

Méthodologie de calcul de l’empreinte carbone de la demande finale intérieure française

Auteur : Jean-Louis Pasquier, SDES

Table des matières

1. Introduction.....	5
1.1. La notion d'empreinte environnementale.....	5
1.2. Contexte mondial des émissions de gaz à effet de serre.....	6
2. Modalités de calcul macro-économique de l'empreinte carbone.....	8
2.1. Principes généraux.....	8
2.1.1. Calcul de type input-output étendu à l'environnement.....	8
2.1.1.1. Les émissions issues de la production intérieure.....	9
2.1.1.2. Les émissions associées aux importations.....	10
2.1.2. Plusieurs options sont possibles pour le calcul des émissions associées aux importations.....	12
2.1.2.1. Hypothèse des importations produites comme dans le pays importateur.....	12
2.1.2.2. Approche unilatérale (mobilisation de statistiques issues de principaux exportateurs).....	12
2.1.2.3. Approche multilatérale (modèle bouclé à l'échelle mondiale).....	13
2.1.3. L'empreinte carbone totale.....	13
2.2. Application à la France.....	13
2.2.1. Calendrier des principales sources statistiques mobilisées.....	14
2.2.2. Émissions intérieures.....	14
2.2.3. Émissions associées aux importations.....	14
2.3. Estimation <i>avancée</i> pour les années récentes.....	15
2.3.1. La composante intérieure de l'empreinte.....	15
2.3.2. La composante extérieure de l'empreinte.....	155
3. Diffusion et utilisation des données.....	17
3.1. Indicateurs de développement durable.....	17
3.1.1. Stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable.....	17
3.1.2. Loi visant à la prise en compte des nouveaux indicateurs de richesse dans la définition des politiques publiques.....	17
3.2. Publications.....	17
3.2.1. Par le SDES.....	17
3.2.2. À l'extérieur du SDES.....	17
4. Qui d'autre calcule l'empreinte carbone de la demande finale ?.....	18
4.1. D'autres pays européens.....	18
4.1.1. Allemagne.....	18
4.1.2. Italie.....	18
4.1.3. Royaume Uni.....	18
4.1.4. Suède.....	18
4.2. Eurostat.....	19
4.3. L'OCDE.....	19
4.4. Autres initiatives institutionnelles et académiques.....	19
Annexe A. Références bibliographiques.....	21

1. Introduction

L'accentuation de la mondialisation de la production et de la diffusion des biens et services rend de plus en plus difficile de déterminer les responsabilités des impacts environnementaux des activités économiques à l'échelle planétaire. C'est ce que visent à apprécier les indicateurs dits d'*empreinte environnementale de la consommation*. Ils ont notamment pour objet de sensibiliser les populations concernées sur les conséquences environnementales, à la fois directes et indirectes de leurs comportements de consommation ou plus généralement, de leurs modes de vie : consommation de biens et services, utilisation d'équipements et d'infrastructures, etc. Lorsqu'ils sont ventilés par famille de produits, ces indicateurs permettent également aux acteurs des différents secteurs économiques (entreprises, organisation professionnelles...) d'identifier les éventuelles sources de pressions environnementales exercées indirectement par leurs activités, c'est-à-dire en amont de leurs sites de production (chez leurs fournisseurs et ceux de ces derniers, etc.).

1.1. La notion d'empreinte environnementale

La notion d'empreinte, appliquée aux pressions des activités humaines sur l'environnement, s'inspire de l'empreinte écologique promue par le *Global Footprint Network (GFN)*¹. Cet indicateur traduit les pressions environnementales associées directement et indirectement à la consommation de biens et de services d'une région ou d'un pays donné, en ramenant cette dernière à la quantité de surfaces biologiquement productives (dites bio-productives) nécessaires pour régénérer les ressources mobilisées et assimiler les déchets générés pour produire les composantes de ladite consommation. Ces surfaces sont étalonnées sur la base d'une productivité (biologique) moyenne mondiale dont chaque unité est appelée *hectare global*. L'empreinte écologique est ensuite comparée à la capacité biologique mobilisable (dite bio-capacité) du territoire de la population en question (voir *Boutaud, Gondrand, 2009*).

L'empreinte écologique connaît un certain succès grâce à des messages emblématiques communiquant sur ses principaux résultats : ainsi, selon cette approche, si l'ensemble de la population mondiale vivait comme les nord-américains ou les européens, il faudrait l'équivalent de plusieurs planètes Terre pour fournir les ressources suffisantes, ce qui sous-entend que la consommation de la population mondiale entraînerait un dépassement des capacités biologiques annuelles de la Terre. En d'autres termes, il faut désormais plus d'une année à la Terre pour régénérer les ressources renouvelables consommées par les êtres humains en une année et absorber le CO₂ émis dans le même temps.

Cet indicateur a fait l'objet de nombreuses critiques d'ordre méthodologique², notamment :

- l'assimilation d'hectares fictifs – hectares globaux – aux hectares réels ;
- l'absence de bio-capacité face à la composante carbone ;
- la différence de périmètre entre bio-capacité et empreinte, le territoire national pour l'une, la consommation intérieure, quel que soit le lieu de sa production, pour l'autre.

Par ailleurs, plusieurs catégories d'empreintes portant chacune sur un seul domaine environnemental sont en cours de développement : les émissions de gaz à effet de serre, l'utilisation d'énergie, l'utilisation d'eau, la mobilisation de matières : biomasse, métaux, minéraux, combustibles fossiles. On parle ainsi d'*empreinte carbone*, d'*empreinte énergie*, d'*empreinte eau*, d'*empreinte matières*, etc. L'approche en termes d'empreinte n'exclut a priori aucun domaine environnemental ; cependant, son élaboration peut être bloquée par l'indisponibilité des données, ainsi que par l'impossibilité de relier les pressions environnementales concernées à la consommation des biens et services.

Dans chacun des domaines concernés, le calcul de l'empreinte vise à traduire l'ensemble des pressions exercées sur l'environnement en relation avec la consommation de biens et services, que ces pressions soient directement exercées par les ménages, ou bien indirectement, par les établissements industriels, commerciaux et administratifs qui produisent, dans le pays concerné ou à l'étranger, les biens et services destinés à la demande intérieure (hors exportations). En d'autres termes, chacune des empreintes environnementales couvre, dans son domaine, les pressions exercées sur le territoire national plus celles qui sont exercées à l'étranger pour la production des biens et services consommés dans le pays concerné. Les pressions exercées en France pour la

¹ www.footprintnetwork.org/

² - Boisvert V., *L'empreinte écologique : un indicateur de développement durable ?*, in Maréchal J.-P., Quenault B., 2005. *Le développement durable, Une perspective pour le 21e siècle* – Rennes : Presses Universitaires de Rennes – pp. 165-183.
Blanc I., Corbiere-Nicollier T., Erkman S., Piquet F.-P., 2007, *L'empreinte écologique : un indicateur ambigu*, *Futuribles*, n° 334 – pp. 5-24.

production de biens et services destinés à l'exportation sont exclus des empreintes environnementales de la demande intérieure française.

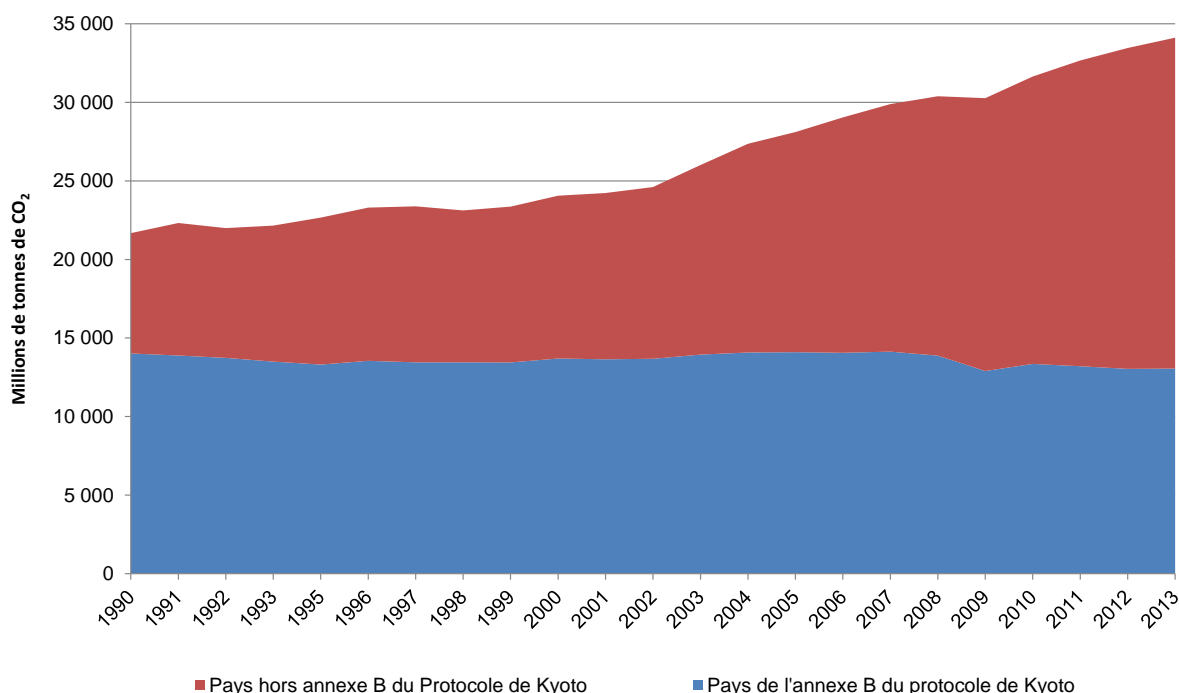
Ces indicateurs constituent par conséquent un complément précieux de l'information statistique traditionnelle dont le périmètre est le territoire sur lequel réside la population étudiée. Ils permettent notamment de tenir compte de l'approvisionnement de cette population à l'extérieur de son territoire et de ses conséquences en termes environnementaux. En outre, les indicateurs de la famille des empreintes environnementales participent de la recherche d'une juste appréciation de la responsabilité des pressions anthropiques exercées sur l'environnement et les ressources naturelles à l'échelle mondiale. Ils soulignent d'ailleurs, à cet égard, l'interdépendance des différentes populations de la communauté internationale dans la gestion des ressources, notion présente au cœur même de la définition de développement durable.

1.2. Contexte mondial des émissions de gaz à effet de serre

L'empreinte carbone d'un pays fournit par conséquent une information complémentaire aux inventaires des émissions de gaz à effet de serre (GES) sur le territoire national, qui sont réalisés au titre de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Le calcul de l'empreinte carbone d'une population vise à estimer la quantité de GES émise pour satisfaire sa consommation au sens large (biens, services, infrastructures), en tenant compte des émissions liées aux importations et aux exportations. Cette empreinte permet ainsi d'apprécier la pression exercée à l'échelle planétaire sur le climat (bien public mondial) par la population du pays considéré.

L'empreinte carbone d'une population représente l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre (GES) associées à sa consommation, que les produits ou services concernés soient fabriqués sur son territoire ou importés. Étant donné la mondialisation actuelle des économies, l'estimation de cet indicateur revêt une importance accrue pour percevoir l'impact des émissions de chacun sur le changement climatique à l'échelle planétaire. Les *fuites de carbone* résultant d'éventuels transferts d'activités émettrices en dehors du périmètre des pays ayant des engagements contraignants en termes d'émission de GES (e.g. pays de l'annexe B du protocole de Kyoto) tendraient à limiter la portée des objectifs de réduction d'émissions fixés au niveau international. L'estimation de ce type d'empreinte carbone participe également d'une juste appréciation des pressions anthropiques exercées sur l'environnement et souligne la nécessaire solidarité de la communauté internationale dans la lutte contre le changement climatique.

Figure 1 : évolution des CO₂ émis respectivement par l'ensemble des pays ayant des engagements de réduction dans le cadre du protocole de Kyoto (annexe B) et l'ensemble des autres pays



Sources : Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC ; cdiac.ornl.gov/) - Global Carbon Budget 2014

Plusieurs études (*Aichele et al., 2012 ; Boitier, 2012 ; Peters et al. ; 2011*) ont montré l'existence d'un « transfert » vers les pays tiers, via le commerce international, d'émissions de CO₂ de l'ensemble des pays ayant des engagements de réduction d'émissions de GES dans le cadre du protocole de Kyoto. Depuis l'année 1990, qui sert de base au protocole, les premiers ont collectivement stabilisé les émissions de CO₂ sur leur territoire, alors qu'augmentaient les émissions de CO₂ liées à leurs importations en provenance des pays hors du protocole ; l'ensemble des émissions de ces derniers a plus que doublé depuis cette date.

Ces observations ne permettent pas pour autant de conclure que le protocole de Kyoto serait responsable de la fuite d'activités économiques émettrices hors de son périmètre. En revanche, elles montrent la nécessité d'une mobilisation mondiale en matière de lutte contre les émissions de GES : l'engagement d'une partie des pays ne suffit pas, du moins lorsque, ensemble, ils ne représentent pas une part suffisamment grande du total des émissions mondiales. Au moment de la signature du Protocole de Kyoto, en 1997, l'ensemble des pays de l'annexe B représentait près de 60 % des émissions mondiales de CO₂, en 2013, il n'en représente plus qu'à peine 40 %.

2. Modalités de calcul macro-économique de l’empreinte carbone

On peut distinguer deux grandes familles parmi les méthodes de calcul de l’empreinte carbone de la consommation d’une population : l’une est de nature microéconomique et résulte de la combinaison de statistiques détaillées sur la consommation des ménages et de facteurs d’émissions également détaillés³, l’autre est de nature macroéconomique et s’appuie sur la combinaison de statistiques macroéconomiques – en l’occurrence les tableaux entrées-sorties (TES) de la comptabilité (économique) nationale – et de comptes physiques environnementaux retraçant les émissions atmosphériques (ici les GES) par activités économiques (ventilées par branches, plus les ménages), encore appelés NAMEA-air (*Pasquier, 2015*). Nous nous intéressons ici uniquement à la seconde, dans la mesure où la méthode adoptée par le SDES pour calculer l’empreinte carbone de la demande finale intérieure française est de nature macroéconomique.

L’empreinte carbone de la demande finale intérieure inclut les GES directement émis par les ménages (chauffage résidentiel, véhicules individuels) et les émissions (indirectes) provoquées lors de la fabrication et du transport des produits consommés par ces derniers, que ces produits soient fabriqués en France ou à l’étranger. L’information sur les émissions directes des ménages est issue des comptes d’émissions atmosphériques par activités économiques (NAMEA-air). Celle qui concerne les émissions indirectes associées à la production, au transport et la distribution des biens & services demandés par les ménages provient du calcul input-output qui met en relation les TES et les comptes d’émissions de GES ventilés par branches.

La section qui suit décrit les principes généraux de ces calculs input-output, tout en distinguant trois situations possibles pour le calcul des émissions associées aux importations.

2.1. Principes généraux

Le calcul input-output décrit ici vise à estimer la masse de GES associée à chaque euro de demande finale pour chacune des grandes catégories de produits (biens et services) identifiés par la comptabilité nationale. Ces intensités en GES des produits sont alors multipliées par la valeur (euros) des produits demandés en France. On parle de demande intérieure dans la mesure où les émissions de GES associées aux produits exportés (demande extérieure) sont exclues du périmètre de l’empreinte carbone à laquelle nous nous intéressons.

2.1.1. Calcul de type input-output étendu à l’environnement

Le calcul type input-output en économie est issu des travaux d’analyse interindustrielle de l’économiste Wassily Leontief qui fut l’inventeur dans les années 1930/40 des tableaux input-output ou tableaux entrées-sorties (TES). Aujourd’hui, cette méthode de calcul est abondamment documentée dans la littérature académique et une association scientifique internationale lui est même dédiée⁴.

L’analyse input-output étendue à l’interface entre économie et environnement s’inspire également de travaux menés par Leontief au cours des années 1970 et pour lesquels il combina TES et statistiques environnementales physiques. Dans les années 1990, avec sa proposition de NAMEA, l’office statistique néerlandais (*Keuning et al., 1999*) a remis à l’ordre du jour l’analyse input-output étendue à l’environnement. Dorénavant, celle-ci est également bien documentée (*e.g. Miller & Blair, 1985 ; Moll et al., 2007 ; Suh, 2009*).

Cette méthode d’analyse s’appuie sur l’équilibre comptable entre offre et demande décrit par le tableau d’entrées-sorties de la comptabilité nationale. L’offre est composée de la production intérieure (P) et des importations (M). Elle permet de satisfaire la demande, qui se compose des consommations intermédiaires (CI) des entreprises (matières premières, produits semi-finis et services qu’elles utilisent, ainsi que des produits finis qu’elles revendent) et de la demande finale (DF). Cette dernière comprend la consommation de produits finis et de services, l’investissement (équipement des entreprises, logement des ménages) et les exportations⁵.

³ C’est notamment le cas de l’indicateur *ECO₂ Climat* développé par le bureau d’études Carbone 4 ; www.carbone4.com/tout-sur-eco2climat/. Cette approche s’apparente au Bilan carbone™ développé sous l’égide l’Ademe.

⁴ www.iioa.org/

⁵ Nous omettons ici à dessein l’étape du TES *dit* du cadre central de la comptabilité nationale, dans lequel offre et demande sont exprimés en prix d’acquisition (taxes et marges commerciales et de transport comprises), pour partir de l’équilibre tel qu’il est décrit avec le TES *dit* symétrique, c’est-à-dire en prix de base (hors taxes et marges). Le lecteur intéressé par le passage du TES du cadre central au TES symétrique pourra se reporter à Lenglard et al., 2010 (encadré 2, pp. 119 et suivantes).

$$[P] + [M] = [CI] + [DF] \quad (1)^6$$

Sur la base d'une représentation très agrégée de l'économie en trois branches et trois produits (biens et services), l'équilibre entre offre et demande s'écrit de la façon suivante dans le TES symétrique :

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} CI_{11} & CI_{12} & CI_{13} \\ CI_{21} & CI_{22} & CI_{23} \\ CI_{31} & CI_{32} & CI_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} DF_1 \\ DF_2 \\ DF_3 \end{bmatrix} \quad (1\text{bis})$$

Les TES symétrique est décomposé en un TES intérieur (indiqué d , en référence à *domestic* en anglais) et un TES importé (indiqué m), en distinguant parmi chaque élément de la demande la part qui est produite sur le territoire de celle qui est importée. Dans ces conditions, l'équation (1) est décomposée en deux éléments :

$$P = CI^d + DF^d \quad (2a)$$

$$M = CI^m + DF^m \quad (2b)$$

La production intérieure (P) et les importations (M) sont respectivement utilisées en partie à des fins productives (CI^d et CI^m) et en partie pour usage final (DF^d et DF^m).

En outre, il est possible d'exprimer les consommations intermédiaires en fonction de la production. Pour chacune des branches ($j = 1, \dots, n$), on peut en effet déterminer les ratios rapportant la valeur de des consommations intermédiaires (CI_{ij}) de chacun des produits ($i = 1, \dots, n$) à celle de sa production (P_j). Dans la littérature académique, ces ratios sont appelés *coefficients techniques* et sont notés $a_{ij} = CI_{ij}/P_j$. La matrice composée de l'ensemble des *coefficients techniques* est noté $[A]$; dans le TES symétrique, elle est décomposable en deux matrices, l'une pour les consommations intermédiaires issues de la production intérieure $[A^d]$ (matrice de l'ensemble des $a_{ij}^d = CI_{ij}^d/P_j$), l'autre pour les consommations intermédiaires importées $[A^m]$ (matrice de l'ensemble des $a_{ij}^m = CI_{ij}^m/P_j$).

Il devient alors possible d'exprimer la production en fonction de la demande finale en récrivant les équations (2a) de la façon suivante :

$$P = [A^d] \cdot \langle P \rangle + DF^d \Leftrightarrow [I - A^d] \cdot \langle P \rangle = DF^d \Leftrightarrow \boxed{P = [I - A^d]^{-1} \cdot \langle DF^d \rangle} \quad (3a)^7$$

La version finale est traditionnellement désignée comme l'équation de Leontief de base, dans laquelle, la matrice $[I - A^d]^{-1}$ a vocation à décrire la structure de l'appareil productif sur le territoire nationale. $[I]$ est la matrice identité (composée de 1 dans la diagonale correspondant aux couples branches i /produits j et de 0 par ailleurs).

Dans le cas des importations, l'équation 3b est construite de façon analogue à l'équation 3a. À la différence que la matrice des *coefficients techniques* porte sur les consommations intermédiaires importées ($[A^m]$) et que la demande finale concernée porte sur les importations pour usage final (DF^m). Dans la version finale de l'équation 3b, P est remplacé par sa valeur dans l'équation de Leontief (3a).

$$M = [A^m] \cdot \langle P \rangle + DF^m \Leftrightarrow M = [A^m] \cdot [I - A^d]^{-1} \cdot \langle DF^d \rangle + DF^m \quad (3b)$$

2.1.1.1. Les émissions issues de la production intérieure

Sur cette base, le calcul des émissions (E) de GES (ou tout autre pression environnementale) associé à la demande finale est réalisé à l'aide de l'introduction dans l'équation de Leontief des intensités émettrices de chacune de branches ($e_j = E_j/P_j$) considérées.

Sur le périmètre de la seule production intérieure (hors importations), le calcul consiste donc à introduire les intensités émettrices des branches en France ($e_j^d = E_j^d/P_j$) dans l'équation 3a :

$$\boxed{E^d = \langle e_j^d \rangle \cdot [I - A^d]^{-1} \cdot \langle DF^d \rangle} \quad (4a)$$

⁶ Dans l'espoir de faciliter la lecture des équations, nous adoptons ici une notation proche celle qui est utilisée dans l'article mentionné au-dessus (*Lenglar et al., 2010*), notamment pour la production (P) et la demande finale (DF), alors que dans les publications précédentes (*Pasquier, 2010 ; CGDD/SOeS, 2010*), nous avons repris les notations majoritairement utilisées de la littérature académique (X pour la production et Y pour la demande finale). Les importations sont notées M car le I est réservé à la matrice identité.

⁷ On note par des lettres capitales sans crochet les vecteurs-colonne, par $[\quad]$ les matrices carrées, et par $\langle \quad \rangle$ l'opérateur qui transforme un vecteur-colonne en matrice carrée diagonale.

À chaque euro de la demande finale du produit i est donc attribué un contenu en GES directement émis par la branche j pour la production de cet euro, ainsi que les GES qui y sont indirectement imputables via les consommations intermédiaires de la branche j , plus celles des branches fournissant cette dernière, et ainsi de suite jusqu'à l'étape située la plus en amont du processus, c'est-à-dire la production des matières premières.

À ce stade, les émissions associées aux consommations intermédiaires importées et aux importations pour usage final ne sont pas prises en compte.

2.1.1.2. Les émissions associées aux importations

Afin d'estimer les émissions associées aux importations, il convient de tenir compte de la structure productive des pays exportateurs, ainsi que de l'intensité émettrice de leur branches. Dans ce but, le calcul de ces émissions s'appuie sur l'introduction d'information statistiques spécifiques aux pays (p) exportateurs – structure de l'appareil productif ($[I - A^p]^{-1}$) et intensités émettrices des branches ($e_j^p = E_j^p / P_j$) – dans une équation construite de façon analogue à celle qui porte sur la production intérieure (équation 4a) :

$$E^{m,p} = \langle e_j^p \rangle \cdot [I - A^p]^{-1} \cdot \langle M \rangle \quad (4b)$$

On remplace alors les importations (M) par ce à quoi elles sont équivalentes dans l'équation 3b :

$$E^{m,p} = \langle e_j^p \rangle \cdot [I - A^p]^{-1} ([A^m] \cdot [I - A_d]^{-1} \cdot \langle DF^d \rangle + \langle DF^m \rangle) \quad (4b')$$

Pour faciliter le calcul, on peut également, dans le second terme de l'équation, séparer le calcul des émissions associées aux importations pour consommation intermédiaire, de celui des émissions associées aux importations pour usage finale.

$$E^{m,p} = \underbrace{\langle e_j^p \rangle \cdot [I - A^p]^{-1} ([A^m] \cdot [I - A_d]^{-1} \cdot \langle DF^d \rangle)}_{\text{Émissions des consommations intermédiaires importées}} + \underbrace{\langle e_j^p \rangle \cdot [I - A^p]^{-1} \langle DF^m \rangle}_{\text{Émissions des importations pour usage final}} \quad (4b'')$$

Dans cette dernière équation, l'élément $\langle e_j^p \rangle \cdot [I - A^p]^{-1}$, que l'on retrouve dans chacune des parties du second terme, correspond aux contenus en GES associés directement et indirectement à la production de chacun des différents biens et services, dans les conditions économiques et techniques du pays p considéré.

Dans la première partie du second terme, l'élément $[A^m] \cdot [I - A_d]^{-1}$ correspond au contenu en importations de la production intérieure.

Présentation agrégée du calcul de l'empreinte carbone de la demande finale

Les calculs formulés par les équations ci-dessous sont présentés dans un fichier au format Excel (Empreinte_C_dde_intérieure_méthodologie_illustrations_v0) sur la base d'une version agrégée en 3 branches/produits. Le fichier contient 3 feuilles de calcul intitulées « intérieur », « global_1 » et « importations_1 » qui décrivent respectivement le calcul hors importations (notamment l'équation 4a), le calcul globalisé qui intègre les importations sur la base de statistiques portant uniquement sur la France (cas de l'hypothèse des importations produites comme en France) et le calcul séparé des émissions associées aux importations (équation 4b).

Le fichier contient en outre les données de base utilisées : les émissions de dioxyde de carbone au format NAMEA (feuille « CO₂ ») et le tableau entrées-sorties en version symétrique (« siot05 » pour le regroupement des parties intérieures et importées, « dom05 » la composante intérieure et « imp05 » les importations). Les feuilles de calcul sont liées à celles des données de base.

Sur chacune des feuilles de calcul, les données de base se situent en haut à gauche. Les cellules correspondant au TES sont colorées en orange et celles des émissions des branches le sont en gris. À ce niveau, ainsi que pour les calculs, la notation utilisée (lettres désignant les variables, symboles indiquant leur format : vecteur, matrice, etc.) dans le présent document y est reprise. Les numéros des équations y sont également indiqués (police rouge).

En-dessous du TES, dans les colonnes G à I, se trouvent les calculs des *coefficients techniques* ($[A]$) et des matrices qui en dérivent, ainsi que les intensités en émissions de la production ($\langle e_j^d \rangle$). À droite du TES, sur les lignes 5 à 15, se trouvent certaines de ces composantes aménagées pour les besoins des calculs (diagonalisation de la demande finale intérieure $\langle DF^d \rangle$ et de la production $\langle P \rangle$). Le calcul des équations 3a (feuille intérieure), 4a (global) et 4b'' (importations_1) se situent sur les colonnes M à P.

Produit	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
primaire	0,208	16,033	78,947	11,970	38,470	2,354	1,465,972	398,329	1,865,301	24,153	0	0
secondaire	0,165	178,224	1,080,816	12,554	287,041	116,406	14,626	9,527	24,153	0	664,815	0
tertiaire	0,050	98,558	1,955,403	10,658	224,893	543,519	378,175	286,640	664,815	0	0	1,176,333

Dans leur première version, les fichiers de calcul de l'empreinte carbone restituait le contenu direct et indirect en GES engendré par la demande finale adressée à chaque branche (colonne), sans le répartir entre les différents produits consommés par ces dernières à des fins intermédiaires (lignes). Le résultat se présentait donc sous forme d'un vecteur. Sur les feuilles de calcul « intérieur », « global » et « importations », la présentation des modalités de calcul de cette première version est signalée par un intitulé de couleur verte : version des fichiers de calcul avant la restitution des résultats ventilés par produits.

2.1.2. Plusieurs options sont possibles pour le calcul des émissions associées aux importations

Sur la base de cette démarche de type input-output étendue à l'environnement, il existe plusieurs possibilités de calcul des émissions de GES de la demande intérieure, en fonction du niveau de précision avec lequel sont calculées les émissions associées aux importations. La méthode la plus simple consiste à faire l'hypothèse que les importations sont produites dans les mêmes conditions que le pays importateur. Il est aussi possible de tenir compte des conditions de production des (principaux) pays d'origines des importations, en considérant, pour chacun d'entre eux, que leurs propres importations sont produites de façon identique à leur production intérieure. Enfin, il est possible de s'appuyer sur un modèle de calcul multirégional qui opère un bouclage mondial des importations et exportations et donc qui tient compte à la fois des conditions de production et d'importation des pays ou groupes de pays considérés.

2.1.2.1. Hypothèse des importations produites comme dans le pays importateur

Lorsque cela est approprié ou bien lorsque la disponibilité des informations statistiques l'impose, il est possible de calculer l'empreinte carbone à partir des seules informations intérieures (TES et émissions de GES ventilés par branche). Pour ce qui concerne les importations, cela revient à considérer que les biens et services concernés sont produits dans les mêmes conditions que dans le pays importateur, *i.e.* même structure de l'appareil productif (*coefficients techniques*) et mêmes intensités en GES de la production des différentes branches.

Sur cette base, les GES associés aux importations sont aussi interprétés comme des émissions évités sur le territoire national (Eurostat, 2011).

Le calcul est alors réalisé à l'aide de l'équation 4b, dans laquelle les éléments aux exposant p (coefficients techniques : $[A^p]$ et intensité en GES des branches e_j^p) sont remplacés par ceux du pays importateur ($[A]$ et e_j^d).

Pour l'ensemble des émissions de la demande finale (hors émissions directes des ménages), cela revient à calculer l'équation 3a en remplaçant, d'une part, la matrice des *coefficients techniques* basée sur les consommations intermédiaires issues uniquement de la production intérieure ($[A_d]$), *i.e.* hors importations, par la matrice tenant compte des consommations intermédiaires à la fois issues de la production intérieure et importées ($[A]$) et, d'autre part, la demande finale adressée à la production intérieure hors importations (DF_d) par la demande finale totale, *i.e.* y compris les importations (DF).

2.1.2.2. Approche unilatérale (mobilisation de statistiques issues de principaux exportateurs)

Lorsque la disponibilité des informations statistiques le permet, il est possible de tenir compte de la structure de l'appareil productif ($[A^p]$) et des intensités en GES des branches (e_j^p). Dans ce cas, on reproduit le calcul de l'équation 4b'' autant de fois que le nombre de pays ou groupes de pays identifiés.

L'ensemble des émissions associées aux importations, résulte alors de la somme des émissions associées aux importations provenant des différents pays ou groupes de pays, pondérées en fonction de l'importance relative de chacun d'entre eux dans les importations totale du pays concerné (M^p/M). Le mode pondération peut notamment se faire sur la base de la répartition des importations en valeur par pays ou groupe de pays.

$$E^m = \sum_{p=1}^n E^{m,p} \cdot \frac{M^p}{M}$$

À ce stade, on ne tient toutefois pas compte de la spécificité des importations des pays exportateurs. Dans ce cas, pour chacun des pays exportateurs, on réalise le calcul sur la base de l'hypothèse selon laquelle ses propres importations seraient produites dans les mêmes conditions (structure productive et intensité émettrices des branches) que chez lui.

2.1.2.3. Approche multilatérale (modèle bouclé à l'échelle mondiale)

Pour tenir compte de l'ouverture des économies exportatrices vers le pays dont on étudie l'empreinte carbone, ainsi que de celles de pays situés en amont de ces exportateurs, il est nécessaire de s'appuyer sur un modèle bouclé à l'échelle mondiale, désignés comme modèles *input-output* multirégionaux⁸. Ces modèles consiste dans un ensemble de TES (autant que de pays ou groupes de pays considérés) reliés entre eux par des statistiques de commerce international harmonisées, décrivant les échanges extérieures entre les différents pays ou groupes de pays considérés.

Ces modèles visent une meilleure prise en compte des contenus en GES des importations. Celle-ci dépend en effet en premier lieu de la structure productive et de l'intensité en GES de la production des pays qui sont exportateurs vers le pays étudié. Elle dépend également du niveau d'ouverture de leur économie et, par conséquent, des caractéristiques (structure productive et intensité en GES de la production) des économies situées en amont de la chaîne de production.

Le caractère multirégional et le bouclage à l'échelle mondiale ne présument toutefois pas du niveau de détail de la ventilation par pays ou groupes de pays. Celui-ci peut varier de façon importante en fonction du besoin du modélisateur, de ses ressources pour rassembler les données et de la disponibilité elle-même des données.

2.1.3. L'empreinte carbone totale

Dans le cas de l'approche macroéconomique qui nous occupe ici, la totalité de l'empreinte carbone de la demande intérieure résulte de l'addition de ces trois grandes composantes, deux intérieures et une extérieure : les émissions directes de ménages, les émissions indirectes associées à la production, en France et à l'étrangers, des biens et services qu'ils achètent.

Les ménages sont directement à l'origine d'émissions de GES lorsqu'ils utilisent des combustibles et carburants avec leurs propres équipements. C'est notamment le cas dans les chaudières et autres appareils destinés à chauffer leurs habitations (y compris l'eau chaude sanitaire et la cuisson) et leur voitures particulières et deux-roues motorisés, ainsi que dans des équipements de jardinage, de bricolage ou de loisir tels que les tondeuses, tronçonneuses... ou bateaux de plaisance. Certains des ménages sont aussi directement à l'origine d'émissions de CH₄ lorsqu'ils traitent leurs eaux usées de façon autonome. Enfin, des HFC s'échappent de leurs réfrigérateurs et appareils de climatisation.

Les émissions provoquées au cours de la production (y compris le transport et la distribution) de biens et services destinés à la demande intérieure (*i.e.* hors exportations) sont attribuées à l'empreinte carbone des personnes qui résident sur le territoire national. Les émissions associées à la production de biens et services exportés sont attribuées aux populations qui en sont destinataires.

Enfin, les émissions associées à la production (y compris le transport et la distribution) des biens et services importés pour satisfaire la demande finale intérieure sont également attribuées à l'empreinte des personnes qui résident sur le territoire national. Parmi ces émissions, on peut distinguer la part associée aux importations pour un usage productif (consommation intermédiaire des entreprises) de celle associée aux importations pour usage final.

2.2. Application à la France

Au moment de la rédaction de ce document, l'empreinte carbone a été calculée pour les années 1990, 1995, 2000, 2005, 2007 et 2010. Cependant, seul le calcul pour l'année 2010 a été réalisé dans la version dite *développée* qui permet une restitution des résultats ventilés par produits (*cf. l'encadré ci-dessus présentation agrégée du calcul*). En outre, des révisions ont été apportées (calcul des émissions de l'électricité importée/exportée, application des coefficients moyens de l'Union européenne à l'ensemble des importations provenant d'Europe, révision de l'estimation des émissions de CH₄ et N₂O des importations en provenance de pays hors d'Europe).

La série 1990-2007 devra être révisée, d'autant que les comptes NAMEA-air de la France pour les années antérieures à 2008 pourront être mis à jour à partir l'automne 2016. Par ailleurs, dans la partie intérieure de l'empreinte, les DOM devraient pouvoir être pris en compte à partir de l'automne 2016 pour l'année 2010 et les suivantes et à partir de l'automne 2017 pour la série 1990-2007.

⁸ Dans la littérature spécialisée, qui est publiée principalement en anglais, ils sont désignés comme *multi-regional input-output (MRIO) models* ou *MRIO database*.

2.2.1. Calendrier des principales sources statistiques mobilisées

Compte tenu du nombre de sources statistiques mobilisées pour le calcul détaillé de l’empreinte carbone de la demande finale, la « fraîcheur » avec laquelle cet indicateur peut être calculé dépend du rythme de diffusion de ces données et en particulier de celui de la donnée qui est mise à disposition le plus tardivement. Au vu du calendrier de diffusion des principales statistiques mobilisées (tableau 1), ce calcul peut être réalisé au mieux au cours de la quatrième année suivant l’année de constat.

Tableau 1 : calendrier de diffusion des principales sources statistiques mobilisées

Sources	Commentaires	A+12 mois	A+21 mois	A+24 mois	A+33 mois	A+42 mois
Inventaires nationaux de GES	transmission à la CCNUCC	31/12/A+1				
Comptes d’émissions atmosphériques (NAMEA) de la France	transmission à Eurostat		30/09/A+2			
Comptes d’émissions (NAMEA) des pays de l’UE et de l’UE27	diffusion par Eurostat			31/12/A+2		
TES symétriques de la France	transmission à Eurostat				30/09/A+3	
TES symétriques des pays de l’UE et consolidation à l’échelle de l’UE	diffusion par Eurostat					été A+4

Afin de répondre à la demande pour avoir une estimation plus récente de l’empreinte carbone de la demande française, une procédure a été mise en place pour calculer une version dite *avancée* (cf. section 2.3. ci-dessous).

2.2.2. Émissions intérieures

Les émissions de la production intérieure (hors importations) destinée à la demande intérieure sont calculées selon les modalités décrites plus haut dans la section 2.1.1.1., à l’aide des comptes NAMEA-air (la partie qui concerne les branches économiques) de la France et des TES symétriques mentionnés au-dessus.

Le calcul des émissions hors importations permet d’attribuer les émissions des entreprises résidentes en France aux produits de la demande finale ventilés selon les 64 catégories du TES symétrique. Dans ce dernier, la décomposition de la demande finale sépare les parties intérieures (consommation des ménages, organismes à but non lucratifs, administrations publiques, formation brut de capital fixe et variation de stock) et extérieure (exportations). Cette séparation permet d’exclure les émissions associées aux exportations qui ne sont pas comptabilisées dans l’empreinte carbone de la demande intérieure.

Dans le cadre de l’estimation avancée (cf. section 2.3 ci-dessous), la séparation des émissions associées aux exportations est également utile pour les déduire de la somme des émissions de la production intérieure.

2.2.3. Émissions associées aux importations

Pour le calcul des émissions associées aux importations, on tente de tenir compte des conditions de production en dehors de la France. Du point de vue des données mobilisées, ces conditions sont décrites par les *coefficients techniques* ($[A^p]$) et les *intensités en GES de la production par branches* (e_j^p). Pour l’ensemble des pays européens, sauf la Russie, on s’appuie sur les statistiques (TES symétrique et comptes physiques d’émissions de GES) consolidées à l’échelle de l’Union européenne (EU)⁹. Pour les ensembles géographiques considérés en dehors d’Europe : Afrique, Amérique du Nord, Amérique du Sud, Asie (hors Japon), Moyen Orient, Océanie, Japon et Russie, on part du calcul des contenu en GES des produits ($(e_j^p) \cdot [I - A^p]^{-1}$) de l’UE, dans lequel on ajuste les intensités en GES de la production en fonction de la différence avec celles de l’UE. A défaut de pouvoir mobiliser les TES des ensembles géographiques hors d’Europe, compte tenu de la taille économique de l’Union, on compte sur celui de l’UE pour donner une représentation réaliste des conditions de production (*coefficients techniques*) des différents produits.

⁹ Pour les premières publications du SDES sur l’empreinte carbone, les coefficients étaient calculés pour quelques-uns des pays de l’Union européenne (UE) qui étaient alors les principaux partenaires commerciaux de la France (Allemagne, Belgique, Espagne, Italie, Royaume-Uni). Ce raffinement a été abandonné en raison de l’irrégularité de la disponibilité des TES symétriques pour chacun des pays concernés ; pour le CO₂, la suppression de ce raffinement n’affectait pas de façon significative le résultat d’ensemble observé sur l’ancienne série 1990-2007.

Dans le cas du CO₂, l'ajustement est scindé en deux entre la production d'électricité et les autres branches :

- L'ajustement de l'intensité de la production d'électricité et de chaleur (NAF 35) est basé sur la différence d'intensité en CO₂ du kWh (source Agence internationale de l'énergie) entre l'UE et celle de chacun des ensembles géographiques considérés. En raison de la disponibilité des données à l'échelle internationale, les intensités utilisées couvrent la totalité de la production d'électricité et de chaleur, c'est-à-dire celle des entreprises dont c'est l'activité principale plus l'autoproduction, que celle-ci soit vendue ou bien autoconsommée.
- L'ajustement des intensités en CO₂ des autres branches est basé sur la différence d'intensité en CO₂ du PIB entre l'UE et celle de chacun des ensembles géographiques considérés.

Pour le CH₄ et le N₂O, l'ajustement du calcul des contenus en GES des produits de l'UE pour les ensembles géographiques hors de l'UE est basé uniquement sur les différences d'intensités en GES du PIB.

2.3. Estimation avancée pour les années récentes

En raison de la diffusion tardive du TES symétrique consolidé à l'échelle de l'Union européenne, l'estimation de l'empreinte carbone de la demande française selon la méthode décrite dans les deux sections qui précèdent (2.1. et 2.2.), ne peut au mieux être réalisée qu'au cours de la quatrième année suivant l'année de constat (cf. sous-section 2.2.1.). Afin de répondre à la demande pour disposer d'une estimation plus récente, et en particulier à l'obligation établie dans le cadre de la mise en œuvre de la loi Sas (cf. section 3.1.2.), une procédure a été mise en place pour calculer une version dite *avancée*, dont le résultat porte sur les deux années qui précèdent l'année en cours.

Le résultat visé de cette estimation porte sur le total de l'empreinte de la demande intérieure de la France. Il s'agit alors de faire évoluer le dernier résultat en date obtenu à partir du calcul détaillé, qui est présenté dans les deux sections (2.1. et 2.2.) précédentes, à l'aide d'informations appropriées qui portent sur des années plus récentes. Pour ce faire, on distingue les parties intérieure et extérieure de l'empreinte, que l'on fait évoluer à partir de sources statistiques différentes.

2.3.1. La composante intérieure de l'empreinte

La partie intérieure de l'empreinte est composée des émissions directes des ménages (chauffage des habitations et voiture particulière) et des émissions associées à la partie de la production des entreprises installées en France destinée à la demande intérieure (*i.e.* hors exportations). Les comptes physiques d'émissions atmosphériques distinguent les émissions directes des ménages et les émissions résultant de la production réalisée par les entreprises installées en France. Chaque année, les comptes d'émissions atmosphériques sont disponibles au cours du mois de septembre (Pasquier, 2015).

À l'automne, on dispose par conséquent de l'estimation la plus récente des émissions directes de GES des ménages jusqu'à l'année A-2. C'est également le cas des émissions de la production des entreprises installées en France. Cependant, dans ce cas, il est nécessaire de soustraire de ces émissions la partie qui est associée aux exportations (cf. sous-section 2.3.2.) ; seules les émissions de la demande intérieure sont comptabilisées dans l'empreinte.

Pour l'estimation *avancée* portant sur l'année précédente (A-1), on ne dispose pas des comptes d'émissions distinguant celle des ménages et des entreprises. On fait alors évoluer le résultat obtenu pour l'année A-2 de l'ensemble regroupant les émissions des ménages et celles résultant de la production intérieure destinée à la demande intérieure (*i.e.* hors exportations) selon l'évolution du dernier inventaire national des émissions de GES en date entre A-2 et A-1.

2.3.2. La composante extérieure de l'empreinte

Pour les émissions associées aux importations et aux exportations, l'évolution jusqu'à l'année A-2, voire A-1, est estimée en faisant varier dans le calcul détaillé uniquement les composantes de la demande finale impliquées (cf. respectivement les équations 4b'' et 4a dans la section 2.1.1.). En l'occurrence, il s'agit, d'une part, de la demande finale importée ($\overline{\langle DF^m \rangle}$) et, d'autre part, de la demande finale adressée à la production intérieure ($\overline{\langle DF^d \rangle}$). Par conséquent, les intensités en GES de la production ($e_j^p = E_j^p/P_j$) et des coefficients techniques ($a_{ij} = CI_{ij}/P_j$) sont identiques à ceux de l'année de base. L'estimation est donc réalisée à technique et structure productive inchangées.

Dans le cadre des comptes nationaux annuels, l'Insee publie chaque année au cours du printemps les résultats des ressources et emplois de biens et de services mis à jour jusqu'à l'année A-1. Ces résultats couvrent les différentes composantes de la demande finale et les échanges extérieurs. On utilise la série exprimée en volume aux prix de l'année précédente chaînés. Afin d'utiliser le même niveau de détail pour l'ensemble des résultats mobilisés, on s'appuie sur la version ventilée en 38 postes de la classification de produits française.

En ce qui concerne les importations pour usage final, on fait varier l'ensemble de la demande finale intérieure importée ($\overline{DF^m}$), sur la base de l'évolution en volume des importations totales par produit, par rapport à l'année de base. À ce stade, on ne dispose pas d'une information distincte de l'évolution de la partie importée pour usage final.

Pour ce qui concerne la partie des GES associées aux importations de consommation intermédiaires, on fait d'abord varier la demande finale totale en faisant évoluer chacune de ses composantes (sauf la variation des stocks), selon l'évolution en volume des composantes correspondantes de la demande finale totale par produit, par rapport à l'année de base (en l'absence de variations des stocks exprimées en volume, on les conserve identiques à celles de l'année de base). On déduit alors, pour l'année ciblée, la demande finale adressée à la production intérieure ($\overline{DF^d}$) en retranchant la demande finale importée calculée précédemment.

Il résulte également de cet ajustement de la demande finale adressée à la production intérieure une estimation avancée des GES associées aux exportations. Celle-ci est alors retranchée des GES émis sur le territoire, afin d'estimer la composante intérieure de l'empreinte (*cf. section 2.3.1.*).

3. Diffusion et utilisation des données

3.1. Indicateurs de développement durable

3.1.1. Stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable

Jusqu'à présent, l'empreinte carbone de la consommation en France ne sert de support à aucun engagement international, mais, depuis 2010, elle constitue l'un des indicateurs phares de la Stratégie nationale de développement durable, devenue depuis Stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable (SNTEDD).

3.1.2. Loi visant à la prise en compte des nouveaux indicateurs de richesse dans la définition des politiques publiques

À l'initiative de la députée Eva Sas, a été adoptée la loi n° 2015-411 du 13 avril 2015 dont l'unique article demande au gouvernement français de remettre chaque année en octobre un rapport retraçant l'évolution, sur les années passées, de nouveaux indicateurs de richesse, c'est-à-dire complémentaire au produit intérieur brut (PIB) sur la base duquel est appréciée la croissance économique. L'empreinte carbone, dénommée *consommation carbone* dans ce cadre, a été retenue par les dix indicateurs choisis.

Il s'agit ici de suivre l'évolution récente de l'indicateur. Cependant, en raison des statistiques mobilisées, comme indiqué précédemment, le résultat détaillé de l'empreinte carbone telle qu'elle est calculée par le SDES porte au mieux sur l'année N-4 et la mise à jour de ce calcul n'est pas effectuée chaque année. Dans ces conditions, l'information qui sera fournie pour répondre à la loi Sas, s'appuiera sur le mode d'estimation préliminaire décrit ci-dessus (*cf. section 2.3*).

Au moment de la rédaction de ce document, le SDES s'est engagé, à partir de l'année 2016, à fournir chaque année une estimation *avancée* de l'empreinte carbone portant sur l'année N-2. Le rapport, qui sera préparé par les services du ministère en charge du Budget dans le cadre de la préparation des lois de finances, étant dû pour le mois d'octobre, l'empreinte devra être disponible à la fin du mois de juillet.

3.2. Publications

3.2.1. Par le SDES

Les résultats de l'empreinte carbone sont diffusés à la fois sur le site internet du SDES (Document de travail : *Note préalable à l'élaboration du rapport gouvernemental annuel au titre de la loi dite « SAS » du 13 avril 2015*) et dans une publication récurrente : *Les chiffres clés du climat*. Les résultats sont également repris dans la publication annuelle du gouvernement, *Les nouveaux indicateurs de richesse*, présentée aux parlementaires concomitamment à l'examen du projet de loi de finances. Ces publications annuelles présentent les résultats du calcul des empreintes carbone des années 1995 à l'année n-1. L'indicateur fait l'objet de calcul détaillé pour les années 1995 à l'année n-4 et d'estimations pour les années les plus récentes. Chaque année, les séries historiques sont entièrement actualisées afin de tenir compte de la mise à jour des sources de données.

L'empreinte carbone a également fait l'objet d'une publication ponctuelle dans la collection *Le point sur* (*L'empreinte carbone de la consommation des Français : évolution de 1990 à 2007*, CGDD/SOeS, *le point sur*, n° 114, mars 2012)¹⁰.

3.2.2. À l'extérieur du SDES

En dehors du CGDD, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) diffuse les résultats de l'empreinte carbone dans le cadre de sa publication intitulée *Chiffres clés Climat Air Énergie*.

¹⁰ www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/empreinte-carbone-de-la-consommation-des-francais-evolution-de-1990-2007?rubrique=27&dossier=1286

4. Qui d'autre calcule l'empreinte carbone de la demande finale ?

Le bref panorama donné ci-dessous n'est pas exhaustif. Il vise simplement à indiquer des possibilités de comparaison ainsi que les pistes d'évolution potentielles du contexte international.

4.1. D'autres pays européens

4.1.1. Allemagne

Dans le cadre du développement des comptes économiques de l'environnement conduit sous l'égide d'Eurostat, l'office statistique allemand (Destatis) a mené des travaux sur les conditions d'utilisation de calcul input-output étendu à l'environnement (matière, énergie, émissions de CO₂, eau).

En ce qui concerne le CO₂, Destatis a mis en place une procédure de calcul qui s'appuie essentiellement sur la combinaison du TES allemand et des comptes d'émissions atmosphériques ventilés par branches allemands. Des ajustements sont toutefois effectués pour tenir compte des conditions de production des principaux pays exportateurs vers l'Allemagne en ce qui concerne les branches les plus grandes émettrices (production d'énergie et industries de base) ; dans les autres cas, les conditions de production allemandes s'appliquent. En outre, Destatis utilise un modèle input-output dit *hybride* dans la mesure où certaines des valeurs (monétaires) du TES sont remplacées par des données physiques, en l'occurrence pour ce qui concerne la production, l'importation et l'utilisation de l'énergie (Mayer & Flachmann, 2011).

L'estimation des émissions de CO₂ de la demande finale allemande fait dorénavant l'objet d'une publication régulière¹¹.

4.1.2. Italie

Lorsque l'institut statistique italien s'est intéressé aux émissions de GES de la demande finale, son estimation des émissions associées aux importations reposait essentiellement sur l'application des conditions de production italiennes. Seules les données de quelques branches, dont la situation italienne était jugée insuffisamment représentative, ont été ajustées (Marra Campanale & Femia, 2012).

4.1.3. Royaume-Uni

Dans le contexte de la mise en place, sous l'égide d'Eurostat, des comptes d'émissions atmosphériques ventilés par activités économiques, l'office statistique national du Royaume-Uni s'est penché sur la question de l'estimation des émissions de GES associées aux importations dès le début des années 2000. Cependant, l'indisponibilité des données de base empêchait alors la mise en place d'un calcul de type input-output (Harris, 2001).

Aujourd'hui, le ministère britannique en charge de l'Environnement a constitué une série chronologique mise à jour annuellement des émissions de GES de la demande intérieure¹². Pour le calcul des émissions associées aux importations, le Royaume-Uni fait appel à un modèle multirégional bouclé à l'échelle mondiale (Weidman et al. 2008), en l'occurrence le *Global Trade and Analysis Project* (cf. section 4.4).

4.1.4. Suède

Compte tenu de la taille de la Suède et donc de l'importance relative de ses importations, l'institut statistique suédois s'intéresse également de longue date à l'estimation des émissions de GES de la demande intérieure et en particulier à celle des émissions associées aux importations (Kålla, 2002). Il a alors mis en place une procédure de calcul basée essentiellement sur la combinaison du TES et des comptes d'émissions de GES ventilés par branches de la Suède. Pour le calcul des émissions associées aux importations, les résultats obtenus sur cette base sont ajustés en fonction des différences d'intensité en GES de la production des partenaires économiques de la Suède (Statistics Sweden, 2015).

¹¹

www.destatis.de/SiteGlobals/Forms/Suche/Servicesuche_Formular.html?nn=210968&resourceId=2414&input_=210968&pageLocale=de&templateQueryString=Environmental+Economic+Accounting&submit.x=0&submit.y=0

¹² www.gov.uk/government/statistics/uks-carbon-footprint

Récemment, pour le compte de l'Agence suédoise de protection de l'environnement, l'institut statistique suédois (*Statistics Sweden, 2015*) a estimé les émissions de GES de la consommation suédoise à l'aide du modèle multirégional bouclé à l'échelle mondiale *World Input-Output Database* (WIOD) disponible en ligne¹³. Dans l'ensemble, le niveau de l'empreinte carbone de la demande suédoise obtenu avec le modèle WIOD est légèrement plus élevé qu'avec les précédents résultats (pour le seul CO₂, l'ordre de 5 à 6 % sur le total et 6 à 8 % pour les émissions importées ; les écarts sont moindres pour l'ensemble des GES). Cependant, les résultats des deux modes de calcul montrent les mêmes tendances pour la période étudiée (1995-2009).

4.2. Eurostat

Eurostat calcule les émissions atmosphériques¹⁴ de la demande finale de l'Union européenne à partir de données statistiques provenant uniquement des États membres : version consolidée à l'échelle de l'Union des TES symétriques et des comptes physiques d'émissions atmosphériques ventilés par activités économiques (*Eurostat, 2011a*). Concernant les émissions associées aux importations, son résultat renvoie donc à l'hypothèse selon laquelle les importations européennes seraient produites dans les conditions intérieures : mêmes *coefficients techniques* et mêmes *intensités émettrices* de la production des branches (*Eurostat, 2011b*). Ce résultat est dorénavant mis à jour annuellement et diffusé sur la base de données en ligne d'Eurostat¹⁵.

En 2015 Eurostat a lancé un projet dénommé FIGARO, pour *Full International and Global Accounts for Research in Input-Output Analysis*, qui vise à développer un modèle de type input-output multi-pays. Celui-ci s'appuierait également sur les TES symétriques transmis par les États membres, mais cette fois-ci en conservant le niveau de détail national et en y associant une comptabilisation intégrée des échanges commerciaux entre pays. À ce stade, le traitement du reste du monde comme une seule entité ou distingué en plusieurs zones géographiques n'est pas encore établi. Eurostat envisage la mise à jour de ce modèle sur une base quinquennale (les années se terminant par 0 et 5). Le modèle FIGARO a vocation à intégrer des données environnementales dans le but de calculer des pressions environnementales de la demande finale (empreintes). Ce serait donc le cas des émissions atmosphérique (GES notamment), mais aussi des flux de matière.

4.3. L'OCDE

L'OCDE a développé de longue date un modèle input-output multirégional qui est utilisé pour l'estimation du contenu en valeur ajoutée ou emploi des échanges commerciaux internationaux. L'OCDE travaille depuis les années 2000 pour l'estimation d'émissions de CO₂ de la demande finale (*Ahmad & Wyckoff, 2003 ; Nakano et al. 2009*) pour les pays membres de l'organisation, ainsi que certains pays partenaires. Le modèle de l'OCDE est ventilé en 34 branches économiques.

Pour le moment, l'extension environnementale du modèle de l'OCDE porte uniquement sur le dioxyde carbone¹⁶ ; elle s'appuie à ce sujet sur les estimations des émissions de CO₂ issues de la combustion des énergies fossiles établies par l'Agence internationale de l'énergie. Dorénavant, l'OCDE met à jour chaque année ses estimations de CO₂ de la demande finale intérieure (oe.cd/io-co2). Les résultats couvrent actuellement 61 pays traités séparément, plus une catégorie qui agrège le reste du monde.

4.4. Autres initiatives institutionnelles et académiques

Depuis une quinzaine d'année, l'extension du calcul de type input-output à l'environnement, en vue notamment de l'estimation d'empreintes environnementales (carbone en particulier) de la demande finale, connaît une recrudescence. Cela s'est traduit par la multiplication d'initiatives visant le développement de modèles input-output multirégionaux (*Weidman et al., 2011*). Malgré les différences entre les modèles, les estimations d'empreinte CO₂ qui en résultent sont plutôt convergentes (*Moran & Wood, 2014*).

En ce qui concerne l'empreinte carbone, on peut noter les travaux conduit par Glen Peters et Edgar Hertwich (carbonfootprintofnations.com/), qui s'appuient sur le modèle input-output multirégional

¹³ www.wiod.org/

¹⁴ Eurostat applique son calcul à la plupart des substances (gaz à effet de serre et autres polluants atmosphériques) couvertes par l'annexe 1 du règlement européen n° 691/2011 relatif aux comptes économiques de l'environnement (cf. *Pasquier J.-L., 2015*).

¹⁵ ec.europa.eu/eurostat/data/database > Environment and energy > Environment (env) > Emissions of greenhouse gases and air pollutants (env_air) > Air emissions accounts (env_air_aa) > Emissions of greenhouse gases and air pollutants induced by final use of CPA02 products - input-output analysis, ESA 95 (env_ac_io)

¹⁶ Dans le cadre des activités de son groupe de travail sur l'information environnementale, l'OCDE a rassemblé en 2014 et 2015 un groupe d'experts au sujet des calculs input-output étendus à l'environnement. La question de l'extension des estimations à d'autres GES, ainsi qu'aux flux de matière, y a été envisagée.

Global Trade and Analysis Project (GTAP) développé de façon collaborative. C'est sur ce modèle GTAP, ainsi que les travaux précédemment cités de G. Peters (*Peters et al., 2011*), que s'appuie le *Carbon Dioxide Information Analysis Center* (CDIAC), un centre d'analyse et d'information du département étasunien de l'énergie (DOE) dédié aux changements climatiques. Sous l'enseigne du Global Carbon Project (www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/), le CDIAC diffuse chaque année ses estimations de l'empreinte CO₂ de 200 pays.

ANNEXE A. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agence internationale de l'énergie. *CO₂ Emissions From Fuel Combustion Highlights*, dernière édition disponible et base de données en ligne pour les intensités en CO₂ de la production d'électricité.
www.iea.org/publications/freepublications/
www.iea.org/ > statistics > IEA online data > Direct access to data services (identifiant et mot de passe du ministère : govfr / F9P1W2)
- Aichele A., Felbermayr G., 2012. *Kyoto and the carbon footprint of nations*, *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 63(3), pp. 336-354.
- Ahmad N., Wyckoff A., 2003. *Carbon Dioxide Emissions Embodied in International Trade of Goods* (STI Working paper 2003-15). Paris, OECD. 65 p.
www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/carbon-dioxide-emissions-embodied-in-international-trade-of-goods_421482436815?crawler=true
- Boitier B., 2012. *CO₂ Emissions Production-Based Accounting vs. Consumption: Insights from the WIOD Databases*, Final WIOD Conference: Causes and Consequences of Globalization, Groningen, The Netherlands, April 24-26, 2012, 23 p.
www.wiod.org/conferences/groningen/paper_Boitier.pdf
- Boutaud A., Gondran N., 2009, *L'empreinte écologique*, éditions La Découverte, coll. Repères, n° 527, 128 p.
- CGDD/SOeS, 2010. *CO₂ et activités économiques de la France - Tendances 1990-2007 et facteurs d'évolution*, Études & documents, n° 27, août 2010, 47 p.
www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/co2-et-activites-economiques-de-la-france-tendances-1990-2007-et-facteurs-devolution?rubrique=27&dossier=1286
- Eurostat, 2011a. *Creating consolidated and aggregated EU27 Supply, Use and Input-Output Tables, adding environmental extensions (air emissions), and conducting Leontief-type modelling to approximate carbon and other 'footprints' of EU27 consumption for 2000 to 2006*, Technical Documentation eeSUIOT project, Luxembourg, March 2011, 57 p.
ec.europa.eu/eurostat/web/environment/methodology
- Eurostat, 2011b. *CO₂ emissions induced by EU's final use of products are estimated to be 9 tonnes per capita*, *Statistics in focus 22/2011*, 8 p.
ec.europa.eu/eurostat/web/products-statistics-in-focus/-/KS-SF-11-022
- Granjean A., Jancovici J.-M., Paillat E., 2009. *ECO2 Climat – Méthodologie de construction de l'indicateur*, *Carbone 4*, décembre 2009, 44 p.
www.carbone4.com/download/eco2climat/Methodologie_ECO2Climat.pdf
- Harris R., 2001. *Methods for estimating air emissions from the production of goods imported into the UK*. Office for National Statistics, Prepared for DG Regional Policy and Eurostat, Eurostat Working Paper 2/2001/B/5, September 2001, 66 p.
- Källa, 2002. *Environmental Impact of Swedish Trade*, Statistics Sweden (SCB), Rapport 2002:2, 81 p.
- Keuning S.J., Van Dalen J. and De Haan M., 1999. "The Netherlands' NAMEA: Presentation, Usage and Future Extensions", in 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, Amsterdam, March 1999, pp. 15-37.
- Lenglart F., Lesieur C., Pasquier J.-L., 2010. *Les émissions de CO₂ du circuit économique en France, L'économie française*, Insee Références, édition 2010, juillet 2010. pp. 101-125.
www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg_id=0&ref_id=ecofra10e
- Marra Campanale R., Femia A., 2012. *Air emissions and displacement of production – A case study for Italy, 1995-2007*, in Costantini V., Mazzanti M., Montini A. (ed.), *Hybrid Economic-Environmental Accounts*, Routledge, London, 2012, pp. 104-122.
- Mayer H., Flachmann C., 2011. *Extended Input-Output Model for Energy and Greenhouse Gases*, Eurostat granted report (Grant agreement no 50304.2009.001-2009.249), Statistisches Bundesamt (Federal Statistical Office), Wiesbaden, 96 p.
- Miller R.E., Blair P.D., 1985. *Input-Output Analysis: Foundations and extensions*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 464 p.

- Moll S., Vrgoc, M., Watson D., Femia A., Gravgård Pedersen O., Villanueva A., 2007. *Environmental Input-Output Analyses based on Namea data – A comparative European study on environmental pressures arising from consumption and production patterns*, European Topic Centre on Resource and Waste Management, ETC/RWM working paper 2007/2, European Environment Agency, Copenhagen, pp. 153.
scp.eionet.europa.eu/publications/wp2007_2 rubrique > Reports & publications > 02 Apr 2007
- Moran D., Wood R., 2014. “Convergence between the EORA, WIOD, EXIOBASE, and OPENEU's consumption-based carbon accounts”, *Economic Systems Research*, 17 p.
dx.doi.org/10.1080/09535314.2014.935298
- Nakano S, Okamura A., Sakurai N., Suzuki M., Tojo Y., Yamano N., 2009. « The Measurement of CO2 Embodiments in International Trade: Evidence from the Harmonised Input-Output and Bilateral Trade Database » (Science, Technology and Industry Working Papers, 2009/3, doi:10.1787/227026518048). Paris : OECD. 41 p.
- Paillat E, Adam J., Wilmotte J.-Y., 2011. *Empreinte carbone : en 20 ans, les Français ont pris du poids !*, *Lettre du carbone n° 2*, Carbone 4, 8 p.
www.carbone4.com/fr/ rubrique > Nos initiatives > Les Lettres du Carbone
- Peters G., Minx J., Weber C, and Edenhofer O., 2011. *Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008*, Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America, 6 p. + Excel worksheets.
www.pnas.org/content/early/2011/04/19/1006388108.abstract
- Suh S. [ed.], 2009. *Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology*, Springer, 882 p.
- Statistics Sweden, 2015. *Carbon dioxide emissions from Swedish final consumption 1995-2009*, Environmental Accounts MIR 2015:1, 43 p.
- Wiedmann, T., Wood, R., Lenzen, M., Minx, J., Guan, D. and Barrett, J., 2008. *Development of an Embedded Carbon Emissions Indicator – Producing a Time Series of Input-Output Tables and Embedded Carbon Dioxide Emissions for the UK by Using a MRIO Data Optimisation System*, Report to the UK Department for Environment, Food and Rural Affairs by Stockholm Environment Institute at the University of York and Centre for Integrated Sustainability Analysis at the University of Sydney, June 2008. Defra, London, UK
- Weidman T., Wilting H. C., Lenzen M., Lutter S. Palm V., 2011. “Quo Vadis MRIO? Methodological, data and institutional requirements for multi-regional input-output analysis”, *Ecological Economics*, 70 (2011), pp. 1937-1945.