



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

NOTE
MÉTHODOLOGIQUE

Méthodologie de calcul de l'empreinte carbone de la France

Octobre 2021

Résumé

L'empreinte carbone représente la quantité de gaz à effet de serre (GES) induite par la demande finale intérieure d'un pays (consommation des ménages, administrations publiques, organismes à but non lucratifs, investissement), que ces biens ou services soient produits sur le territoire national ou importés. En tenant compte du contenu en gaz à effet de serre des importations, l'empreinte carbone permet d'apprécier les pressions sur le climat de la demande intérieure française quelle que soit l'origine géographique des produits consommés.

L'empreinte carbone de la France est un indicateur calculé par le Service des données et études statistiques (SDES). Le calcul de l'empreinte carbone d'un pays n'est pas encadré par des normes ou des règles internationales ou nationales. Il existe différentes approches méthodologiques. La modélisation macro-économique (calcul *input-output*) est la méthodologie privilégiée par les organismes statistiques internationaux et la communauté scientifique. C'est également l'approche méthodologique retenue par le SDES. Les modalités de calcul sont détaillées ici.

Remerciements

La méthodologie présentée ci-après est une mise à jour du document de travail de 2016 rédigé par Jean-Louis PASQUIER, économiste de l'environnement au Service des données et études statistiques et à l'origine des modalités de calcul de l'empreinte carbone de la France.

Auteur

<i>version</i>	<i>principales modifications apportées</i>	<i>Auteur</i>	<i>Date</i>
<i>V2015</i>	<i>Création</i>	<i>Jean-Louis Pasquier</i>	<i>01/04/2016</i>
<i>V2019</i>	<i>Actualisation</i>	<i>Manuel Baude</i>	<i>01/01/2020</i>
<i>V2020</i>	<i>Actualisation</i> <i>Présentation des révisions de la méthode de calcul des estimations provisoires</i>	<i>Manuel Baude</i>	<i>10/12/2020</i>
<i>V2021</i>	<i>Actualisation</i> <i>Présentation des corrections méthodologiques apportées aux estimations des émissions associées aux importations de produits des activités extractives</i> <i>Présentation de l'actualisation du découpage géographique du « reste du monde » : de 9 à 19 zones géographique</i>	<i>Manuel Baude</i>	<i>05/10/2021</i>

Manuel BAUDE- SDES, 2021 (d'après Jean-Louis Pasquier, SDES, 2010)

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

Octobre 2021

SOMMAIRE

AVERTISSEMENT	5
1. INTRODUCTION	7
1.1. LA NOTION D'EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE	7
1.2. CONTEXTE MONDIAL DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE	8
1.2.1. <i>Transferts de gaz à effet de serre</i>	8
1.2.2. <i>L'accord de Paris</i>	10
2. MODALITES DE CALCUL MACRO-ECONOMIQUE DE L'EMPREINTE CARBONE	12
2.1. PRINCIPES GENERAUX	12
2.1.1. <i>Calcul de type input-output étendu à l'environnement</i>	12
(A) Les émissions issues de la production intérieure	14
(B) Les émissions associées aux importations	14
<i>Présentation agrégée du calcul de l'empreinte carbone de la demande finale</i>	15
2.1.2. <i>Options pour le calcul des émissions associées aux importations</i>	16
(A) Hypothèse des importations produites comme dans le pays importateur	16
(B) Approche unilatérale (mobilisation de statistiques issues de principaux exportateurs)	16
(C) Approche multilatérale (modèle bouclé à l'échelle mondiale)	17
2.1.3. <i>L'empreinte carbone totale</i>	17
2.2. APPLICATION A LA FRANCE	18
2.2.1. <i>Périmètres</i>	18
(A) Agrégats économiques	18
(B) Niveau de détail des résultats	18
(C) Gaz à effet de serre (GES) pris en compte	18
(D) Champ géographique	19
2.2.2. <i>Calendrier des principales sources statistiques mobilisées</i>	19
2.2.3. <i>Émissions intérieures</i>	19
2.2.4. <i>Émissions associées aux importations : une approche « unilatérale »</i>	20
2.2.5. <i>Émissions associées aux importations : cas particulier des activités extractives</i>	21
2.2.6. <i>Estimation provisoire pour les années récentes</i>	22
(A) La composante intérieure de l'empreinte : les émissions directes des ménages	22
(B) La composante intérieure de l'empreinte : les émissions de la production intérieure	23
(C) La composante extérieure de l'empreinte : les importations pour usage final	23
(D) La composante extérieure de l'empreinte : les importations pour consommations intermédiaires	23
3. DIFFUSION ET UTILISATION DES DONNEES	25
3.1. INDICATEUR DE SUIVI DES POLITIQUES PUBLIQUES	25
3.1.1. <i>Stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable</i>	25
3.1.2. <i>Loi visant à la prise en compte des nouveaux indicateurs de richesse dans la définition des politiques publiques</i>	25
3.1.3. <i>Les Objectifs de Développement Durable</i>	25
3.1.4. <i>La Stratégie nationale bas carbone</i>	25
3.2. PUBLICATIONS	26
4. QUI D'AUTRE CALCULE L'EMPREINTE CARBONE DE LA DEMANDE FINALE ?	27
4.1. AUTRES PAYS EUROPEENS	27
4.1.1. <i>Allemagne</i>	27
4.1.2. <i>Italie</i>	27
4.1.3. <i>Royaume-Uni</i>	27
4.1.4. <i>Suède</i>	28
4.2. EUROSTAT	28
4.3. L'OCDE	29
4.4. AUTRES INITIATIVES INSTITUTIONNELLES ET ACADEMIQUES	29
5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	30

Avertissement

Révision méthodologique du calcul des estimations provisoires à compter des séries publiées en 2020

Le SDES développe deux calculs distincts pour estimer l'empreinte carbone de la France :

- *un calcul détaillé pour les années 1995 à l'année A+4, fondé notamment sur l'exploitation des Tableaux Entrées Sorties (TES) de la France et de l'Union européenne ;*
- *un calcul qualifié d'« estimations provisoires » en raison de l'indisponibilité des TES pour les années les plus récentes.*

Les estimations provisoires se fondent sur un ensemble de données plus restreint à partir desquelles sont estimées des évolutions de l'empreinte par rapport à dernier calcul détaillé. Elles peuvent donner lieu à des révisions sensibles lorsque les données détaillées deviennent disponibles. Ainsi, les années 2015 et 2016 ont été révisées à la baisse en Décembre 2020 par rapport aux estimations provisoires antérieures car elles se fondent désormais sur un calcul détaillé.

Afin d'améliorer les estimations des années les plus récentes (A+3 à A+1) et de mieux prendre en compte le progrès technique, des modifications ont été apportées en 2020 aux calculs des estimations provisoires. Alors que les estimations se fondaient jusqu'à présent sur l'évolution de la demande finale et des importations, elles prennent également en compte désormais les évolutions de l'intensité en GES des branches de production intérieures et étrangères.

Le détail des calculs des estimations provisoires est décrit à la section 2.2.6.

Révision méthodologique du calcul des émissions associées aux importations des produits des activités extractives à compter des séries publiées en 2021

Les activités extractives regroupent l'extraction de combustibles fossiles (pétrole brut, gaz, charbon), de minéraux et de métaux. Les émissions associées à ces industries sont essentiellement issues de l'extraction de combustibles fossiles. Elles proviennent des processus d'extraction (consommation d'énergie par les machines), du torchage (brulage des gaz) et de fuites de gaz. Les activités extractives émettent à la fois du CH₄ et du CO₂.

Les combustibles fossiles (pétrole en particulier) connaissent une forte volatilité des prix entraînant une forte fluctuation de la valeur de leur production et corrélativement de la valeur de leurs importations. La méthodologie actuellement utilisée par le SDES pour le calcul de l'empreinte carbone importée ne permettant pas de corriger de façon appropriée cette volatilité, une méthodologie spécifique est désormais mise en œuvre pour les émissions importées de ces produits.

Pour estimer les émissions importées, le modèle du SDES se fonde en effet sur les données économiques de l'UE (ajustées pour tenir compte des spécificités techniques de chaque zones exportatrice). Pour chaque branche d'activité, l'intensité en GES de la production est définie par le rapport entre les émissions de la branche (en masse) et la valeur de la production (en euros). Cette intensité est calculée à l'aide des données économiques et environnementales de l'UE, puis ajustée en fonction de chaque zone exportatrice.

A compter des séries publiées en 2021, l'intensité en CO₂ et CH₄ des branches activités extractives (NACE B) étrangères n'est plus estimée, pour chacune des années, à partir des données de l'UE mais définie sur la base de données en analyse en cycle de vie. En évolution, cette intensité est corrigée des variations du prix du pétrole brut. Les ajustements spécifiques à chaque zone géographique sont supprimées pour les branches activités extractives, les données de référence en analyse en cycle de vie portant sur un périmètre monde.

Les corrections méthodologiques sont décrites à la section 2.2.4.

Découpage géographique du « reste du monde » : à compter des séries publiées en 2021, le « reste du monde » est décomposé en 19 zones géographiques contre 9 précédemment

La décomposition plus fine des zones géographiques permet d'identifier les principaux pays exportateurs (hors UE) vers la France et de préciser l'estimation des émissions importées en tenant compte de certaines spécificités nationales plutôt que des moyennes agrégées à l'échelle continentale.

Les zones géographiques sont précisées à la section 2.2.4.

Dans le prolongement du [rapport du Haut Conseil sur le Climat](#) d'octobre 2020 sur l'empreinte carbone, une expertise de la méthodologie de calcul de l'empreinte a été menée et se poursuit. Cette expertise pourrait conduire, à terme, à d'autres évolutions méthodologiques du calcul de l'empreinte, en lien notamment avec la construction en cours, par Eurostat, d'un modèle multi-régional.

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,

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., Pigué F.-P., 2007, *L'empreinte écologique : un indicateur ambigu*, *Futuribles*, n° 334 – pp. 5-24

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 production de biens et services destinés à l'exportation sont exclues 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.

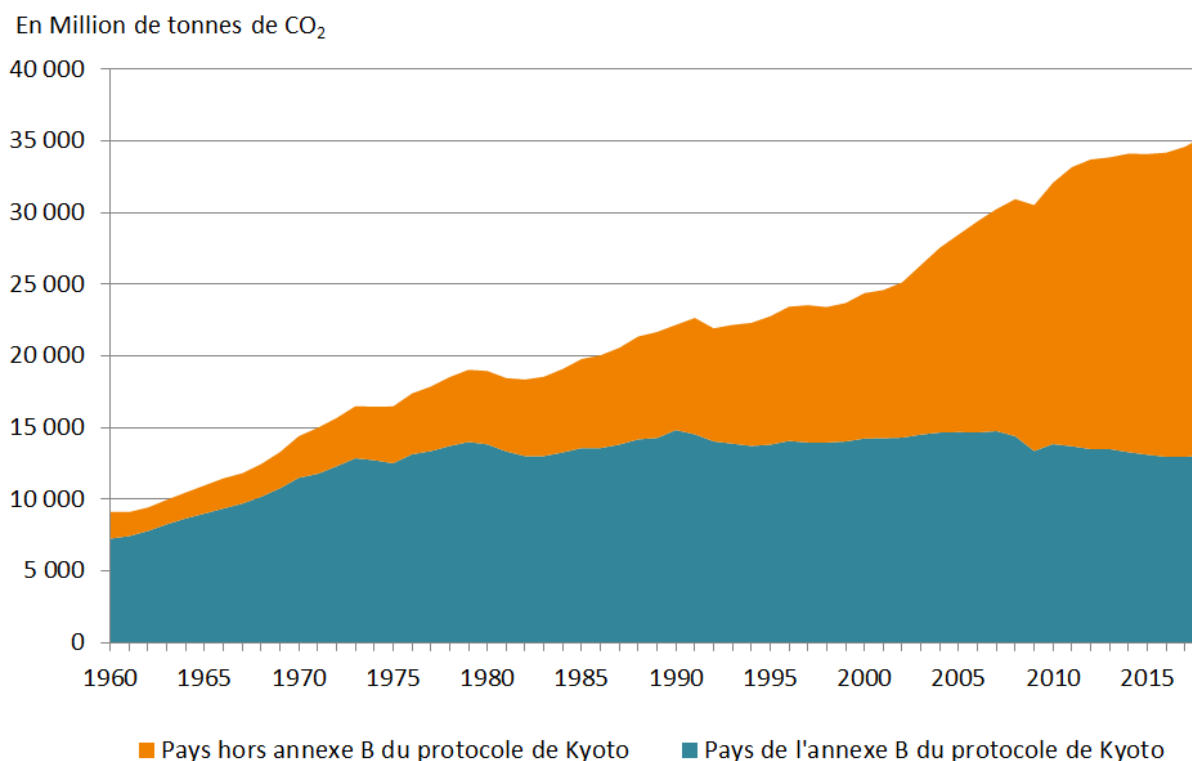
1.2. Contexte mondial des émissions de gaz à effet de serre

L'empreinte carbone d'un pays fournit 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.

1.2.1. Transferts de gaz à effet de serre

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.

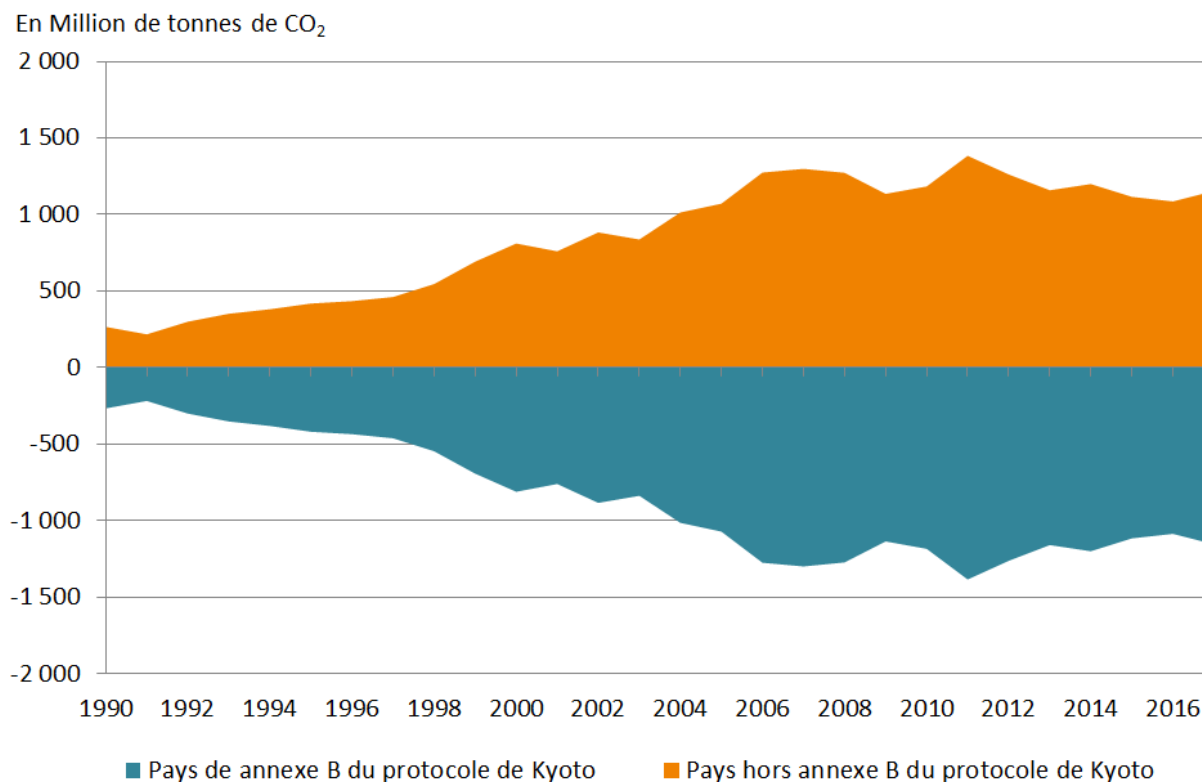
Figure 1 : évolution des émissions de CO₂ émis respectivement par l'ensemble des pays ayant des engagements de réduction dans le cadre du protocole de Kyoto (annexe B) et l'ensemble des autres pays



Sources : Gilfillan *et al.*, (2019), UNFCCC (2019), BP (2019) - Global Carbon Project 2020 - www.globalcarbonproject.org/index.htm

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.

Figure 2 : évolution des transferts d'émissions de CO₂ des pays ayant des engagements de réduction dans le cadre du protocole de Kyoto (annexe B) et de l'ensemble des autres pays (masse de CO₂, émis sur le territoire, diminuée de la masse de CO₂ associée à la demande finale)



Sources : Updated from Peters et al, (2012) and Peters et al, (2011) - Global Carbon Project 2020 - www.globalcarbonproject.org/index.htm

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 2017, il n'en représente plus qu'à peine 37 %.

1.2.2. L'accord de Paris

Le 12 décembre 2015 à la COP21, l'Accord de Paris a été adopté par la CCNUCC. Il est entré en vigueur le 4 novembre 2016. Au 1er juin 2019, 185 parties (dont l'Union européenne) avaient ratifié l'Accord de Paris. Dans le cadre cet accord, les Parties ont pour objectifs conjoints de maintenir l'augmentation de la température mondiale « nettement en dessous » de 2 °C d'ici à 2100 par rapport aux niveaux préindustriels et poursuivre les efforts en vue de limiter cette augmentation à 1,5 °C. Pour atteindre cet objectif l'accord prévoit une coopération de tous les acteurs, notamment dans le cadre de contributions déterminées au niveau national (*INDCs* en anglais). Ces contributions décrivent les politiques d'atténuations des émissions des Parties.

Le « rapport spécial +1,5 °C » du GIEC (2018)³ indique que pour limiter le réchauffement à un seuil inférieur à 2 °C d'ici 2100 par rapport aux températures de la période 1850-1900, les émissions de

³ www.ipcc.ch/sr15/

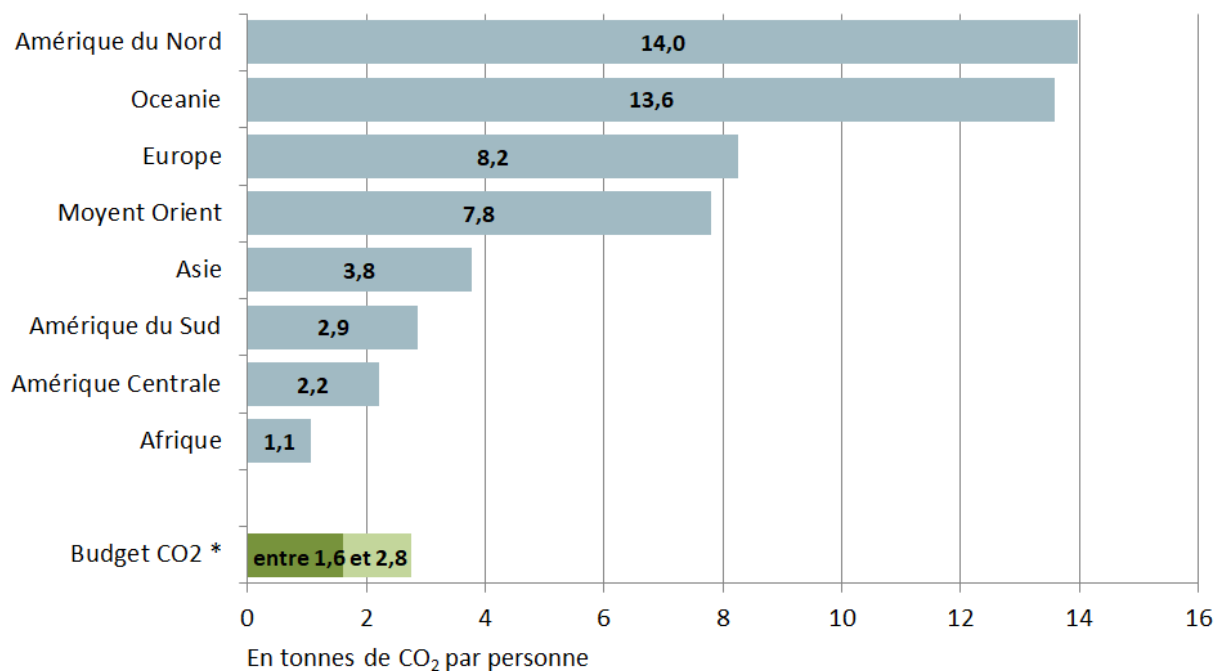
CO₂ cumulées depuis le milieu de cette période ne devraient pas dépasser un niveau maximal situé entre 3 500 et 4 500 gigatonnes (Gt) d'ici 2100 (cette estimation tient compte du forçage radiatif des autres GES). Étant donné que les émissions de CO₂ anthropiques mondiales cumulées jusqu'en 2017 sont estimées à environ 2 200 Gt, le budget carbone restant jusqu'à 2100 serait alors de 1 300 à 2 300 Gt⁴.

Compte tenu du nombre d'années restantes, de la taille de la population mondiale et de sa probable évolution à cet horizon (11 milliards en 2100 selon la variante moyenne des projections de l'ONU), lorsque l'on applique une répartition strictement égalitaire, le budget carbone se situe entre 1,6 et 2,8 tonnes de CO₂ par personne par an. Cette moyenne s'appliquant de manière fictive à l'ensemble de la période, tout dépassement pendant un certain nombre d'années devrait être compensé sur les années restantes par un niveau encore moins élevé, voire par une absorption et un stockage du CO₂ pendant une longue période de temps dans des réservoirs géologiques, terrestres ou océaniques.

Dans l'objectif de contenir le réchauffement à 2 °C et compte tenu des émissions mondiales actuelles de CO₂ de l'ordre de 35 Gt par an (soit 4,8 tonnes par personne), une réduction des émissions de 25 % à l'horizon 2030 (soit 3,5 tonnes par personne) serait nécessaire.

Figure 3 : empreinte CO₂ par personne en 2017 et budget CO₂ compatible avec un réchauffement limité à 2°C d'ici 2100

En tonnes de CO₂ par personne



* : le budget carbone correspond à l'empreinte de CO₂ par personne compatible avec l'objectif d'un réchauffement limité à + 2°C en 2100. Ce budget tient compte de la masse totale de CO₂ qu'il est encore possible d'émettre pour limiter le réchauffement à 2°C (estimée par le GIEC), des projections d'évolution de la population d'ici 2100, et d'une répartition strictement égalitaire par personne des émissions.

Sources : Updated from Peters et al, (2012) and Peters et al, (2011) - Global Carbon Project 2020 - www.globalcarbonproject.org/index.htm

⁴ Dans le cadre du 6^e cycle d'évaluation, le GIEC révisé les budgets carbone compatibles avec un réchauffement de + 1,5 °C et + 2 °C. Le groupe de travail n° 1 qui s'intéresse aux connaissances physiques du climat a diffusé en août 2021 des budgets carbone plus restrictifs que ceux diffusés précédemment en octobre 2018. Ces derniers et les trajectoires de réduction possibles seront précisés dans un rapport du groupe de travail n° 3 dont le rapport doit paraître en mars 2022.

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’émissions⁵ également détaillés, 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 comptes d’émissions dans l’air ou 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 dédiée.

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

⁵ Des facteurs d’émissions de GES sont diffusés par l’Ademe : base carbone en ligne : www.bilans-ges.ademe.fr/

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 exportations⁶.

$$[P] + [M] = [CI] + [DF] \quad (1)^7$$

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 :

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

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 :

$$P = [A^d] \cdot \langle P \rangle + DF^d \Leftrightarrow [I - A^d] \cdot \langle P \rangle = DF^d \Leftrightarrow \boxed{P = [I - A^d]^{-1} \cdot \langle DF^d \rangle} \quad (3a)^8$$

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 j /produits j et de 0 par ailleurs).

⁶ 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 Lengart et al., 2010

⁷ 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 (Lengart 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.

⁸ On note par des lettres capitales sans crochet les vecteurs-colonne, par $[\]$ les matrices carrées, et par $\langle \ \rangle$ l'opérateur qui transforme un vecteur-colonne en matrice carrée diagonale.

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).

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

(A) 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 :

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

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.

(B) 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 leurs 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) :

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

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

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

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 final.

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

Dans cette dernière équation, l'élément $\langle e_j^p \rangle . [I - A^p]^{-1}$, 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 $[A^m] . [I - A_d]^{-1}$ 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 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 (« sio05 » 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.

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. Options 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.

(A) 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 évitées 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).

(B) 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.

(C) 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 des modèles bouclés à l'échelle mondiale, désignés comme modèles input-output multirégionaux⁹. Ces modèles consistent 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 extérieurs 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 et les émissions indirectes associées à la production des biens et services qu'ils achètent, en France et à l'étrangers,

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 leurs 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 exportées 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.

⁹ 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. Application à la France

Le SDES développe deux calculs distincts pour estimer l’empreinte carbone de la France :

- un calcul détaillé pour les années 1995 à l’année A+4, fondé notamment sur l’exploitation des Tableaux Entrées Sorties (TES) de la France et de l’Union européenne ;
- un calcul qualifié d’ « estimations provisoires » en raison de l’indisponibilité des TES pour les années les plus récentes.

2.2.1. Périmètres

(A) Agrégats économiques

L’empreinte carbone est une estimation des émissions de GES associées à la demande finale intérieure, estimée en euros dans le cadre de la Comptabilité Nationale, qui comprend :

- la consommation finale des ménages ;
- la consommation finale des administrations publiques (APU) ;
- la consommation finale des institutions sans but lucratif au service des ménages (isblm) ;
- la formation brute de capital.

Les émissions de GES associées aux exportations sont donc exclues du périmètre de l’empreinte carbone. Les émissions associées aux réexportations de biens et services importées sont également exclues de l’empreinte carbone.

L’empreinte carbone inclut en outre les émissions de GES directes des ménages, estimées indépendamment du montant des dépenses de la demande finale intérieure.

(B) Niveau de détail des résultats

Les émissions directes des ménages sont réparties entre celles provenant des logements et celles provenant des voitures particulières.

Les émissions de GES associées à la demande finale intérieure sont décomposées en :

- émissions de la production intérieure destinée à satisfaire la demande finale intérieure ;
- émissions associées aux importations destinées à satisfaire la demande finale importée ;
- émissions associées aux importations destinées à satisfaire les consommations intermédiaires de la production intérieure.

Pour chacune de ces composantes, les émissions de GES sont ventilées par catégories de produits et de services. La répartition par produits et services est conforme à la nomenclature d’activités française (NAF ou NACE au niveau européen). L’empreinte carbone est calculée et restituée en 64 positions (les activités économiques sont classées en 64 branches auxquels correspondent 64 classes de produits ou services).

(C) Gaz à effet de serre (GES) pris en compte

L’empreinte carbone tient compte de 3 des 7 GES pris en compte dans le protocole de Kyoto :

- le CO₂
- le CH₄
- le N₂O

Ces trois substances représentent 96 % du pouvoir de réchauffement de l'ensemble des GES). Les gaz fluorés (HFCs, PFCs, NF₃ et SF₆) sont donc exclus de l'empreinte carbone.

L'empreinte carbone est exprimée en masse de CO₂ équivalent (comprenant le CO₂, le CH₄ et le N₂O) mais peut également être décomposée par substance.

(D) Champ géographique

L'empreinte carbone est calculée pour la France métropolitaine et les territoires ultrapériphériques de l'union européenne (Guadeloupe, Martinique, Réunion, Guyane, Mayotte et Saint-Martin). Ce champ géographique est également dénommé « périmètre Kyoto ».

Les données économiques françaises (tableaux entrées-sorties symétriques de la comptabilité nationale), qui concernent la France entière sont supposées être celles de la France métropolitaine et des territoires ultrapériphériques de l'Union européenne.

2.2.2. 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					A+4

Afin de répondre à la demande de disposer annuellement d'une estimation récente de l'empreinte carbone de la France, une procédure a été mise en place pour calculer une version dite provisoire (cf. section 2.II.5. ci-dessous).

2.2.3. 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.A., 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 provisoire (cf. section 2.2.6 ci-dessous), la séparation des émissions associées aux exportations est également utile pour les déduire de la somme des émissions de la production intérieure.

2.2.4. Émissions associées aux importations : une approche « unilatérale »

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, on s'appuie sur les statistiques (TES symétrique et comptes physiques d'émissions de GES) consolidées à l'échelle de l'Union européenne (EU)¹⁰. Pour les ensembles géographiques en dehors de l'UE on part du calcul des contenu en GES des produits ($\{e_j^{ue}\}$, $[I - A^{ue}]^{-1}$) de l'UE, dans lequel on ajuste les intensités en GES de la production en fonction de la différence avec celles de l'UE. La structure de l'économie de l'UE (matrice des coefficients techniques, $[I - A^{ue}]^{-1}$) est ainsi ici réputée représenter la structure des économies mondiales. 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.

Les ajustements sont spécifiques aux 18 zones qui composent le « reste du monde » hors UE :

- Afrique
- États-Unis
- Canada
- Amérique du Nord, hors États-Unis et Canada
- Brésil
- Amérique Centrale et du Sud, hors Brésil
- Japon - Corée
- Chine
- Inde
- Asie Centrale
- Asie, hors Japon, Corée, Chine, Inde et Asie Centrale
- Océanie
- Moyen Orient
- Russie
- Turquie

¹⁰ 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 les séries précédentes.

- Suisse
- Norvège
- Europe, hors UE, Suisse, Norvège, Russie, Turquie

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 (source : *Agence internationale de l'énergie*).

Pour le CH₄ et le N₂O, l'ajustement est scindé en deux entre l'agriculture et les autres branches :

- l'ajustement de l'intensité de la production agricole, de la pêche et de la forêt (NAF 01 à 03) est basé sur la différence d'intensité en CH₄ ou N₂O de la valeur ajoutée de l'agriculture, y compris la pêche et les activités forestières (source : *Organisation pour l'alimentation et l'agriculture* - FAO) entre l'UE et celle de chacun des ensembles géographiques considérés.
- l'ajustement des intensités en CH₄ ou N₂O des autres branches est basé sur la différence d'intensité en CH₄ ou N₂O du PIB entre l'UE et celle de chacun des ensembles géographiques considérés (source : *Agence internationale de l'énergie*) ;

Les émissions importées sont calculées par zones géographiques au prorata des importations en valeur et par branches pour ces mêmes zones géographiques (source : *service des Douanes*).

L'approche unilatérale ne permet pas de tenir compte de la spécificité des importations des pays exportateurs. 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.

2.2.5. Émissions associées aux importations : cas particulier des activités extractives

Les activités extractives regroupent l'extraction de combustibles fossiles (pétrole brut, gaz, charbon), de minéraux et de minerais. Les émissions associées à ces industries sont essentiellement issues de l'extraction de combustibles fossiles. Elles proviennent des processus d'extraction (consommation d'énergie par les machines), du torchage (brulage des gaz) et de fuites de gaz. Les activités extractives émettent à la fois du CH₄ et du CO₂.

Les combustibles fossiles connaissent une forte volatilité des prix entraînant une fluctuation de la valeur de la production pour les producteurs et corrélativement de la valeur des importations relatives à ces produits. La méthodologie décrite à la section 2.2.4., fondée sur un modèle « unilatéral » où le « reste du monde » est représenté par les données économiques et environnementales de l'UE, ne permet pas de corriger de façon appropriée cette volatilité. Une méthodologie spécifique est donc désormais mise en œuvre pour les émissions importées de ces produits.

L'intensité en CO₂ et CH₄ des branches activités extractives étrangères est déterminée grâce à des données en analyse en cycle de vie¹¹. La littérature scientifique fournit des facteurs d'émissions (en masse de GES par tonne équivalent pétrole extraite) pour chaque nature de produit : pétrole brut, gaz et charbon. Ces ACV ne sont pas millésimées. Compte-tenu de la part relative annuelle de chacun des produits importés par la France, les facteurs d'émissions des produits des activités extractives importés par la France sont estimés selon l'année considérée :

- entre 55 et 61 kg de CO₂ eq par tep pour le CH₄ ;
- entre 159 et 167 kg de CO₂ par tep eq pour le CO₂.

Les émissions associées aux activités extractives importées sont simulées en multipliant les importations de produits des activités extractives (exprimées en tep) par les facteurs d'émissions fondés sur les analyses en cycle de vie (en GES par tonnes équivalent pétrole). Afin de caler la série, les résultats simulés sont comparés à ceux obtenus avec les intensités (GES de l'UE / production en euros de l'UE) des activités extractives issues du modèle « unilatéral » du SDES. Le modèle « unilatéral » du SDES produit les meilleurs résultats (résultats proches de ceux obtenus avec les analyses en cycle de vie) pour l'année 2000 (pour le CH₄) et pour l'année 2010 (pour le CO₂). Les intensités des activités extractives (en CO₂ ou CH₄ par €) étrangères sont donc estimées en retenant les données économiques (valeur de production issue du TES symétrique) et d'émissions de l'UE de l'année 2000 pour le CH₄ et 2010 pour le CO₂.

En évolution, cette intensité est corrigée des variations du prix du pétrole brut afin de supprimer l'effet prix lié à la volatilité du cours du brut. Les intensités des activités extractives sont ainsi fixes pour l'ensemble de la série. Les ajustements spécifiques à chaque zone géographique sont supprimés pour ces branches activités extractives, les données de référence en analyse en cycle de vie portant sur un périmètre monde.

2.2.6. Estimation provisoire 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 (2.2.3. et 2.2.4.) ne peut au mieux être réalisée qu'au cours de la quatrième année suivant l'année de constat. Afin de disposer d'une estimation plus récente, en particulier en réponse au suivi de l'empreinte carbone dans le cadre de la loi Sas (cf. section 3.1.2.), une procédure a été mise en place pour calculer une « estimation provisoire », dont le résultat porte sur les trois années qui précèdent l'année en cours.

Cette estimation porte sur le total de l'empreinte de la demande intérieure de la France. Cette estimation consiste à faire évoluer le dernier résultat en date obtenu à partir du calcul détaillé (2.1.1.A. et 2.1.1.B.), à l'aide d'informations portant 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.

(A) La composante intérieure de l'empreinte : les émissions directes des ménages

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 production des activités économiques 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 de l'année A+2 sont disponibles au cours du mois de septembre.

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. Pour l'estimation provisoire portant sur l'année précédente (A+1), on ne dispose pas des comptes d'émissions de GES identifiants celles des

¹¹ [Base carbone de l'Ademe ; Well-to-tank Report version 4.a: JEC well-to-wheels analysis](#), The Joint Research Centre (JRC), European Commission

ménages. On fait alors évoluer le résultat obtenu pour l'année A+2 selon l'évolution du dernier inventaire national des émissions de GES en date entre A+2 et A+1 (l'année A+1 étant estimée dans l'inventaire de GES au format Secten élaboré par le Citepa).

(B) La composante intérieure de l'empreinte : les émissions de la production intérieure

Pour les émissions de la production intérieure, en l'absence de TES pour les années considérées, le calcul décrit à la section 2.1.1.A. est effectué à l'aide des sources de données de l'année A+4 (TES et comptes NAMEA-Air). Toutefois, ces sources de données sont ajustées afin d'apprécier au mieux les évolutions macro-économiques, et techniques :

- les montants de la demande finale ($\overline{\langle DF \rangle}$) de l'année A+4 sont ajustés en fonction de l'évolution de cette demande finale, répartie par composante (consommation des ménages, consommation des administrations publiques, consommations des institutions sans but lucratif au service des ménages, formation brute de capital et exportations) et par produits entre l'année A+4 et l'année considérée ; les évolutions sont calculées en 64 postes pour les années A+3 et A+2 et en 38 postes pour l'année A+1 (source : Insee, comptabilité nationale, consommation des ménages finale, consommation des administrations publiques, consommations des institutions sans but lucratif au service des ménages, formation brute de capital fixe et exportations en euros courants) ;
- les intensités en GES de la production ($e_j^p = E_j^p / P_j$) sont ajustées en fonction de leur évolution entre l'année A+4 et l'année considérée ; les intensités sont calculées par le rapport entre les émissions territoriales comptabilisées dans l'inventaire national (source : Citepa, inventaire au format Secten) et la production en euros courants de chacune des branches (source : Insee, comptabilité nationale) ; les évolutions sont calculées en 64 postes pour les années A+3 et A+2 et en 38 postes pour l'année A+1 (source : Insee, comptabilité nationale, production annuelle par branches en euros courants) ;

(C) La composante extérieure de l'empreinte : les importations pour usage final

Pour les importations pour usage final, en l'absence de TES pour les années considérées, le calcul décrit à la section 2.1.4.B. est effectué à l'aide des sources de données de l'année A+4 (TES de l'UE et comptes NAMEA-Air de l'UE, données traitées comme décrit à la section 2.2.4. pour les zones géographiques hors UE). Toutefois, ces sources de données sont ajustées afin d'apprécier au mieux les évolutions des évolutions macro-économiques, et techniques :

- Les montants de demande finale intérieure importée ($\overline{\langle DF^m \rangle}$), sont ajustés sur la base de l'évolution en valeur des importations totales par produit entre l'année A+4 et l'année considérée ; les évolutions sont calculées en 64 postes pour les années A+3 et A+2 et en 38 postes pour l'année A+1 (source : Insee, comptabilité nationale, importations annuelles par branches en euros courants) ;
- les intensités en GES de la production de l'UE ($e_j^p = E_j^p / P_j$) sont ajustées, avant traitement spécifique aux différentes zones géographiques décrits à la section 2.II.4, en fonction de leur évolution entre l'année A+4 et l'année considérée ; les intensités sont calculées par le rapport entre les émissions territoriales comptabilisées dans les inventaires nationaux consolidés à l'échelle de l'UE (source : Eurostat) et la production en euros courants de chacune des branches (source : Eurostat) ; les évolutions sont calculées en 64 postes pour les années A+3 et A+2 ; pour l'année A+1, en l'absence de données d'émissions consolidées à l'échelle de l'UE, les intensités de l'année A+2 sont reportées en A+1.

(D) La composante extérieure de l'empreinte : les importations pour consommations intermédiaires

Pour les émissions associées aux importations, en l'absence de TES pour les années considérées, le calcul décrit à la section 2.1.1.B. est effectué à l'aide des sources de données de l'année A+4 (TES de la France et de l'UE et comptes NAMEA-Air de la France et de l'UE, données traitées comme décrit à la section 2.2.4. pour les zones géographiques hors UE). Toutefois, ces sources

de données sont ajustées afin d'apprécier au mieux les évolutions des évolutions macro-économiques, et techniques :

- les montants de la demande finale intérieure (\overline{DF}) de l'année A+4 sont ajustés en fonction de l'évolution de cette demande finale, répartie par composante (consommation des ménages, consommation des administrations publiques, consommations des institutions sans but lucratif au service des ménages, formation brute de capital fixe et exportations) et par produits entre l'année A+4 et l'année considérée ; les évolutions sont calculées en 64 postes pour les années A+3 et A+2 et en 38 postes pour l'année A+1 (source : Insee, comptabilité nationale, consommation des ménages finale, consommation des administrations publiques, consommations des institutions sans but lucratif au service des ménages, formation brute de capital et exportations en euros courants) ;
- les intensités en GES de la production de l'UE ($e_j^p = E_j^p / P_j$) sont ajustées, avant traitement spécifique aux différentes zones géographiques décrits à la section 224, en fonction de leur évolution entre l'année A+4 et l'année considérée ; les intensités sont calculées par le rapport entre les émissions territoriales comptabilisées dans les inventaires nationaux consolidés à l'échelle de l'UE (source : Eurostat) et la production en euros courants de chacune des branches (source : Eurostat) ; les évolutions sont calculées en 64 postes pour les années A+3 et A+2, pour l'année A+1, en l'absence de données d'émissions consolidées à l'échelle de l'UE, les intensités de l'année A+2 sont reportées en A+1.

Par conséquent, les coefficients techniques ($a_{ij} = CI_{ij} / P_j$), de la France et de l'UE sont identiques à ceux de l'année de base. L'estimation est donc réalisée à structure productive inchangée. La répartition des origines des importations est également celle de l'année de base.

3. Diffusion et utilisation des données

3.1. Indicateur de suivi des politiques publiques

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. Depuis 2010 et jusqu'en 2020, elle a toutefois constitué l'un des indicateurs phares de la Stratégie nationale de développement durable, devenue 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, l'unique article de la loi n° 2015-411 du 13 avril 2015 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 a été retenue parmi 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 A+4. Dans ces conditions, l'information sur les années les plus récentes fournie pour répondre à la loi Sas, s'appuient sur les estimations provisoires décrites ci-dessus (cf. section 2.2.6).

3.1.3. Les Objectifs de Développement Durable

L'Assemblée générale de l'Organisation des Nations unies (ONU) a adopté 17 objectifs de développement durable (ODD), déclinés en 169 cibles pour la période 2015-2030. Ces objectifs et cibles constituent pour les États une feuille de route commune de la transition vers un développement durable (lutter contre les inégalités, l'exclusion et les injustices ; faire face au défi climatique ; mettre fin à l'extrême pauvreté). À l'issue d'une concertation menée sous l'égide du Conseil national de l'Information statistique (Cnis) a été proposé, en 2018, 98 indicateurs nationaux pour le suivi des progrès de la France dans l'atteinte des 17 ODD.

L'empreinte carbone est l'un des indicateurs nationaux de suivi de l'objectif n°13 qui concerne la lutte contre les changements climatiques.

3.1.4. La Stratégie nationale bas carbone

Introduite par la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV), la Stratégie Nationale Bas-Carbone¹² (SNBC) est la feuille de route de la France pour lutter contre le changement climatique. Elle donne des orientations pour mettre en œuvre, dans tous les secteurs d'activité, la transition vers une économie bas-carbone, circulaire et durable. Elle définit une trajectoire de réduction des émissions de gaz à effet de serre jusqu'à 2050 et fixe des objectifs à court-moyen termes : les budgets carbone. Elle a deux ambitions : atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 et réduire l'empreinte carbone de la consommation des

¹² www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc

Français. Les décideurs publics, à l'échelle nationale comme territoriale, doivent la prendre en compte. Adoptée pour la première fois en 2015, la SNBC a été révisée en 2019, en visant l'atteinte la neutralité carbone en 2050.

L'empreinte est l'un des indicateurs retenus pour évaluer les résultats de la mise en œuvre de la SBNC.

La loi du n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat prévoit à son article 8 que « *Pour chacune des périodes mentionnées au même article L. 222-1 A, le décret fixant la stratégie nationale bas carbone indique également un plafond indicatif des émissions de gaz à effet de serre dénommé "empreinte carbone de la France". Ce plafond est calculé en ajoutant aux budgets carbone mentionnés au même article L. 222-1 A les émissions engendrées par la production et le transport vers la France de biens et de services importés et en soustrayant celles engendrées par la production de biens et de services exportés.* ». Les périodes mentionnées à l'article L. 222-1 A sont de 5 ans à compter de 2018. La future SNBC qui sera révisée en 2023 prévoira donc des objectifs chiffrés, indicatifs, de réduction des émissions de l'empreinte carbone.

3.2. Publications

Les résultats de l'empreinte carbone sont diffusés sur le [site internet du SDES](#) et sur le site sur [le portail de l'information environnementale](#).

La publication annuelle « [Les chiffres clés du climat, en France, en Europe et dans le Monde](#) », du CGDD/SDES et d'I4CE ainsi que la publication annuelle de l'Ademe, *Chiffres clés Climat Air Énergie*, présentent les résultats de l'empreinte carbone de la France.

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.

D'autres publications, plus ponctuelles, ont traité de l'empreinte carbone :

- [L'empreinte carbone des Français reste stable](#), CGDD/SDES, DataLab Essentiel, janvier 2020.
- [Rapport sur l'état de l'environnement en France](#), CGDD/SDES, octobre 2019.
- [Les acteurs économiques et l'environnement](#), Insee références, décembre 2017.
- [L'empreinte carbone de la consommation des Français : évolution de 1990 à 2007](#), CGDD/SOeS, le point sur, n° 114, mars 2012.
- [CO₂ et activités économiques de la France - Tendances 1990-2007 et facteurs d'évolution](#), CGDD/SOES, Etudes et Documents n°27, août 2010.
- [Les émissions de CO₂ du circuit économique en France](#), F. Lenglard, C. Lesieur, J.-L. Pasquier, L'économie française, Insee références, juillet 2010.

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. 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 régulière¹³.

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).

¹³www.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

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 intérieure¹⁴. 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 (Källa, 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).

4.2. Eurostat

Eurostat calcule les émissions atmosphériques¹⁵ 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, 2011). 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'Eurostat¹⁶.

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'appuie sur les TES symétriques transmis par les États membres et les TES d'autres pays collectés par l'OCDE dans le cadre de son modèle MRIO (*multiregional input-output*), conservant le niveau de détail national (NACE en 64 positions) et en y associant une comptabilisation intégrée des échanges commerciaux entre pays. Eurostat envisage la mise à jour de ce modèle sur une base annuelle, les années les plus récentes pouvant être diffusées à un niveau de détail moindre. 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 le cas des émissions atmosphérique (GES notamment), mais aussi des flux de matière.

Ce modèle offre des perspectives intéressantes pour la statistique publique. Lorsque le modèle complet permettant le calcul d'empreintes sera disponible, une expertise de ce modèle sera conduite pour voir s'il pourrait constituer à terme un outil de référence important pour le calcul de l'empreinte de la demande finale de la France.

¹⁴ www.gov.uk/government/statistics/uks-carbon-footprint

¹⁵ 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).

¹⁶ www.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)

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 carbone¹⁷; 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 (stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=IO_GHG 2019). 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 conduits par *Glen Peters et Edgar Hertwich* (www.carbonfootprintofnations.com/), qui s'appuient sur le modèle input-output multirégional *Global Trade and Analysis Project* (GTAP) développé de façon collaborative. C'est sur ce modèle GTAP, ainsi que sur 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.

Exiobase est un autre modèle MRIO financé par la Commission européenne et développé dans le cadre de projets de recherche internationaux (EXIOPOL, CREEA, DESIRE). Exiobase dispose de nombreuses extensions environnementales autres que les GES (www.exiobase.eu/).

¹⁷ 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.

5. 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/

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.

<https://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.

www.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.

www.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, septembre 2010, 96 p.

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.
- Moran D., Wood R., 2014. "Convergence between the EORA, WIOD, EXIOBASE, and OPENEU's consumption-based carbon accounts", Economic Systems Research, 17 p.
www.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.
- 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.



**MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Commissariat général
au développement durable

Service des données et études statistiques

Sous-direction de l'information environnementale

Tour Séquoia – 92055 La Défense cedex

Courriel : diffusion.sdes.cgdd@developpement-durable.gouv.fr

www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr