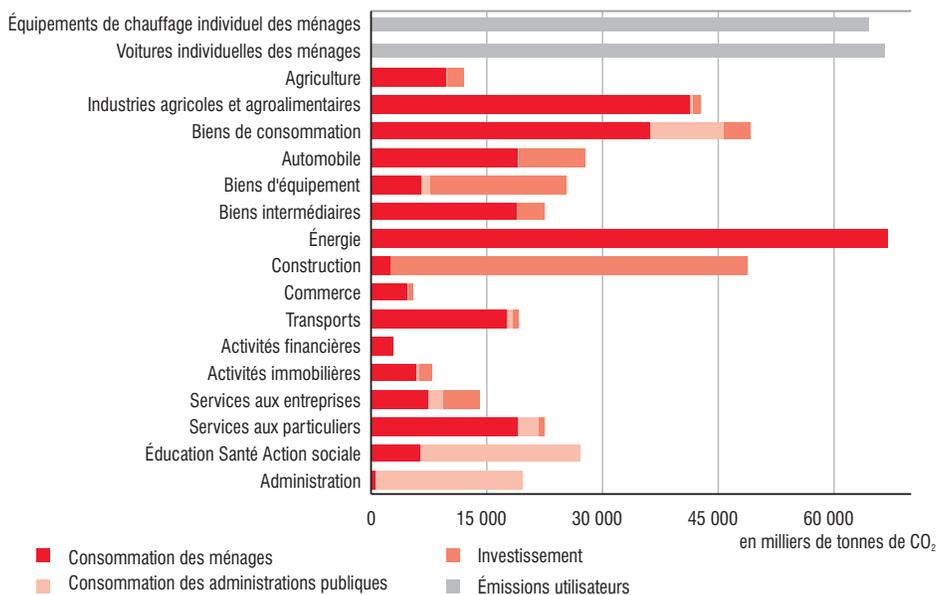
8. Ce chiffre ne prend en compte que les émissions de CO₂. Il faudrait l'augmenter de l'ordre 25 % à 30 % (soit de 11 à 12 tonnes d'équivalent CO₂ par an par habitant) pour obtenir un ordre de grandeur pour l'ensemble des gaz à effet de serre.

Cette demande finale résidente recouvre trois éléments : les dépenses de consommation des ménages, c'est-à-dire les biens et les services qu'ils achètent pour leur usage propre, et qui sortent ce faisant du circuit productif ; les dépenses de consommation des administrations publiques, c'est-à-dire les biens et les services financés par la collectivité qui profitent soit aux ménages pris individuellement (dépenses dites individualisables : services publics d'éducation, médicaments et services de santé financés par la sécurité sociale...), soit à la collectivité nationale prise dans son ensemble (dépenses dites collectives : justice, sécurité, services administratifs généraux...) ; la formation brute de capital, c'est-à-dire la part de la production qui est investie dans le système productif afin de pouvoir produire d'autres biens et services lors des périodes suivantes. Les émissions de CO₂ induites par la demande finale résidente sont imputables pour 75 % à la dépense de consommation des ménages, pour 10 % à la dépense de consommation des administrations publiques et pour 15 % à l'investissement, alors que leurs parts respectives dans le PIB sont de 55 %, 25 % et 20 %.

Les produits énergétiques sont à eux seuls à l'origine d'un peu plus du tiers des émissions induites par la consommation des ménages en France. Plus précisément, aux 130 millions de tonnes directement liées à la combustion d'hydrocarbures par les ménages pour se déplacer et se chauffer (carburant, fioul, gaz), il convient de rajouter 65 millions de tonnes induites par la consommation finale d'énergie, correspondant aux émissions intervenues en amont, en France et à l'étranger, pour produire et transporter l'énergie consommée.

La consommation de biens alimentaires génère 55 millions de tonnes d'émissions (figure 6). 125 millions sont liés aux biens manufacturés, dont 35 millions pour l'investissement (l'essentiel des biens d'équipement et une partie des véhicules automobiles) et le reste pour la consommation. 75 millions sont liés aux services marchands, dont près de 20 millions à la consommation de services de transport. 45 millions sont liés à la consommation de services de santé, d'éducation et de services administratifs, très majoritairement financés par la collectivité. Enfin, 45 millions sont liés à l'investissement en construction.

6. Émissions de CO₂ induites par les différents éléments de la demande intérieure finale



Lecture : la demande finale en construction induit 49 millions de tonnes de CO₂, dont 46 émises au titre de l'investissement et 3 au titre de la consommation des ménages.

Sources : Service de l'observation et des statistiques (SOeS), Insee.

Les ménages les plus aisés émettent deux fois et demie plus que les ménages les plus modestes

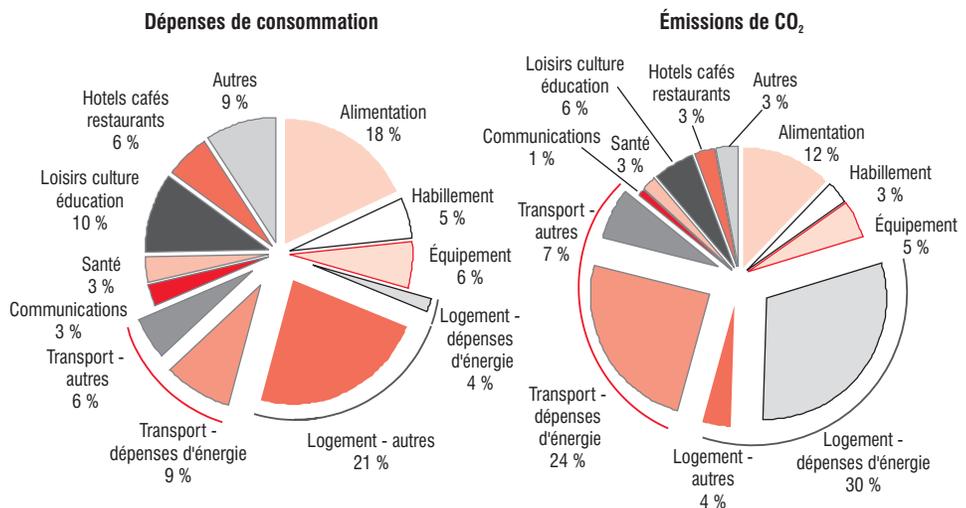
L'émission de CO₂ induite par les dépenses de consommation des ménages, déclinée ci-dessus par grands types de biens et services consommés, peut également être décrite par grandes fonctions de consommation en se restreignant à l'ensemble des ménages ordinaires vivant en métropole.

En termes monétaires, trois grands postes de consommation se partagent 57 % des dépenses des ménages : le logement en représente 25 % (dont 4 % pour les charges y compris dépenses de chauffage), l'alimentation (à domicile) 18 % et les transports 14 % (figure 7). En termes d'émissions de CO₂, la part prise par ces trois mêmes postes augmente à 78 % : la part liée au logement passe à 34 % (dont 30 % pour les seules charges) et celle au transport à 31 %. Ce résultat n'a rien de surprenant, puisque les ménages consacrent l'essentiel de l'énergie qu'ils achètent directement à se chauffer (fioul, gaz, électricité) et à se déplacer (carburant). À l'inverse, les dépenses de loisirs et culture ajoutées à celles en hôtels, cafés et restaurants, qui se montent à 15 % du budget total de consommation, n'induisent que 9 % des émissions de CO₂.

Prenant appui sur la publication récente par l'Insee, sur une année de référence, de la ventilation de la consommation selon quatre types de catégories de ménages (quintile de niveau de vie, composition familiale, âge et catégorie socioprofessionnelle de la personne de référence), on peut dès lors faire un pas de plus dans l'analyse et estimer les quantités de CO₂ induites par les achats de chaque catégorie.

La quantité de CO₂ induite par la consommation d'une catégorie de ménages est clairement croissante avec son niveau de vie : les 20 % des ménages les plus aisés induisent, via leurs achats, 29 % des émissions de CO₂, alors les ménages les plus modestes n'en induisent que 11 % (figure 8). Cet écart de 1 à 2,7 est toutefois un peu inférieur à l'écart de 1 à 3,4 qui

7. Répartition par grands postes des dépenses de consommation des ménages versus émissions de CO₂ associées



La nomenclature utilisée est celle de la consommation individuelle par fonction (COICOP - Classification of Individual Consumption by Purpose).
Source : Ilen, Insee.

8. Structure des émissions de CO₂ par quintile de niveau de vie

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Ensemble
Émissions de CO₂ (Mt)	41,7	59,9	74,9	89,0	110,7	376,2
Émissions de CO ₂ (tonnes par ménage)	8,3	11,9	14,9	17,7	22,0	14,9
Émissions de CO ₂ (tonnes par personne)	3,6	5,0	6,3	7,4	9,7	6,4
Part des émissions selon la catégorie %	11,1	15,9	19,9	23,7	29,3	100,0
Produits alimentaires et boissons non alcoolisées	12,6	12,1	11,4	10,9	10,5	11,2
Boissons alcoolisées et tabac	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1
Habillement et chaussures	2,5	2,8	2,9	3,2	3,0	3,1
Logement	43,4	37,0	34,0	32,2	31,5	34,1
<i>dont électricité gaz et autres combustibles</i>	<i>39,2</i>	<i>33,4</i>	<i>30,4</i>	<i>28,3</i>	<i>26,8</i>	<i>30,1</i>
Meubles articles de ménage et entretien	3,5	4,2	4,5	4,9	6,5	5,0
Santé	2,6	2,5	2,1	1,9	1,8	2,1
Transports	25,3	29,8	32,8	33,2	30,9	31,2
<i>dont dépenses d'utilisation du véhicule</i>	<i>20,6</i>	<i>23,8</i>	<i>26,8</i>	<i>26,0</i>	<i>23,2</i>	<i>24,5</i>
Communications	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8
Loisirs et culture	3,9	4,6	4,9	5,4	6,2	5,3
Éducation	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
Hôtels cafés et restaurants	1,5	2,1	2,4	3,1	3,9	2,8
Autres biens et services	2,3	2,6	2,7	2,9	3,6	2,9
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Sources : SOeS, Insee.

caractérise leurs niveaux de consommation respectifs, ce qui signifie que le contenu en CO₂ par euro dépensé⁹ est, lui, décroissant avec le niveau de vie (*figure 9a*).

Cette réduction des écarts entre catégories de ménages lorsqu'on passe aux émissions induites par leurs dépenses s'explique aisément : bien que la part des dépenses de logement dans le budget de consommation soit à peu près la même quel que soit le niveau de vie (aux alentours d'un quart), au sein de ce poste, la part dédiée aux charges, qui comprend les dépenses de chauffage particulièrement émettrices de CO₂, est, elle, plus importante en bas qu'en haut de la distribution ; elle s'élève à 9 % du budget pour les ménages du premier quintile contre 4 % pour ceux du dernier. À l'inverse, la part des dépenses consacrées aux loisirs et à la culture, ainsi qu'aux hôtels, cafés et restaurants, des postes peu émetteurs de CO₂, croît avec le niveau de vie (11 % pour les ménages modestes contre 18 % pour les ménages aisés).

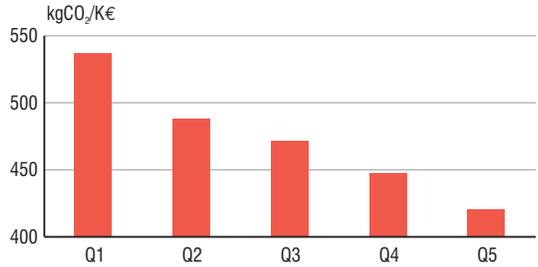
Par catégorie socioprofessionnelle de la personne de référence, ce sont les cadres qui sont à l'origine de la plus grosse quantité d'émission de CO₂ par ménage, là encore du simple fait du niveau plus élevé de leur consommation (*figure 10*). En revanche, le contenu en CO₂ par euro dépensé par un ménage agriculteur ou ouvrier est plus important que celui d'un ménage cadre (respectivement de 32 % et de 18 %) (*figure 9b*). Les autres ménages (professions intermédiaires, employés, indépendants) se situent dans une position intermédiaire. Ces différences s'expliquent par les mêmes raisons que celles qui sont à l'origine des différences observées selon les niveaux de vie.

La situation est plus complexe selon l'âge de la personne de référence. En effet, le contenu en CO₂ par euro dépensé est modérément croissant jusqu'à la tranche d'âge des 50-59 ans (pour laquelle il est plus élevé de 12 % comparé aux moins de 30 ans), mais il plafonne au-delà (*figure 9c*). Ce profil particulier résulte d'un double phénomène. D'une part, le poids dans le budget de consommation des ménages de l'alimentaire et des charges liées au logement (comprenant les dépenses de chauffage) – deux postes dont le contenu en CO₂ est

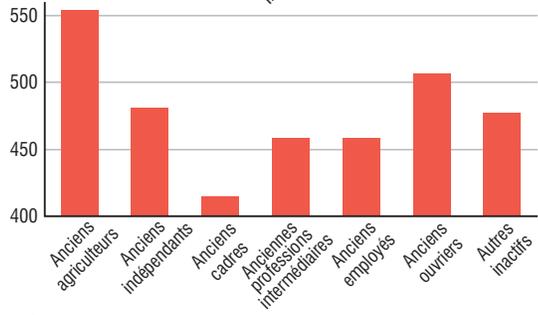
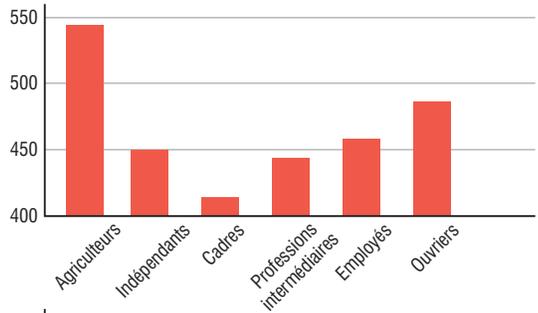
9. L'expression « contenu en CO₂ par euro dépensé » ne doit pas être sur-interprétée. Elle renvoie ici à un calcul moyen, qui rapporte la quantité d'émission de CO₂ induite par une catégorie de ménages au montant de leurs dépenses de consommation agrégées en euros. Ce calcul permet de mettre en évidence des effets liés aux différences de structures de paniers de consommation par catégorie, chaque structure étant elle-même observée uniquement en moyenne, sur l'ensemble des ménages d'une catégorie donnée. Un calcul de ce type ne signifie donc évidemment pas qu'un euro supplémentaire dépensé par un ménage d'une catégorie donnée induira la quantité de CO₂ correspondante.

9. Propension à émettre du CO₂ (ratio émission de CO₂ sur dépenses de consommation) selon les catégories de ménage

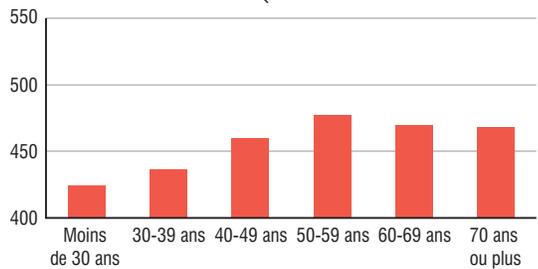
9a. par quintile de niveau de vie



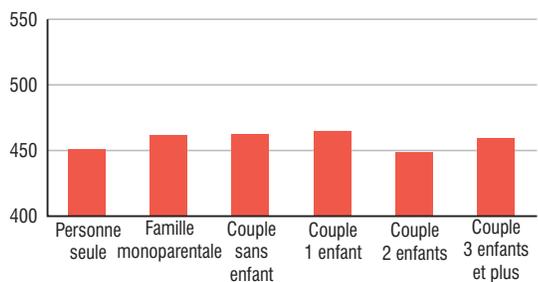
9b. par catégorie socioprofessionnelle



9c. par âge de la personne de référence



9d. par type de structure familiale



Sources : Service de l'observation et des statistiques (SOeS), Insee.

10. Structure des émissions de CO₂ par catégorie socioprofessionnelle

	Agriculteurs	Indépendants	Cadres	Profession intermédiaires	Employés	Ouvriers	Ensemble des actifs	
Émissions de CO₂ (Mt)	7,2	28,8	54,4	65,9	35,5	67,9	259,6	
Émissions de CO ₂ (tonnes par ménage)	18,3	21,4	22,3	18,1	13,4	14,8	17,2	
Émissions de CO ₂ (tonnes par personne)	5,8	7,3	8,1	6,9	5,7	5,0	6,3	
Part des émissions selon la catégorie %	1,9	7,7	14,5	17,5	9,4	18,0	69,0	
Produits alimentaires et boissons non alcoolisées	11,9	10,3	9,5	10,3	11,2	11,2	10,5	
Boissons alcoolisées et tabac	0,7	1,0	1,0	1,1	1,2	1,2	1,1	
Habillement et chaussures	2,6	3,5	3,9	3,5	3,1	3,1	3,4	
Logement	40,2	35,2	27,8	29,9	32,3	33,3	31,5	
<i>dont électricité gaz et autres combustibles</i>	37,8	31,3	23,3	26,0	28,2	29,8	27,7	
Meubles articles de ménage et entretien	4,2	5,2	6,2	5,1	4,9	4,4	5,1	
Santé	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	1,7	
Transports	29,6	30,3	33,9	35,3	33,7	34,3	33,8	
<i>dont dépenses d'utilisation du véhicule</i>	24,1	21,8	25,0	27,5	27,5	28,1	26,4	
Communications	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,9	
Loisirs et culture	4,2	5,4	6,7	5,6	4,9	4,8	5,4	
Éducation	0,3	0,6	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	
Hôtels cafés et restaurants	1,9	3,3	4,7	3,4	2,8	2,4	3,3	
Autres biens et services	2,6	3,1	3,6	2,9	2,8	2,4	2,9	
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
	Anciens agriculteurs	Anciens indépendants	Anciens cadres	Anciens profession intermédiaires	Anciens employés	Anciens ouvriers	Autres inactifs	Ensemble des inactifs
Émissions de CO₂ (Mt)	6,8	11,5	15,6	19,7	15,7	24,9	22,5	116,6
Émissions de CO ₂ (tonnes par ménage)	10,2	14,0	18,6	14,7	9,5	10,7	9,0	11,5
Émissions de CO ₂ (tonnes par personne)	6,0	8,3	10,2	8,4	6,8	5,9	4,6	6,6
Part des émissions selon la catégorie %	1,8	3,1	4,2	5,2	4,2	6,6	6,0	31,0
Produits alimentaires et boissons non alcoolisées	13,6	12,0	12,4	12,4	13,5	13,8	12,2	12,8
Boissons alcoolisées et tabac	0,9	1,1	1,4	1,2	1,1	1,2	1,0	1,2
Habillement et chaussures	1,6	1,7	2,3	2,2	2,2	1,6	3,3	2,2
Logement	47,3	42,4	33,5	36,6	44,3	42,8	38,1	40,0
<i>dont électricité gaz et autres combustibles</i>	44,5	38,3	28,1	32,1	39,0	39,1	33,9	35,7
Meubles articles de ménage et entretien	3,4	4,9	6,9	5,2	4,5	4,6	4,3	4,9
Santé	3,0	3,0	2,6	2,8	3,2	3,4	2,4	2,9
Transports	22,3	24,6	27,3	28,4	20,9	23,9	26,9	25,3
<i>dont dépenses d'utilisation du véhicule</i>	19,5	19,3	19,7	22,4	16,9	20,1	20,9	20,1
Communications	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,6	1,1	0,7
Loisirs et culture	3,9	4,7	6,4	5,6	4,7	4,0	5,1	5,0
Éducation	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,6	0,2
Hôtels cafés et restaurants	0,8	2,0	2,9	2,1	1,6	1,3	2,3	1,9
Autres biens et services	2,7	3,0	3,6	2,6	3,3	2,8	2,7	2,9
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Sources : Service de l'observation et des statistiques (SOeS), Insee.

élevé – croît avec l'âge, alors que celui des loisirs, de la culture ainsi que des hôtels, cafés et restaurants – dont le contenu en CO₂ est faible – décroît (*figure 11*). Ces éléments contribuent donc à augmenter l'intensité émettrice moyenne tout au long de la vie. D'autre part, alors que les ménages consacrent jusqu'à la cinquantaine environ 16 % de leur budget de consommation à se déplacer – un poste au contenu en CO₂ élevé –, cette part diminue nettement au-delà, à 12,5 % pour les 60-69 ans et à 7,5 % pour les 70 ans et plus. Le poste des transports vient ainsi contrebalancer les premiers éléments mentionnés, si bien qu'au total, l'intensité émettrice de la dépense de consommation est croissante en première partie de vie, puis se stabilise.

Cette évolution de l'intensité d'émission en CO₂ liée à la consommation en fonction de l'âge du chef de famille doit être interprétée avec précaution. En effet, on compare ici les comportements de consommation de générations différentes à une même date, sans pouvoir différencier les effets propres de l'âge et de la génération. Ainsi, par exemple, la moindre propension à émettre du CO₂ au titre du poste transport chez les personnes âgées peut renvoyer aussi bien à une moindre appétence et à un moindre besoin de se déplacer à partir d'un certain âge, qu'à une moindre habitude de voyager parmi les générations nées jusque dans les années 30.

Enfin, on ne relève aucune différence significative de contenu en CO₂ par euro dépensé entre les différents types de famille (*figure 9d*). En effet, à l'examen, les personnes seules, les familles monoparentales et les couples sans enfant consacrent une part plus importante de leur budget aux charges de logement (comprenant les dépenses de chauffage) que les couples avec enfants, mais la situation est inverse s'agissant des dépenses de transport. Ces deux différences ont tendance à se compenser. Au final, les quantités de CO₂ émises sont donc sensiblement proportionnelles aux dépenses de consommation de chaque type de famille. Compte tenu des économies d'échelle existant sur nombre de postes de consommation au sein d'un

11. Structure des émissions de CO₂ par classe d'âge

	Moins de 30 ans	30-39 ans	40-49 ans	50-59 ans	60-69 ans	70 ans ou plus	Ensemble
Émissions de CO₂ (Mt)	28,0	75,1	89,7	84,7	46,6	52,1	376,2
Émissions de CO ₂ (tonnes par ménage)	10,8	16,0	18,3	18,1	14,5	10,2	14,9
Émissions de CO ₂ (tonnes par personne)	10,8	6,2	9,2	6,1	3,7	1,9	6,4
Part des émissions selon la catégorie %	7,4	20,0	23,8	22,5	12,4	13,9	100,0
Produits alimentaires et boissons non alcoolisées	9,3	10,4	10,7	10,8	12,8	13,7	11,2
Boissons alcoolisées et tabac	1,1	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2	1,1
Habillement et chaussures	4,1	3,8	3,4	2,9	2,0	1,6	3,1
Logement	27,5	31,1	31,6	33,1	38,5	44,6	34,1
dont <i>électricité gaz et autres combustibles</i>	23,5	26,9	28,0	29,4	34,3	39,7	30,1
Meubles articles de ménage et entretien	5,3	5,3	4,7	5,2	5,1	4,8	5,0
Santé	1,5	1,6	1,7	1,9	2,6	3,6	2,1
Transports	35,9	33,3	34,1	33,4	27,0	20,4	31,2
dont <i>dépenses d'utilisation du véhicule</i>	27,4	25,8	26,7	26,1	21,4	16,8	24,5
Communications	1,4	0,9	0,8	0,8	0,6	0,6	0,8
Loisirs et culture	6,4	5,7	5,4	5,1	5,0	4,6	5,3
Éducation	0,5	0,2	0,5	0,3	0,1	0,0	0,3
Hôtels cafés et restaurants	3,9	3,4	3,3	2,7	2,1	1,7	2,8
Autres biens et services	3,2	3,3	2,6	2,7	3,0	3,1	2,9
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Sources : Service de l'observation et des statistiques (SOeS), Insee.

12. Structure des émissions de CO₂ selon la composition du ménage

	Personne seule	Famille monoparentale	Couple sans enfant	Couple 1 enfant	Couple 2 enfants	Couples 3 enfants +	Ensemble
Émissions de CO₂ (Mt)	64,7	24,6	116,9	65,3	69,5	35,3	376,2
Émissions de CO ₂ (tonnes par ménage)	8,6	12,3	15,8	19,5	21,2	21,6	14,9
Émissions de CO ₂ (tonnes par personne)	8,6	4,8	7,9	6,5	5,4	4,1	6,4
Part des émissions selon la catégorie %	17,2	6,6	31,1	17,3	18,4	9,4	100,0
Produits alimentaires et boissons non alcoolisées	10,4	11,5	11,8	10,9	11,3	11,3	11,2
Boissons alcoolisées et tabac	1,1	1,0	1,3	1,1	1,0	1,0	1,1
Habillement et chaussures	2,4	4,0	2,5	3,3	3,3	3,6	3,1
Logement	39,1	36,8	34,7	31,6	31,9	31,6	34,1
<i>dont électricité gaz et autres combustibles</i>	33,9	32,2	30,8	28,0	28,3	28,0	30,1
Meubles articles de ménage et entretien	5,0	4,4	5,5	4,9	4,7	4,9	5,0
Santé	2,3	1,7	2,4	1,9	1,7	1,8	2,1
Transports	27,5	28,1	30,1	34,2	33,2	33,3	31,2
<i>dont dépenses d'utilisation du véhicule</i>	21,8	22,7	23,5	27,3	25,6	25,5	24,5
Communications	0,9	1,1	0,7	0,8	0,8	0,9	0,8
Loisirs et culture	5,5	5,2	5,4	5,2	5,1	5,3	5,3
Éducation	0,2	0,4	0,1	0,3	0,5	0,5	0,3
Hôtels cafés et restaurants	2,7	2,8	2,5	2,7	3,5	3,2	2,8
Autres biens et services	3,0	3,0	2,9	3,0	3,0	2,7	2,9
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Sources : Service de l'observation et des statistiques (SOeS), Insee.

ménage, en particulier sur les postes de chauffage et de déplacement, ceci signifie que la quantité de CO₂ émise par personne est en moyenne décroissante avec la taille du ménage considéré. Ainsi, alors que la consommation induit une émission de 6,4 tonnes de CO₂ par personne sur l'ensemble de la population résidente, ce chiffre se monte à 8,6 tonnes par personne vivant seule, mais à 4,1 tonnes par personne vivant dans une famille nombreuse (couple de trois enfants ou plus) (figure 12). ■

La matrice de Leontief au service de l'environnement

L'approche visant à élaborer des comptes physiques ventilés par activité économique, puis à les combiner avec les tableaux d'entrées-sorties (TES) de la comptabilité nationale, est connue sous le nom de comptes Namea (*National Accounting Matrix Including Environmental Accounts* - Matrice de comptabilité nationale incluant des comptes environnementaux), également qualifiés de « comptes hybrides » dans le manuel de comptabilité économique et environnementale intégrée (SEEA, 2003).

Avec sa proposition de Namea, l'office statistique néerlandais (Keuning et al. 1999) a remis à l'ordre du jour, dans les années 90, l'analyse input-output étendue à l'environnement (Moll et al. 2007). Ce mode d'analyse s'inspire des travaux dus à Leontief (Leontief et al. 1972), le concepteur des TES en économie. Dans le cadre du programme européen de comptabilité environnementale, Eurostat encourage cette approche, qui a vocation à couvrir divers domaines environnementaux. À l'heure actuelle, le domaine le plus avancé est celui des comptes d'émissions atmosphériques, pour lequel Eurostat a préparé un manuel méthodologique (Eurostat, 2009).

A. La méthode

1. Du TES du cadre central aux TES symétriques, domestique et importé

Le tableau d'entrées-sorties du cadre central de la comptabilité nationale permet de décrire à la fois l'équilibre de l'offre et de la demande par produits et les comptes de production par branche d'activité.

Soit une économie ouverte réduite à trois produits : deux biens et une activité de service commercial⁽¹⁾. Le TES s'écrit alors schématiquement de la façon suivante :

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_{com} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} MC_1 \\ MC_2 \\ -MC_1 \quad -MC_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} CI_{11} & CI_{12} & CI_{1com} \\ CI_{21} & CI_{22} & CI_{2com} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} DF_1 \\ DF_2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

La première ligne de ce tableau décrit l'égalité au prix d'achat entre l'offre et de la demande en produit de type 1 :

production au prix de base en produit 1 (P_1)
 + marge commerciale sur produit 1 (MC_1)
 + impôts (nets de subventions) sur produit 1 (T_1)
 + importations en produit 1 (M_1)

=

consommation intermédiaire du produit 1 par la branche produisant le produit 1 (CI_{11})
 + consommation intermédiaire du produit 1 par la branche produisant le produit 2 (CI_{12})
 + consommation intermédiaire du produit 1 par la branche commerciale (CI_{1com})
 + demande finale en produit 1 (DF_1)

La dernière ligne de ce tableau, qui décrit l'équilibre offre-demande du service de commerce, est spécifique : elle traduit le fait que la production du service de commerce est égale à la somme des marges commerciales par produit.

Par ailleurs, le compte de production définit la valeur ajoutée de chaque branche d'activité comme la différence entre la production et la somme des consommations intermédiaires de la branche :

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_{com} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} CI_{11} & CI_{21} & 0 \\ CI_{12} & CI_{22} & 0 \\ CI_{1com} & CI_{2com} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} VA_1 \\ VA_2 \\ VA_{com} \end{bmatrix} \quad (2)$$

1. Par souci de clarté, on n'explique pas ici le cas du traitement de l'activité de service de transport dans le TES, pourtant spécifique lui aussi. En effet, il s'agit d'un cas mixte : schématiquement, la production de service de transport de marchandises est traitée en marge de transports sur les autres produits (traitement comptable analogue à celui du commerce) et la production de service de transport de voyageurs va nourrir directement les éléments de la demande en transport (traitement comptable analogue à celui des produits « classiques »)

Encadré 2 (suite)

En sommant alors les lignes de l'équation (1), et en tirant partie du fait que la somme des consommations intermédiaires sur l'ensemble des produits est égale à la somme des consommations intermédiaires sur l'ensemble des branches d'activité, on parvient à :

$$\underbrace{(P - C)}_{\text{PIB}} + T + M = DF \quad (3)$$

Le PIB, défini comme la somme de l'ensemble des valeurs ajoutées par branche et des impôts sur produit, ajouté aux importations, est égal à la somme des éléments de la demande finale (consommation, investissement et exportations), aux variations de stocks près.

Pour procéder au calcul du contenu en CO₂, il faut tout d'abord transformer le TES du cadre central en TES dit « symétrique », puis décomposer ce TES symétrique en deux TES, l'un domestique, l'autre importé.

Le passage du TES au TES symétrique revient à exprimer l'équilibre de l'offre et la demande au prix de base, c'est-à-dire hors impôts et marges, et non plus au prix de la demande finale. On aboutit donc au tableau suivant :

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_{com} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{C}_{11} & \tilde{C}_{12} & \tilde{C}_{1com} \\ \tilde{C}_{21} & \tilde{C}_{22} & \tilde{C}_{2com} \\ \tilde{C}_{com1} & \tilde{C}_{com2} & \tilde{C}_{comcom} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{D}F_1 \\ \tilde{D}F_2 \\ \tilde{D}F_{com} \end{bmatrix} \quad (4)$$

où la consommation intermédiaire \tilde{C}_i et la demande finale $\tilde{D}F_i$ en produit i ($i = 1$ ou 2) sont cette fois nettes des impôts sur produits et nettes des marges commerciales. Les marges de commerce sur consommation intermédiaires et sur demande finale en produits 1 et 2 sont réaffectées en consommation intermédiaire \tilde{C}_{com} et demande finale $\tilde{D}F_{com}$ sur la ligne du produit « service de commerce » (dernière ligne du tableau).

Le TES est dit symétrique car il fait maintenant jouer un rôle parfaitement symétrique à tous les produits et toutes les branches d'activités. On pourra donc l'écrire de façon résumée sous forme matricielle :

$$P + M = \tilde{C}.e + \tilde{D}F \quad (5)$$

où $e = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ dans le cadre simplifié (dans le cas général, ce sera le vecteur unité colonne de taille n ,

où n désigne le nombre de produits et de branches considérés).

On décompose ensuite le TES symétrique en un TES domestique et un TES importé, en distinguant parmi chaque élément de la demande la part qui est produite sur le territoire national et celle qui est importée. Soit de façon matricielle :

$$P = \tilde{C}^d.e + \tilde{D}F^d \quad (6)$$

$$M = \tilde{C}^m.e + \tilde{D}F^m \quad (7)$$

2. Les émissions de CO₂ induites par la demande finale

Pour une branche j , les coefficients techniques A_{ij} représentent les consommations intermédiaires unitaires en produits i , c'est-à-dire la quantité de produits i nécessaire pour produire une unité de produit de la branche j . On peut donc établir les matrices de coefficients techniques domestique et importée :

$$A^d = (A_{ij}^d) = \left(\frac{\tilde{C}_{ij}^d}{P_j} \right) \text{ et } A^m = (A_{ij}^m) = \left(\frac{\tilde{C}_{ij}^m}{P_j} \right)$$

Encadré 2 (suite)

Dans ces conditions, les équations (6) et (7) peuvent se réécrire :

$$P = (I - A^d)^{-1} \cdot \tilde{D}F^d \quad (8)$$

$$M = A^m \cdot (I - A^d)^{-1} \cdot \tilde{D}F^d + \tilde{D}F^m \quad (9)$$

Les égalités ci-dessus permettent de décrire la production en chaque produit induite par l'ensemble de la demande finale. Elles ne permettent pas, sans hypothèse supplémentaire, d'attribuer à un sous-poste donné de la demande finale (par exemple, la consommation des ménages en service de santé, ou l'investissement des entreprises en automobile) la production correspondante, donc a fortiori les émissions de CO₂ associées. L'hypothèse, cruciale, faite ici, consiste à considérer que ces matrices de coefficients techniques sont des matrices de coefficients structurels, décrivant à la fois les technologies de production par branche d'activité et le degré d'ouverture de l'économie pour chaque produit, indépendamment de l'utilisation finale considérée.

Dans ces conditions, pour un montant unitaire produit par la branche d'activité j sur le territoire national, quel qu'en soit l'usage, les matrices de coefficients techniques fixent la quantité de produit i utilisé comme consommation intermédiaire, ainsi que les parts respectives de produit i qui seront importée et produite sur le territoire national pour ce faire. Ainsi, par exemple, on suppose que la quantité de consommation intermédiaire de plastique induite par la production d'une automobile est la même, que cette automobile soit un véhicule de loisir destiné à un ménage ou un véhicule de livraison destiné à une entreprise ; de même, les parts importée et produite en France de cette quantité de plastique nécessaire à la production d'une automobile sont les mêmes, quel que soit le véhicule considéré.

Sous cette hypothèse, on peut alors utiliser les égalités précédentes pour calculer les vecteurs colonne de productions et d'importations nécessaires pour satisfaire la demande finale de chaque produit considéré isolément, puis accoler l'ensemble de ces vecteurs colonne de production d'une part, d'importation de l'autre, pour obtenir deux matrices P^{DF} et M^{DF} résumant le contenu en productions et en importations de la demande finale produit par produit. En notant $\langle \rangle$ l'opérateur qui transforme un vecteur colonne en une matrice carrée diagonale, ceci peut s'écrire :

$$P^{DF} = (I - A^d)^{-1} \langle \tilde{D}F^d \rangle \quad (10)$$

$$M^{DF} = A^m \cdot (I - A^d)^{-1} \langle \tilde{D}F^d \rangle + \langle \tilde{D}F^m \rangle \quad (11)$$

Supposons maintenant que l'on dispose des émissions en CO₂ émises sur le territoire national par branche d'activité $EM^d = (EM_j^d)$ et que l'on admette que l'émission liée à la branche j est, là encore, structurellement proportionnelle à la quantité P_j qu'elle produit. Alors on définit la matrice colonne de coefficients de contenu direct en CO₂ par branche (ou intensité en CO₂ de la production par branche) :

$$CO_2^d = (CO_{2j}^d) = \left(\frac{EM_j^d}{P_j} \right) = \langle P \rangle^{-1} EM^d$$

La réaffectation des émissions en CO₂ sur le territoire à la demande finale produit par produit se déduit de (10) :

$$\tilde{E}M^{DF,d} = \langle \tilde{D}F^d \rangle (I - A^d)^{-1} CO_2^d \quad (12)$$

où $A^{d'}$ désigne la transposée de la matrice A^d .

Par ailleurs, tenir compte des émissions de CO₂ à l'étranger liées à l'importation d'un produit i suppose de comptabiliser non seulement les émissions à l'étranger liées à la branche i correspondante, mais aussi les émissions supplémentaires émises en amont par l'ensemble des biens intermédiaires utilisées par cette branche. Dit autrement, il faut disposer non seulement de la matrice colonne de

Encadré 2 (suite)

coefficients de contenu direct en CO₂ par branche du reste du monde CO₂^{d*}, mais aussi de la structure de l'appareil productif du reste du monde (résumée par la matrice de coefficients techniques A^{d* 2}).

Les émissions induites par les importations françaises ne sont dans ces conditions rien d'autre que les émissions induites par la demande finale adressée par la France au reste du monde ; elles peuvent donc s'écrire :

$$\tilde{E}M^m = \langle M \rangle (I - A^{d*})^{-1} CO_2^{d*} \quad (13)$$

Pour finir, les émissions de CO₂ induites à l'étranger par la demande finale française, produit par produit, se déduisent du calcul du contenu en importations de chacun des éléments de cette demande finale (cf. (11)) :

$$\tilde{E}M^{DF,m} = M^{DF} (I - A^{d*})^{-1} CO_2^{d*} = \left(\langle \tilde{D}F^d \rangle (I - A^{d'})^{-1} . A^{m'} + \langle \tilde{D}F^m \rangle \right) (I - A^{d*})^{-1} CO_2^{d*} \quad (14)$$

On retrouve dans cette écriture les deux composantes qui contribuent aux émissions importées de CO₂ : celles qui sont liées aux importations de produits consommés de façon intermédiaire par l'appareil de production national pour satisfaire la demande finale intérieure, et celles qui sont liées aux produits importés pour répondre directement à cette demande finale.

3. La ventilation par catégories de ménages des émissions de CO₂ induites par la consommation finale

L'évaluation des émissions de CO₂ induites par la demande finale ($\tilde{E}M^{DF,d}$ et $\tilde{E}M^{DF,m}$) a été faite sur la base de la demande finale du TES symétrique. Ainsi, les émissions de CO₂ induites par la demande finale en produit « service de commerce » correspondent en réalité aux émissions induites par les marges commerciales. Celles-ci doivent donc être réaffectées aux produits payés par l'utilisateur final, produits sur lesquels ces marges sont imputées. Cette réaffectation se fait à due proportion des montants de marges commerciales sur produit ; elle permet d'obtenir en définitive les vecteurs $EM^{DF,d}$ et $EM^{DF,m}$ d'émissions de CO₂ induites par la demande finale du TES du cadre central (c'est-à-dire le TES évalué aux prix d'achat).

Disposant par ailleurs de la ventilation des dépenses de consommation produit par produit du cadre central selon quatre types de catégories de ménages (quintile de niveau de vie, composition familiale, âge et catégorie socio-professionnelle de la personne de référence), on en déduit pour finir, par proportion, les émissions de CO₂ liées à la dépense de consommation de chaque catégorie de ménages.

B. Les sources utilisées

Le calcul du contenu en CO₂ pour la France est estimé sur l'année 2005, en utilisant le TES du cadre central, ainsi que les TES symétriques domestique et importé élaborés par le département des Comptes nationaux au niveau G (118 postes de produits) de la nomenclature économique de synthèse (NES) d'activité et de produits. Les tableaux symétriques sont transformés en nomenclature européenne à 60 produits (NACE 60) via une table de passage de nomenclature.

Ces TES sont ensuite couplés avec les émissions directes de CO₂ par branche d'activité évaluées pour l'année 2005 en NACE 60 par le Citépa (Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique).

Pour ce qui concerne l'évaluation des émissions de CO₂ à l'étranger induite par les importations française, on s'est appuyé sur un certain nombre de données statistiques (TES symétriques, émissions directes de CO₂ par branche) issues des pays d'origine des importations françaises (cf. ci-dessous). En pratique, la matrice de coefficient de contenu direct et indirect en CO₂ du reste du monde a été approximée ainsi :

$$(I - A^{d*})^{-1} CO_2^{d*} = \sum_{pays} \langle \pi_{pays} \rangle (I - A^{pays'})^{-1} CO_2^{d' pays}$$

2. En toute rigueur, il faudrait totalement boucler le modèle : dans le calcul du contenu en CO₂ des importations, il faudrait tenir compte non seulement des émissions produites à l'étranger, mais aussi de celles émises en France au titre de la part des exportations françaises utilisées par le reste du monde comme consommations intermédiaires pour produire les biens importés en France. Implicitement, on suppose que dans le cas d'une petite économie (comme celle de la France à l'échelle du monde), on peut négliger cet effet, au motif que le reste du monde peut alors être considéré comme une économie quasiment fermée (i. e. A^{m*} ≈ 0).

Encadré 2 (suite)

où π_{pays} désigne le vecteur colonne de la part des importations françaises en provenance d'un pays donné, produit par produit : $\sum_{\text{pays}} \pi_{\text{pays}} = I$

$$\text{et où : } A^{\text{pays}} = (A_{ij}^{\text{pays}}) = \left(\frac{\tilde{C}_{ij}^{d, \text{pays}} + \tilde{C}_{ij}^{m, \text{pays}}}{P_j^{\text{pays}}} \right)$$

Avec l'approche de nature multirégionale « unilatérale » que l'on utilise ici, on prend en compte une part importante des spécificités des partenaires commerciaux de la France. Plus précisément, on utilise par exemple les coefficients allemands pour les importations françaises venant d'Allemagne, y compris le CO₂ associé à ses importations, mais on ne tient pas compte des spécificités par pays d'origine des importations allemandes. Un certain nombre de travaux actuellement en cours visent une modélisation multirégionale « multilatérale », qui permettrait de boucler les données du commerce international à l'échelle mondiale. Cependant, il semble que l'approche multirégionale unilatérale couvre la plus grande partie de la différence entre les calculs basés sur les seules données du pays importateur (hypothèse où la structure de l'appareil productif du reste du monde serait analogue à la structure française) et l'approche multirégionale multilatérale.

Ont été utilisées ici des données complètes relatives à cinq pays de l'Union européenne (Allemagne, Belgique, Espagne, Royaume-Uni et Italie), d'où provenaient en 2005 près de la moitié des importations françaises en valeur (source : Eurostat, comptes nationaux pour les TES symétriques en 60 branches/produits, et comptes environnementaux pour les émissions de CO₂ par activités économiques). Le vecteur de coefficients en contenu direct et indirect de CO₂ obtenu pour l'Allemagne a été appliqué à la part des importations provenant des autres pays européens en dehors de la Russie. Faute de disposer des TES symétriques des autres régions du monde (qui en 2005 représentaient ensemble 25% des importations françaises en valeur), on a combiné les contenus directs en CO₂ par branche (source : Rømse P., Olsen T., Hansen D., 2009) de pays considérés comme représentatifs avec des matrices de coefficients techniques issues de TES européens de la façon suivante :

- Amérique du Nord : contenu en CO₂ par branche des USA combiné au TES allemand
- Amérique du Sud : contenu en CO₂ par branche du Brésil combiné au TES allemand
- Asie hors Japon : contenu en CO₂ par branche de la Chine combiné au TES allemand
- Japon : contenu en CO₂ par branche du Japon combiné au TES français
- Océanie : contenu en CO₂ par branche des États-Unis (ajusté pour tenir compte du contenu en CO₂ de l'électricité produite ; source : Agence internationale de l'énergie) combiné au TES allemand
- Russie : contenu en CO₂ de la Russie combiné au TES allemand
- Afrique et Moyen-Orient : contenu en CO₂ par branche de l'Allemagne (ajusté pour tenir compte du contenu en CO₂ de l'électricité produite ; source : Agence internationale de l'énergie) combiné au TES allemand.

Par ailleurs, le coefficient en contenu direct et indirect de CO₂ obtenu pour les hydrocarbures (pétrole brut et gaz) dans le cas de la Russie a été appliqué à l'ensemble des importations d'hydrocarbures, quel que soit le pays d'où elles proviennent (Russie, mais aussi pays du Golfe, Algérie, etc.).

Le contenu en CO₂ de notre balance commerciale obtenu avec cette approximation conduit à un rehaussement de l'ordre de 35 % des émissions de CO₂ induite par le circuit économique français lorsque l'on passe d'une approche par la production domestique à une approche par la demande finale intérieure³. À titre de comparaison, une étude récente de l'OCDE (Nakano et al. 2009) vise à évaluer les balances commerciales de CO₂ pays par pays en mobilisant des données de l'ensemble des zones géographiques du monde (mais des données a priori moins homogènes sur le plan du contenu statistique, comparées aux données collectées par Eurostat sur les pays européens). Cette étude chiffre également dans le cas de la France un rehaussement de l'ordre de 35 % pour l'année 2000. Plus récemment encore, une étude américaine s'appuyant sur une approche multirégionale multilatérale estime cet ajustement à 40% pour la France en 2004 (Davis, Caldeira, 2010).

3. Lors de la conférence nationale sur les indicateurs de développement durable, le 20 janvier 2010, l'indicateur résultant de cette approche a été présenté sous le terme d'empreinte carbone de la demande finale nationale. L'estimation proposée alors (Pasquier, 2010) était inférieure à celle qui est fournie ici car la prise en compte des données étrangères a été complétée depuis, notamment en ce qui concerne les pays hors de l'Union européenne.

Encadré 2 (suite)

Pour les besoins de cette étude, les contenus en CO₂ de la demande finale au prix de base ont été ensuite modifiés pour être exprimés en fonction de la demande finale au prix d'achat (retour du TES symétrique au TES du cadre central), puis exprimés en NES et en nomenclature de consommation individuelle par fonction (COICOP - Classification of Individual Consumption by Purpose) via des tables de passage de nomenclature.

Pour finir, on mobilise le compte des ménages par catégories élaboré par l'Insee sur l'année 2003. Celui-ci est construit à partir des données de comptabilité nationale, de plusieurs enquêtes ménages (le dispositif statistique sur les ressources et les conditions de vie de 2004 - SRCV -, les enquêtes Revenus fiscaux de 2003, Budget de famille de 2006, Logement de 2002 et Santé de 2003), ainsi que des données sociodémographiques issues de l'enquête Emploi et du compte satellite du logement pour 2003 (pour plus de précision, voir Bellamy et al. 2009).

Parce que les données micro-économiques des enquêtes ménages ne concernent que le champ des ménages ordinaires (i.e. hors personnes en collectivités) vivant en métropole, la ventilation du compte des ménages par catégories n'est disponible que sur ce sous-champ (qui représente 95 % de la dépense de consommation totale des ménages). Le contenu en CO₂ de la dépense de consommation sur ce sous-champ a été évalué poste par poste à due proportion. La ventilation ensuite obtenue repose sur l'approximation que la structure de consommation des ménages en 2005 est égale à celle observée en 2003. Cette approximation est a priori acceptable, car les structures de consommation sont relativement stables dans le temps.

Bibliographie

- Accardo J., Bellamy V., Consalès G., Fesseau M., Le Laidier S., Raynaud É., « Les inégalités entre ménages dans les comptes nationaux - Une décomposition du compte des ménages », *L'économie française, Insee Références*, édition 2009.
- Beckerman, W. 1992, *Economic Growth and the Environment: Whose Growth? Whose Environment?*, *World Development*, Vol.20, p.481-496.
- Bellamy V., Consalès G., Fesseau M., Raynaud É., Le Laidier S., « Une décomposition du compte des ménages par catégorie de ménages dans les comptes nationaux en 2003 », *Document de travail DESE*, novembre 2009.
- Davis S. J., Caldeira K., *Consumption-based accounting of CO₂ emissions*, *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, January 2010.
- Fesseau M., Bellamy V., Raynaud É., « les inégalités entre ménages dans les comptes nationaux », *Insee Première* n° 1265, novembre 2009.
- Grossman G. et Krueger A. 1994, *Economic Growth and the Environment*, NBER, WP n° 4634.
- Keuning S.J. and Steenge A.E. (Guest editors) (1999), *Special Issue on "Environmental Extension of National Accounts: The NAMEA Framework"*, *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol. 10, N° 1, March 1999, 161 p.
- Leontief W., Ford D. (1972), "Air Pollution and the Economic Structure: Empirical Results of Input-Output Computations", in Brody A., Carter A. (eds), *Input-Output Techniques*, North-Holland, Amsterdam, 1972, pp. 9-30.
- Meunié A., *Controverses autour de la courbe environnementale de Kuznets 2004*, DT1007, Université Montesquieu Bordeaux 4. <http://ced.u-bordeaux4.fr/ceddt107.pdf>
- Moll S., Vrgoc M., Watson D., Femia A., Gravgård Pedersen O. (2007), *Environmental Input-Output Analyses based on NAMEA data - A comparative European study on environmental pressures arising from consumption and production patterns*, ETC/RWM working paper 2007/2, European Topic Centre on Resource and Waste Management, European Environment Agency, Copenhagen. http://scp.eionet.europa.eu/publications/wp2007_2

Pasquier J.-L., « les comptes physiques de l'environnement, une base pour de nouveaux indicateurs sur l'interface économie-environnement. Le cas des émissions de CO₂ de la France », *La Revue du Commissariat général au développement durable*, janvier 2010.

Nakano S., Okamura A., Sakurai N., Suzuki M., Tojo Y., Yamano N. "The Measurement of CO₂ Embodiments in International Trade: Evidence from the Harmonised Input-Output and Bilateral Trade Database", OECD, Paris, *Science, Technology and Industry Working Papers*, mars 2009.

Rømoste P., Olsen T., Hansen D. (2009), GHG Emissions Embodied in Trade, Report to Eurostat - Unit E3 - Environmental statistics and accounts (grant agreement 50304.2008.001), December 2009, 30 p.

Vanoli A., « Reflections on environmental accounting issues », *Review of income and wealth*, serie 41, n° 2, juin 1995.

Documents

Handbook of National Accounting: Integrated Environmental and Economic Accounting 2003 (SEEA 2003), European Commission, International Monetary Fund, Organisations for Economic Co-operation and Development, World Bank, United Nations, New York, Series F, n° 61, Rev. 1, 2003. Manual for Air Emissions Accounts, Eurostat Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2009.

IEA, CO₂ Emissions from Fuel Combustion, International energy agency, Paris, 2009.

Ifen (2006), NAMEA, un outil pour relier activités économiques et pressions environnementales, Institut français de l'environnement, *Les dossiers*, n° 4, juillet 2006.

<http://www.ifen.fr/publications/le-catalogue-des-publications/les-dossiers/2006/namea-un-outil-pour-relier-activites-economiques-et-pressions-environnementales.html>

« CO₂ et énergie, France et Monde », Édition 2009, Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer.

http://www.statistiques.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/reperes-CO2_ed_2009_cle0dc6be.pdf

« Bilan énergétique de la France en 2008 », Commissariat général au développement durable, Service de l'observation et des statistiques, Références, mai 2009.
