



Commissariat général au développement durable

L'empreinte matières de l'économie française : Une analyse par matière et catégorie de produits

sommaire

l’empreinte matières de l’économie française : une analyse par matière et catégorie de produits

5 – Introduction

9 – Mesurer les besoins en matières de l’économie pour identifier les leviers de progrès

Parmi les indicateurs matières existants, l’empreinte matière comptabilise la quantité de matières primaires mobilisée, en France et à l’étranger, pour satisfaire la demande finale intérieure. On en propose une méthodologie de calcul améliorant celle mise en œuvre actuellement pour la France.

19 – Méthodologie et données

La méthodologie utilise le cadre entrées-sorties de la comptabilité nationale (151 catégories de produits) et les données physiques de flux et contenus de matières (51 matières). Il s’agit de mieux prendre en compte la structure de l’appareil productif français et de relier à chaque produit consommée l’empreinte matières associée. Le calcul est effectué pour l’année 2013.

29 – Résultats

Les produits agricoles et agro-alimentaires captent l’essentiel de l’empreinte en biomasse et l’investissement en construction une large part de l’empreinte en produits non métalliques. L’empreinte en combustibles fossiles est nettement plus répartie selon les différents produits.

43 – Conclusion

45 – Bibliographie

49 – Annexes

Document édité par :

Le service de l’économie, de l’évaluation et de l’intégration du développement durable

Remerciement : Les auteurs remercient **Maaike Bouwmeester** (Eurostat) pour son aide, **Lorraine Aeberhardt** (Insee) et **Jean-Louis Pasquier** (CGDD) pour les précieuses remarques formulées respectivement lors des séminaires du département des études économiques de l’Insee et « Économie et environnement » du CGDD, **Sébastien Roux** (Insee), **Alexandre Godzinski** et **Vincent Marcus** (CGDD) pour leur relecture. Nous avons pu compter sur la diligence de **Corinne Charbit** pour mettre en forme ce document.

Cette étude est publiée parallèlement en document de travail n° G2019/11 par l’Insee.

contributeurs

KM

Kambiz MOHKAM

Chargé d'études « modélisation
macroéconomique de la
croissance verte » au CGDD,
lors de la réalisation de cette étude

kambiz.mohkam@dgtresor.gouv.fr

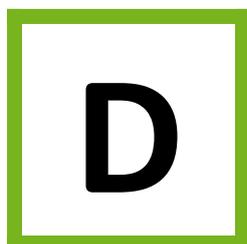
OS

Olivier SIMON

Chef de la division « études
macroéconomiques » de
l'INSEE

olivier-a.simon@insee.fr

avant-propos



Dans un contexte où la consommation de matières au niveau mondial s'accroît, continûment, et où la question du dépassement des limites de la planète se pose chaque année avec toujours plus d'acuité, la mise en œuvre et le suivi des politiques d'économie circulaire doit s'accompagner d'une meilleure connaissance des quantités de matières primaires mobilisées par les activités économiques.

À cet égard, l'empreinte matières est un indicateur majeur, car il permet de comptabiliser l'intégralité des matières primaires mobilisées, en France et à l'étranger, pour satisfaire notre consommation au sens large. Cette étude propose une méthodologie de calcul améliorant celle utilisée actuellement pour la France. Elle permet notamment d'associer à chaque catégorie de produit consommé l'empreinte matières qui lui est associée.

De par la richesse des résultats (151 catégories de produits considérées, 51 types de matières), cette étude constitue ainsi un guide précieux pour mieux identifier la dépendance de nos activités économiques aux matières primaires et les leviers de progrès.

Thomas LESUEUR

COMMISSAIRE GENERAL AU DEVELOPPEMENT DURABLE

Introduction

Dans un contexte de consommation accrue de matières au niveau mondial, un préalable à la mise en œuvre de politiques d'économie circulaire consiste en une meilleure connaissance des quantités de matières primaires mobilisées par les activités économiques.



Introduction

Au cours du siècle dernier, l'extraction mondiale de matières (biomasse, combustibles fossiles, minerais métalliques, minéraux industriels et de construction) a crû deux fois plus vite que la population mondiale, avec une hausse significative de la part des ressources¹ non renouvelables passant d'un quart à deux tiers (Krausmann, 2009). Cette hausse s'accélère compte tenu des grandes tendances socioéconomiques mondiales : croissance démographique, hausse du niveau de vie notamment dans les pays émergents, urbanisation... Selon le Groupement international des experts sur les ressources (GIER), si les tendances historiques étaient amenées à se poursuivre, la demande mondiale de matières² pourrait s'élever à 184 Gt en 2050, soit plus du double du niveau de 84 Gt atteint en 2015 (Ekins, 2017).

L'accroissement de la consommation de matières pose à la fois des enjeux économiques et environnementaux. La croissance économique repose en effet sur l'utilisation de matières premières pour alimenter l'appareil productif, satisfaire la consommation des ménages et assurer leur bien-être. Les incertitudes éventuelles pesant sur l'offre de matières et les difficultés d'approvisionnement de certaines ressources – hausse des coûts d'extraction, volatilité des prix, concentration de certaines ressources dans des régions géopolitiquement instables – engendrent par conséquent des coûts économiques.

En même temps, les besoins en ressources des activités économiques engendrent des pressions multiples sur l'environnement. Celles-ci comprennent les émissions de gaz à effet de serre, la pollution des milieux, la dégradation des écosystèmes, l'atteinte à la biodiversité, qu'il s'agisse de conséquences de l'extraction de matières ou de la production de déchets. Ces dommages environnementaux affectent à leur tour la performance économique et le bien-être : coûts d'adaptation au réchauffement climatique, pollution de l'air et risques pour la santé, coûts de dépollution de l'eau liés aux pesticides, ou encore pertes de services écosystémiques. En outre, la consommation de matières constitue aussi un enjeu pour la transition énergétique (Nicklaus 2017). D'une part, l'accroissement de la demande pour les matières premières s'accompagne d'une hausse des besoins en énergie pour les produire. D'autre part, la transition énergétique accroît fortement les besoins en matières, notamment les minéraux mobilisés pour la production d'énergies renouvelables, la rénovation énergétique des bâtiments, ou l'électrification du parc automobile.

À ce titre, les politiques d'utilisation efficace des ressources visent à concilier le développement économique avec la préservation de l'environnement, en tenant compte de ces externalités multiples. Elles prennent place dans le cadre plus large de l'économie circulaire visant notamment à passer d'un modèle d'économie linéaire « extraire, fabriquer, consommer, jeter » à un modèle plus circulaire. En France, la loi relative à la transition énergétique pour la croissance

¹ Dans ce document, on utilisera de façon indifférenciée les termes de matières ou de ressources pour désigner la biomasse, les combustibles fossiles, les minerais métalliques et non métalliques. Ce périmètre entendu pour les ressources est donc plus limitatif que celui retenu par la Commission européenne (2011), où les ressources désignent l'ensemble des intrants de l'économie : les matières (biomasse, combustibles fossiles, minerais métalliques et non métalliques) mais aussi l'air, l'eau et le sol.

² Au sens de l'indicateur d'extraction intérieure de matière (DE) présenté *infra*.

verte votée en 2015 (LTECV, loi n°2015-992), a pris plusieurs dispositions à ce sujet³, notamment en termes d'objectifs de productivité des ressources. Plus récemment, la feuille de route pour l'économie circulaire présentée en avril 2018 décline cette ambition en 50 mesures qui touchent aux modes de production, aux modes de consommation et à la gestion des déchets (MTES, 2018), et qui ont alimenté le projet de loi anti-gaspillage et économie circulaire présenté en 2019. Cette initiative rejoint celles prises également à l'étranger : différents plans d'action pour une utilisation plus efficace des ressources ont également été adoptés par l'Union Européenne (« paquet économie circulaire⁴ »), l'Allemagne, l'Autriche, l'Écosse, la Finlande, l'Italie, les Pays-Bas, le Portugal, la Slovénie, les États-Unis, le Japon ou encore la Chine. Les enjeux posés par les besoins en matières de nos l'économie nécessitent de disposer de données adéquates pour recenser ces besoins et également d'indicateurs pertinents pour en apprécier l'ampleur. On va s'intéresser ici à l'empreinte matières, c'est-à-dire la quantité de matières primaires mobilisées pour satisfaire la demande finale intérieure (consommation finale, investissement...) et intégrant à ce titre non seulement les flux directs de matières (la matière contenue dans les produits consommés) mais aussi les flux indirects (la matière non contenue dans le produit mais nécessaire à sa fabrication, qu'elle soit intérieure ou importée). Cet indicateur renseigne donc sur les besoins en matières d'une façon plus complète que la seule comptabilisation des flux directs de matières. L'empreinte matières figure à cet égard parmi les indicateurs de suivi national des objectifs de développement durable⁵, associée à l'objectif n°12 sur la consommation et la production responsables.

L'empreinte matières de l'économie française est d'ores et déjà calculée chaque année par le SDES⁶, selon une méthodologie proposée par Eurostat et développée en premier lieu pour l'Union européenne. L'objectif de cette étude est d'améliorer cette méthodologie, pour prendre davantage en compte la structure du système productif français et offrir une décomposition plus fine de l'empreinte matières selon 51 matières et 151 catégories de produits. La méthodologie est mise en œuvre pour l'année 2013⁷, à l'aide des données monétaires des comptes nationaux de l'Insee (tableau entrées-sorties symétrique) et des données physiques d'extraction intérieure de matière (comptes des flux de matières de la France) et de contenus en matières des importations (Eurostat).

Ainsi, selon la méthodologie présentée dans cette étude, l'empreinte matières de la France s'élèverait à près de 900 Mt pour l'année 2013, toutes matières confondues, soit 13,7 t par

³ Plus précisément, la LETCV établit une hiérarchie dans l'utilisation des ressources (art. 70). Il s'agit en priorité de prévenir l'utilisation de ressources puis de promouvoir une consommation sobre et responsable des ressources et, enfin, de privilégier les ressources issues du recyclage ou de sources renouvelables, puis les recyclables, puis les autres, en tenant compte du bilan global de leur cycle de vie. Des objectifs de productivité des ressources ont également été fixés (art. 74) : découpler progressivement la croissance économique de la consommation de matières premières (réduction de 30 % de la consommation de ressources par rapport au PIB d'ici à 2030 par rapport à 2010) et diminuer la consommation intérieure de matières par habitant.

⁴ http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3846_fr.htm

⁵ Les objectifs de développement durable (ODD) sont une liste de 17 objectifs adoptés par l'Assemblée générale de l'ONU en 2017 et visant à établir au niveau des États une feuille de route de la transition vers un développement durable. Les ODD sont associés au niveau français à 98 indicateurs de suivi : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2658599?sommaire=2654964#consulter-sommaire>

⁶ Service de la donnée et des études statistiques, service statistique ministériel du Ministère de la transition écologique et solidaire.

⁷ L'année 2013 a été choisie compte tenu des sources disponibles pour réaliser le calcul de l'empreinte matières sur un tel degré de désagrégation des catégories de produits (cf. partie 3).

habitant. Ce niveau est comparable à celui par habitant de 13,3 t obtenu par la méthode proposée par Eurostat. L'apport de la méthodologie exposée ici réside dans la possibilité de décomposer l'empreinte matières selon les produits de la demande finale auxquelles elle se rapporte. Les produits agricoles et agro-alimentaires captent ainsi l'essentiel de l'empreinte en biomasse, tandis que la construction représente une large part de l'empreinte en minerais non métalliques. L'empreinte en combustibles fossiles est nettement plus répartie selon les différents produits, traduisant le rôle de l'énergie et des services de transport dans le processus de production des biens ou services. L'empreinte en métaux provient en majorité des produits manufacturés (machines et véhicules notamment) mais aussi de la construction. Un autre apport de la méthodologie est aussi de pouvoir mesurer l'empreinte matière associée aux différentes composantes de la demande finale (consommation des ménages, investissement...). Les empreintes en biomasse et en combustibles fossiles proviennent ainsi en grande partie de la consommation des ménages, tandis que les empreintes en minéraux, métalliques ou non, résultent davantage de l'investissement des entreprises et des ménages. Ces résultats agrégés peuvent par ailleurs être obtenus à un niveau nettement plus fin, permettant d'étudier, pour une catégorie de produit donnée, l'empreinte matière associée et ce selon les différentes matières.

La première partie du document revient sur les indicateurs actuels de besoins en matières, dont l'empreinte matières, et en détaille les méthodologies de calcul disponibles. La deuxième partie présente la méthodologie retenue dans cette étude et les données utilisées. Dans la troisième partie sont présentés les résultats au niveau agrégé des principaux types de matières et de produits puis au niveau plus désagrégé à travers un exemple illustratif.

Partie 1

Mesurer les besoins en matières de l'économie pour identifier les leviers de progrès

Parmi les indicateurs matières existants, l'empreinte matière comptabilise la quantité de matières primaires mobilisée, en France et à l'étranger, pour satisfaire la demande finale intérieure. Elle est calculée chaque année pour la France, selon une méthode proposée par Eurostat mais est perfectible.



Les indicateurs qui se complètent

Avant d'aborder plus précisément l'indicateur d'empreinte matières, on dresse un état des lieux de l'ensemble des indicateurs matières usuels au niveau de l'Union européenne (UE). Ces derniers répondent notamment à des problématiques complémentaires qui, au lieu de s'opposer, constituent plutôt un éventail des multiples facettes sous lesquelles il convient d'appréhender le besoin en matières d'une économie.

En premier lieu, les comptes des flux de matières (*material flow analysis*, MFA) représentent la principale source de données sur les entrées de matières dans les économies européennes. Publiés de façon annuelle par les États membres, et ce conformément au règlement n° 691/2011 relatif aux comptes économiques européens de l'environnement, ils font l'objet d'une méthodologie harmonisée au niveau de l'UE (Eurostat, 2013) et partagée par l'OCDE.

Les MFA décrivent, au niveau de chaque État membre et de chaque matière⁸ la quantité physique de matière extraite sur le territoire national et les quantités échangées (quantité de matière importée et quantité exportée⁹).

À partir des données des MFA, trois indicateurs matières sont publiés annuellement par les États-membres :

- l'indicateur d'**extraction intérieure** (*domestic extraction*, DE) qui comptabilise au niveau de chaque matière la quantité extraite sur le territoire national. Cet indicateur prend donc en compte non seulement la matière « intérieure » contenue dans les biens produits mais également celle non contenue dans les biens mais néanmoins nécessaire à leur production (matière extraite mais par exemple inutilisée ou détruite) ;
- l'indicateur d'**entrée intérieure de matière** (*domestic material input*, DMI) qui ajoute à DE la quantité de matière importée (mesurée par la masse des biens importés). Cet indicateur mesure donc la quantité de matière entrant dans l'économie, soit à travers l'extraction intérieure soit à travers les importations. À noter toutefois que s'agissant de la matière importée, et à la différence de l'extraction intérieure, la matière comptabilisée est uniquement celle intégrée aux biens importés (flux direct de matière importée) ;
- l'indicateur de **consommation intérieure de matière** (*domestic material consumption*, DMC) qui retranche au DMI la quantité de matière exportée (mesurée par la masse des biens exportés). Cet indicateur mesure donc les utilisations de matière dans l'économie domestique, en ajoutant à l'extraction intérieure la masse des importations de matière, nettes des quantités exportées. À noter que de manière analogue à la matière importée, la matière exportée ne comptabilise que celle intégrée dans les biens exportés (flux direct de matière exportée).

⁸ Les matières sont définies selon la nomenclature présentée dans l'annexe III du règlement n°691/2011 relatif aux comptes économiques européens de l'environnement.

⁹ Les quantités de matières échangées sont comptabilisées à travers la masse des biens échangés, ces derniers étant enregistrés dans la matière qui en constitue la principale composante.

Les indicateurs DE, DMI et DMC prennent ainsi place dans une comptabilité des flux de matières *apparents*¹⁰, au sens où ils recensent les quantités de matière entrant de façon « visible » dans l'économie, à travers l'extraction sur le territoire national et les biens échangés (figure 1).

Toutefois, les masses de biens importés ne représentent pas l'intégralité de la matière mobilisée à l'étranger pour produire ces biens. En effet, au flux direct de matière importée il convient d'ajouter le flux indirect importé, c'est-à-dire la quantité de matière non présente dans le bien importé mais nécessaire à sa production à l'étranger. De façon analogue, la masse de biens exportés ne traduit pas la quantité de matière totale servant à la production des biens, puisqu'elle ne prend pas en compte le flux indirect exporté. Par ailleurs, les masses de biens importés ou exportés ne font pas la distinction selon le caractère primaire ou secondaire de la matière comptabilisée¹¹ : les flux sont les mêmes entre un produit composé exclusivement de matière primaire (extraite de son gisement) ou de matière secondaire (issue d'un processus de recyclage).

Dès lors, la notion d'**équivalent matière première** (*raw material equivalent*, RME) est utilisée pour désigner une comptabilisation des flux de matière au niveau de la matière primaire et prenant en compte le flux direct mais également indirect de matière primaire. Exprimés en RME, les flux de matières primaires permettent de construire des indicateurs supplémentaires à ceux définis précédemment.

En premier lieu, il convient de noter que l'indicateur DE introduit plus haut est déjà exprimé en RME puisque les flux comptabilisés sont ceux qui sont extraits, qu'ils soient présents ou non dans les biens produits. DE est donc constitué de flux directs et indirects de matière primaire : l'équivalent matière première de DE est donc DE lui-même.

En second lieu et par analogie avec les indicateurs DMI et DMC, les deux indicateurs suivants peuvent être définis :

- le **besoin intérieur en matière primaire** (*raw material input*, RMI) qui ajoute à l'indicateur DE les importations de matière exprimées en RME, c'est-à-dire les flux importés directs et indirects de matières primaires (figure 2) ;
- l'**empreinte matières de l'économie** (*raw material consumption*, RMC) qui retranche à l'indicateur RMI les exportations de matière exprimées en RME, c'est-à-dire les flux exportés directs et indirects de matières primaires.

L'expression en RME des flux concernés de matières primaires, qu'ils soient extraits ou échangés, permet de les représenter dans le cadre ressources-emplois standard de la comptabilité nationale et de les identifier au contenu en matière primaire des grands agrégats de ce cadre. En effet, l'extraction intérieure représente le contenu en matière primaire intérieure de l'appareil productif tandis que les importations exprimées en RME¹² représentent le contenu en

¹⁰ À ce titre, les indicateurs DMI et DMC sont également appelés respectivement besoin apparent en matière de l'économie et consommation apparente intérieure de matière.

¹¹ La matière primaire, issue de l'extraction, se distingue de la matière secondaire, issue des déchets, retraitée et réintroduite dans le processus de production.

¹² Dans la suite de l'étude, on parlera de façon indifférenciée de « contenu en matières primaires des importations », « importations exprimées en RME » et de « RME des importations ». Idem pour les exportations.

matière primaire des consommations intermédiaires importées de l'appareil productif et de la demande finale importée. Les exportations exprimées en RME représentent quant à elles le contenu en matière primaire de la demande extérieure. De ce fait, les indicateurs RMI et RMC peuvent s'interpréter facilement en termes de contenu en matière primaire des agrégats de la comptabilité nationale :

- l'indicateur RMI désigne le contenu en matière primaire de l'appareil productif et des importations de biens finaux. Il s'agit donc également, par identité comptable, du contenu en matière primaire de la demande finale, intérieure et extérieure, de l'économie ;
- l'empreinte matières RMC désigne le contenu en matière primaire de la demande intérieure finale de l'économie. On peut également l'interpréter par analogie à l'empreinte carbone qui, de son côté, représente le contenu en émissions de CO₂ de la demande intérieure finale, c'est-à-dire comptabilisant les émissions provenant du territoire national, y ajoutant celles associées à la production à l'étranger des produits importés et y retranchant celles associées à la production sur le territoire des biens exportés. Le RMC désigne un concept analogue mais sur le champ des matières (biomasse, combustibles fossiles, métaux et minerais non métalliques).

Enfin, on note que le même raisonnement comptable précédent peut être effectué au niveau de chaque produit, le RMI du produit représentant le contenu en matière primaire de la demande finale en ce produit, et la RMC du produit celui de sa demande intérieure finale.

En définitive, cinq indicateurs matières usuels peuvent donc être recensés : DE, DMI, DMC, RMI et RMC. Pour illustrer davantage les spécificités de chacun, on prend l'exemple de la bauxite¹³, minerai à partir duquel est produit l'aluminium, en considérant l'année 2013¹⁴ :

- l'extraction intérieure de bauxite est quasi-nulle en France ($DE < 0,1$ Mt) ;
- en revanche, la bauxite est présente dans les biens importés à hauteur de 3,4 Mt en 2013, ce qui porte à 3,5 Mt l'entrée intérieure de bauxite en France ($DMI = DE + 3,4 = 3,5$ Mt) ;
- les exportations françaises contiennent également de la bauxite, à hauteur de 1,5 Mt en 2013. La consommation intérieure de bauxite s'élevait donc à 2,0 Mt en 2013 ($DMC = DMI - 1,5 = 2,0$ Mt) ;
- la bauxite présente dans les biens importés ne reflète cependant pas l'intégralité de bauxite mobilisée pour produire ces biens. Au total, on évalue à 14,4 Mt la quantité de bauxite mobilisée dans la production des biens importés par la France : autrement dit, le contenu en bauxite des importations françaises (ou l'équivalent-bauxite des importations françaises) s'élève à 14,4 Mt, ce qui porte le besoin intérieur en bauxite à 14,5 Mt ($RMI = DE + 14,4 = 14,5$ Mt) ;
- de façon analogue, les exportations françaises mobilisaient 7,4 Mt de bauxite en 2013 pour être produites, ce qui porte à 7,1 Mt l'empreinte de la France en bauxite ($RMC = RMI - 7,4 = 7,1$ Mt). Cette empreinte s'identifie à la quantité de bauxite mobilisée pour

¹³ Cet exemple sera développé plus en détail dans la partie 3 de l'étude.

¹⁴ L'année 2013 est en effet choisie comme année de référence dans toute la suite, pour des raisons expliquées plus loin.

satisfaire la demande intérieure de la France (consommation des ménages, investissement des entreprises, des administrations publiques...).

Loin de constituer des mesures successivement améliorées d'une même réalité, ces indicateurs sont au contraire complémentaires car ne répondant pas aux mêmes types de questions¹⁵ :

- l'indicateur DE étant spécifiquement relié aux activités d'extraction sur le territoire, il peut servir à en traduire les pressions environnementales associées ou à en analyser les tendances de long terme, et ce sur les différentes catégories de matières ;
- l'indicateur DMC traduit davantage les pressions environnementales liées à notre consommation de matière, tant primaire que secondaire, au sens où les entrées nettes de matières induisent *in fine* des déchets qui nécessitent dès lors d'être collectés et traités. Il permet également de déduire des entrées nettes de matières la part entre consommation de matière extraite sur le territoire et consommation de matière importée¹⁶ ;
- l'empreinte matière RMC mesure la quantité totale de matière primaire (en France et dans les autres pays, directe et indirecte) associée à la demande finale. Elle traduit donc les pressions environnementales exercées par l'extraction en France mais également à l'étranger. C'est donc un indicateur pertinent pour les problématiques liés à l'épuisement des ressources primaires et à la demande exercée par un pays donné sur les gisements mondiaux. Enfin, son identification au cadre de la comptabilité nationale permet, du moins en théorie, de la décliner selon les types de matières et les catégories de produits.

Les indicateurs matières DE, DMI, DMC sont disponibles annuellement, avec des séries débutant en 1990. Les indicateurs de contenu en matière RMI et RMC n'existent eux que depuis 2010 au niveau de l'UE dans son ensemble, les États membres étant invités à s'approprier la méthodologie afin de la répliquer au niveau national¹⁷. À cet égard, la France a d'ores et déjà développé un calcul de son empreinte matières RMC, publiée par le SDES (Calatayud et Mohkam, 2018).

Un bref aperçu des indicateurs matières pour l'année 2013 permet d'en illustrer les complémentarités. En 2013, l'extraction intérieure (DE) s'élevait à 9,7 tonnes par habitant, tandis que la masse des biens échangés se situait à 5,3 t / hab. pour les biens importés et 3,0 t / hab. pour les biens exportés. L'indicateur DMC s'établissait donc à 12,0 t / hab. d'entrée nette de matière sur le territoire (soit par extraction soit par exportation nette). En particulier, les flux directs importés excédaient les flux directs exportés. Exprimés en RME, c'est-à-dire en prenant en compte les extractions indirectes de matières, les flux importés et exportés s'élevaient respectivement à 11,9 t / hab. et 8,3 t / hab. L'empreinte matières RMC se situait donc à

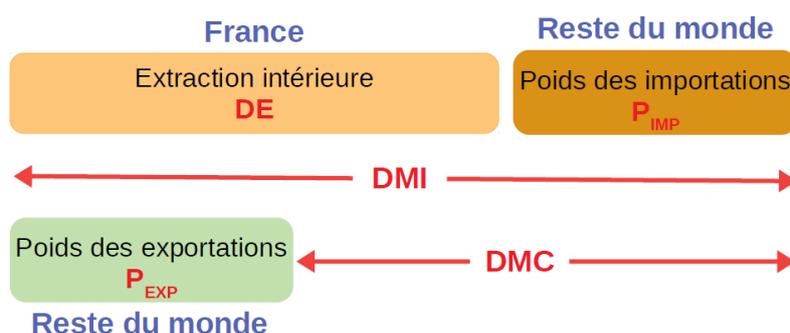
¹⁵ Voir Hirschnitz-Garver et al. (2014) pour un tableau pédagogique sur ce sujet.

¹⁶ Les importations de produits finis et semi-finis sont comptabilisées comme s'ils étaient constitués à 100 % d'une unique matière. Ils représentent la moitié de la masse importée.

¹⁷ Eurostat a ainsi mis à disposition des États-membres un « outil pays » décrivant la méthodologie adoptée au niveau de l'Union européenne dans son ensemble et précisant le cas échéant les adaptations nécessaires pour une réplication au niveau national. Cet outil-pays est en évolution constante, de façon à mieux prendre en compte les spécificités des États-membres. À ce titre, les résultats de Calatayud et Mohkam (2018) sont en cours de révision.

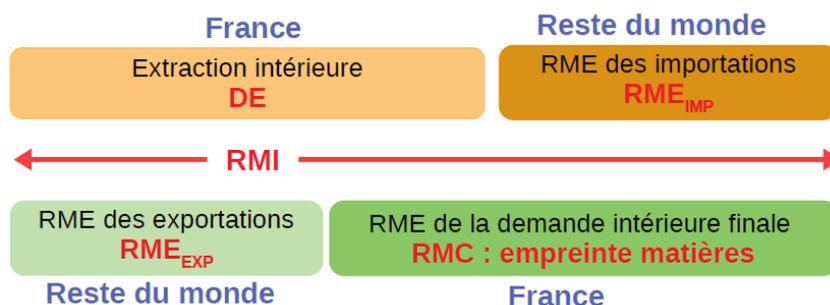
13,3 t / hab., traduisant à la fois la masse des biens consommés (et investis) sur le territoire mais également la matière (intérieure ou importée) nécessaire à leur production¹⁸.

Figure 1 - Représentation schématique des indicateurs d'extraction intérieure (DE), d'entrée intérieure de matière (DMI) et de consommation intérieure de matière (DMC)



DE : extraction intérieure (*domestic extraction*)
 DMI = DE + P_{IMP} : entrée intérieure de matière (*domestic material input*)
 DMC = DE + P_{IMP} - P_{EXP} : consommation intérieure de matière (*domestic material consumption*)

Figure 2 - Représentation schématique des indicateurs d'extraction intérieure (DE), de besoin intérieur de matière (RMI) et d'empreinte matières (RMC)



DE : extraction intérieure (*domestic extraction*)
 RMI = DE + RME_{IMP} : besoin intérieur de matière (*domestic material input*)
 RMC = DE + RME_{IMP} - RME_{EXP} : empreinte matières (*domestic material consumption*)

Vers une mesure plus fine et détaillée de l'empreinte matières

La méthode retenue dans cette étude offre une mesure plus fine et détaillée de l'empreinte matières française. L'approche résulte d'un arbitrage entre fiabilité des données et précision de la méthode. Plus précisément, il s'agit d'exploiter le potentiel des données de la statistique publique afin : (i) de tenir compte des spécificités de l'économie française ; (ii) de reposer sur des

¹⁸ On constate que les flux échangés exprimés en RME sont supérieurs aux flux directs, tant pour les exportations que pour les importations. Ceci ne constitue pas, toutefois, une généralité : les flux directs étant composés de matière primaire mais aussi secondaire (issue du recyclage), ils peuvent en théorie excéder les flux exprimés en RME qui, eux, ne comptabilisent que la matière primaire.

données officielles fiables ; (iii) et de recourir à des concepts et nomenclatures compatibles avec ceux de la comptabilité nationale et des comptes économiques de l'environnement. Il s'agit également de garantir l'exhaustivité et un niveau de détail élevé des résultats par catégorie de matière, par activité économique ou catégorie de produit, et par catégorie de la demande finale.

Pour calculer l'empreinte matières d'une économie¹⁹, l'approche la plus courante repose sur les tableaux entrées-sorties (TES) multi-régionaux de la comptabilité nationale avec extension environnementale. Cette approche est particulièrement adaptée à l'étude des consommations de matières à l'échelle mondiale et constitue notamment la méthode retenue par le GIER pour calculer l'empreinte matières de 187 régions du monde, dont celle de la France [figure 3 et Schandl 2016]²⁰. Elle consiste à compiler dans un premier temps les données d'extraction intérieure dans toutes les régions du monde et pour toutes les matières considérées, c'est l'extension environnementale. Dans un second temps, ces matières sont attribuées à la demande finale de chaque région à partir d'un TES multi-régional, en tenant compte des technologies de production régionales et des échanges bilatéraux. Les empreintes matières de toutes les régions sont ainsi obtenues simultanément et selon une méthodologie harmonisée, ce qui facilite les comparaisons régionales.

La contrepartie de l'approche multi-régionale est un niveau d'exigence élevé en matière de disponibilité et de cohérence des données, susceptible de biaiser les résultats faute de données fiables. Le calcul de l'empreinte d'une seule région requiert une quantité considérable de données, à savoir *a minima* les données d'extraction intérieure, le TES de la région et les échanges bilatéraux avec toutes les régions du monde. En outre, la précision des résultats est étroitement liée aux niveaux de détail des catégories de matières, des activités économiques du TES et échanges bilatéraux considérés ainsi que des régions modélisées. En pratique, il paraît difficile de concilier bonne qualité des données et niveau de détail élevé pour toutes les régions du monde à la fois. Les TES ne sont pas disponibles à des niveaux suffisamment fins pour nombre de pays, notamment hors OCDE. Les données d'extraction sont quant à elles harmonisées pour les pays de l'UE par Eurostat, mais issues de sources différentes pour les autres pays, ou imputées faute de rapportage²¹. Enfin, les TES régionaux peuvent faire l'objet d'ajustements lors de procédures d'harmonisation comptable, notamment dans le but de respecter les flux de commerce bilatéraux et d'assurer l'équilibre comptable au niveau multi-régional. De ce fait, les TES multi-régionaux peuvent présenter, au niveau d'un pays donné, des écarts importants avec les données des comptes nationaux²².

¹⁹ Pour une présentation détaillée et une analyse comparée des différents modes de calculs de l'empreinte matières, cf. Lutter et al. (2014).

²⁰ C'est aussi l'approche usuelle pour calculer l'empreinte carbone, c'est-à-dire les émissions mondiales de GES liées à la demande finale d'une région. Voir par exemple [Wiebe 2016].

²¹ Par exemple dans le calcul du GIER [Schandl 2016], les données d'extraction de minéraux de la construction proviennent selon la disponibilité pour chaque région : (i) d'un rapportage direct, par exemple des comptes de flux de matières Eurostat pour les pays de l'UE, ou du USGS pour les Etats-Unis ; (ii) d'une extrapolation à partir de données physiques disponibles sur les productions de ciment et d'asphalte, par exemple pour la Chine, l'Inde ou le Brésil ; (iii) ou à défaut, d'une extrapolation à partir de données socio-économiques (PIB par habitant et population).

²² Les bases de données ESMR, particulièrement volumineuses, font l'objet de mises à jour progressives afin de les fiabiliser. On peut citer deux exemples de construction de ces bases utilisées dans [Schandl 2016] : (i) Eora retient des niveaux d'agrégation et des nomenclatures différents selon les 187 régions en fonction de leur disponibilité, ces niveaux varient de 26 secteurs minimum à 511 au maximum ; (ii) Exiobase 3 désagrège les TES de toutes les 49 régions à un niveau élevé de 160 branches avec un algorithme d'harmonisation de données.

Une deuxième approche de calcul de l'empreinte matières consiste à évaluer le contenu en matière primaire des échanges extérieurs d'un pays ou une région donnée à l'aide de coefficients (approche par coefficients). Pour chaque produit importé, le contenu en matière primaire est calculé à l'aide d'un coefficient prenant en compte l'origine géographique du produit, la chaîne de production de sa fabrication et les différentes matières primaires que celle-ci a pu utiliser. Des coefficients analogues sont appliqués aux produits exportés. Ajoutés à la donnée de l'extraction intérieure, l'empreinte matière s'en déduit. Cette approche a l'avantage d'entrer dans un niveau de détail très précis, puisque les coefficients peuvent être associés à un produit individuel et prendre en compte avec précision les étapes de son processus de fabrication. La contrepartie en est un niveau d'exigence élevé pour parvenir à des coefficients robustes, notamment pour des produits très transformés. Par ailleurs, l'absence de cadre comptable sous-jacent à cette méthode ne permet pas de décomposer l'empreinte matière agrégée selon les types de produits consommés.

Enfin, un troisième type d'approches, les approches hybrides, mobilisent les spécificités des deux types précédents, pour un pays ou une région donnée, en reposant à la fois sur un cadre comptable entrées-sorties et sur des coefficients. Les coefficients sont utilisés pour évaluer le contenu en matières primaires des produits importés, tant pour la demande finale que pour les consommations intermédiaires. Le tableau entrées-sorties permet d'évaluer le contenu en matières primaires des produits exportés, compte tenu de la structure productive de l'économie considérée. L'empreinte matières obtenue peut par ailleurs se décomposer selon les types de produits consommés, du fait du cadre comptable sous-jacent à la méthode, et aussi selon les grands postes de la demande finale intérieure (consommation des ménages, investissement...). Cette approche offre une souplesse certaine par rapport aux deux précédentes, puisqu'elle vise à exploiter les avantages de chacune sans pour autant se heurter à leurs inconvénients. C'est cette approche qui est suivie par Eurostat dans le calcul de l'empreinte matières au niveau de l'Union européenne, sur la base d'un tableau entrées-sorties à 182 produits, des coefficients de contenu en matières primaires des importations et selon 51 matières. Toutefois, contrepartie de leur souplesse, les approches hybrides reposent sur des hypothèses et des méthodologies souvent différentes d'une économie à l'autre, réduisant le caractère comparable des indicateurs matières obtenus.

Figure 3 - Panorama des calculs d'empreintes matières disponibles

Approche par TES multi-régionaux
GTAP : 129 régions, 57 secteurs dont 15 extractifs (1 seul secteur extractif pour les minéraux)
WIOD : 40 régions (et reste du monde), 35 secteurs pour 59 produits, dont 4 secteurs extractifs associés à 8 produits
EXIOBASE : 43 régions (et 5 régions de reste du monde), 163 secteurs pour 200 produits, 48 matières
EORA : 187 régions, nombre variable de secteurs selon la disponibilité (26 secteurs minimum, dont 5 extractifs), 35 matières
Approche par coefficients
Wuppertal Institute : 170 pays, coefficients spécifiques à l'Allemagne, moyenne mondiale par défaut, temporalité variable selon les sources
Approche hybride
Destatis : Allemagne, TES à 73 secteurs, données emplois-ressources 3000 produits * 120 branches, 55 matières, coefficients calculés en analyse de cycle de vie
Eurostat : Union européenne, TES à 182 secteurs, 51 matières, coefficients calculés avec données régionales sur les métaux, leur recyclage, le mix énergétique, les prix

Note : TES = tableau entrées-sorties

Au niveau des États-membres de l'Union européenne, Eurostat invite ces derniers à publier en première approche leur empreinte matières calculée à partir de « l'outil-pays » [Eurostat 2016], méthode économe en données et tenant compte en priorité des spécificités technologiques européennes. Le SDES a produit cet indicateur d'empreinte matières pour la France en 2014 [Calatayud 2018]. Cette méthode s'apparente à une approche par coefficient : elle permet avec une relative économie de moyens de calculer le contenu en matières primaires des produits importés et exportés pour chaque État membre, et de déduire l'empreinte liée à la demande finale par catégorie de matières. Au niveau du calcul du contenu en matières primaires des exports, la méthode repose sur une description fine de la technologie à l'échelle de l'UE, tirant profit de la richesse et de la fiabilité des comptes économiques et physiques du système statistique européen. En revanche, les technologies nationales des membres de l'UE ne sont pas modélisées explicitement. Ces technologies sont approximées en ajustant la technologie moyenne de l'UE de façon *ad hoc* à partir de données régionales sur les métaux, leurs taux de recyclage, les prix et le mix énergétique. Par ailleurs, au niveau du calcul du contenu en matières primaires des imports, les technologies de production des importations extra-communautaires ne sont pas non plus prises en compte, sauf à travers des spécificités relatives à de grandes régions du monde.

Les résultats obtenus pour la France selon ces différentes méthodes présentent des écarts significatifs, et semblent plaider en l'état actuel en faveur de l'outil-pays d'Eurostat. À titre d'exemple, la RMC calculée avec l'outil-pays Eurostat pour la France s'élève à 13,6 t/hab en 2010, contre 20,2 t/hab selon le calcul retenu par le GIER suivant le modèle Eora, soit un écart de près de 50 % (Calatayud 2018). La comparaison des estimations est toutefois complexe et pas toujours possible en raison des différences entre les sources et les nomenclatures utilisées pour les activités économiques, ou entre les données sur l'extraction de matières (Schoer 2013). On peut néanmoins remarquer que 40 % de l'écart concerne la biomasse, ce qui s'explique par l'utilisation de données d'extraction différentes. Pour l'extraction, l'outil Eurostat utilise les données issues du rapportage réglementaire et paraît donc plus pertinent. Par ailleurs, 30 % de l'écart concerne les minéraux de la construction. Selon notre analyse, l'approche du GIER

affecterait une partie des minéraux extraits pour la construction de projets d'infrastructure, notamment en Chine, aux biens exportés vers la France entre autres. Ces minéraux sont à attribuer en toute rigueur à la demande finale liée à l'investissement chinois, et tendent à alourdir à tort l'empreinte française.

Toutefois, la mesure de l'empreinte matières de la France à l'aide de l'outil-pays d'Eurostat apparaît perfectible en raison des limites inhérentes à la méthode utilisée (coefficients davantage représentatifs de l'économie européenne que de l'économie française et absence de cadre comptable sous-jacent). La méthode proposée dans cette étude s'inscrit donc en cohérence avec l'outil Eurostat, mais vise à l'affiner pour tenir compte des spécificités de l'économie française et permettre une ventilation comptable des résultats. Il s'agit ainsi d'une méthode hybride, analogue à celle mise en œuvre au niveau de l'Union européenne par Eurostat, mobilisant le cadre entrées-sorties de la comptabilité nationale et les données physiques d'extraction de matières et de contenus en matières primaires des importations. Cela a pour double conséquence :

- d'améliorer la précision de l'empreinte nationale par catégorie de matières, puisque le contenu en matières primaires des exportations y est calculé en prenant en compte la structure du système productif français. En revanche, s'agissant du contenu en matières primaires des importations, celui-ci est pris comme donné, issu de l'outil-pays d'Eurostat et donc représentatif du système productif européen ;
- et d'offrir une ventilation par catégorie de produits, par catégorie de la demande finale et par lieu d'extraction (extraction intérieure ou importation).

La cartographie obtenue de l'empreinte selon les matières et les produits des interactions entre flux de matières et activités économiques paraît essentielle pour comparer l'empreinte matières nationale à celles d'autres régions, suivre son évolution temporelle, ou mesurer la dépendance vis-à-vis des ressources extraites hors du territoire. Elle permet notamment de mettre en lumière les contributions relatives des différents secteurs de l'économie à la productivité matières (valeur ajoutée rapportée à l'empreinte matières) et ainsi d'attribuer les disparités entre les pays ou dans le temps aux évolutions technologiques des secteurs. Elle permet également de décrire comment la structure de la demande influe sur l'empreinte matières : par exemple, comment une hausse des dépenses d'investissement dans des projets d'infrastructure expliquerait une hausse de la demande pour les minéraux de la construction...

Par ailleurs, cette cartographie peut être mise à profit pour intégrer les flux de matières dans un modèle macroéconomique hybride intégrant les ressources²³. Un tel modèle peut servir : (i) à évaluer l'impact de mesures en faveur de l'économie circulaire à la fois sur les grandeurs physiques (extraction de ressources, recyclage...) et les agrégats économiques (Godzinski, 2016, pour une maquette de l'économie française intégrant les consommations d'acier, d'aluminium et de combustibles fossiles) ; (ii) à établir des scénarios d'évolution de consommation de matières en fonction des grandes tendances socioéconomiques sous-jacentes ; (iii) ou encore à déterminer un paquet de mesures optimal pour atteindre des objectifs de productivité des ressources (McCarthy, 2018, pour une revue critique de ces modèles).

²³ Une telle ventilation est tout particulièrement adaptée à un modèle d'équilibre général calculable, dans la mesure où le TES dont elle découle peut-être rapproché de la matrice de comptabilité sociale de façon simple et directe.

Partie 2

Méthodologie et données

La méthodologie proposée vise à calculer l’empreinte matières de la France en prenant mieux en compte la structure productive de l’économie française. Par ailleurs, la méthode permet de relier à chaque produit consommé l’empreinte matières qui lui est associée, et ce à un niveau fin de désagrégation (151 catégories de produits et 51 matières). Le calcul est effectué pour l’année 2013 et les données utilisées reposent sur les données monétaires des comptes nationaux (Insee) et sur les données physiques de flux et contenus de matières (Eurostat).



Approche hybride combinant analyse entrées-sorties multi-régionale et coefficients

On décrit à présent le cadre formel retenu dans le calcul de l’empreinte matières France tel qu’effectué dans cette étude. La méthodologie repose sur la donnée des deux sources suivantes, respectivement monétaires et physiques :

- le tableau entrées-sorties symétrique (TESS) de l’économie française, qui décrit au niveau de chaque bien ou service l’équilibre comptable monétaire entre les ressources²⁴ (production et importations) et les emplois (consommations intermédiaires, consommation finale, investissement et exportations). À travers le tableau des entrées intermédiaires (TEI) qui en constitue l’une des composantes, le TESS renseigne en outre la nature des consommations intermédiaires utilisées dans la production de chaque bien ou service. Le TESS diffère à plusieurs titres du tableau entrées-sorties classique (TES) de la comptabilité nationale, notamment en considérant une représentation de l’économie par des branches mono-produits, alors que le TES autorise les branches à produire plus d’un produit²⁵;
- la quantité extraite de chaque matière sur le territoire national (indicateurs DE, publiés par la France dans le cadre des comptes de flux de matière) et les importations de matières exprimées en RME, pour chaque matière et au niveau de chaque bien et service (RME des importations, calculés par Eurostat par une méthode de coefficients).

En premier lieu, la méthodologie consiste à affecter chaque matière à un produit du TESS, produit primaire issu d’une activité d’extraction, qu’il s’agisse de biomasse, de combustibles fossiles ou de matières minérales²⁶. Les TESS publiés par les comptes nationaux ne présentant pas un tel niveau de détail des produits primaires, une étape préliminaire consiste donc à désagréger le TESS de façon à y faire apparaître les équilibres ressources-emplois monétaires des activités extractives considérées. Cette étape, reposant sur un processus itératif adapté (algorithme RAS), est abordé dans la partie suivante.

Une fois le TESS désagrégé, le TEI obtenu décrit donc, pour chaque bien ou service, les montants de consommations intermédiaires nécessaires à sa production, distingués selon les produits. En particulier, le TEI renseigne sur les montants monétaires d’activité extractives nécessaires à la production des biens et services. L’intuition sous-jacente au calcul de la RMC est alors la suivante : la demande finale en un bien donné nécessite une production de ce bien et

²⁴ Le terme de ressources employé dans le cadre de la comptabilité nationale ne doit pas être confondu avec celui des ressources au sens environnemental du terme.

²⁵ C’est le cas notamment de la branche agriculture qui, dans le TES produit des biens agricoles mais également du vin, bien transformé et enregistré de ce fait comme produit agro-alimentaire. Dans le TESS, en revanche, la branche agricole ne produit que des biens agricoles et la branche agro-alimentaire des produits agro-alimentaires : il y a identité entre branches et produits dans le TESS. Le TESS diffère également du TES du fait que les flux y sont valorisés aux prix de base (prix de vente du producteur) et non aux prix d’acquisition (prix d’achat du consommateur, contenant notamment les impôts nets des subventions sur les produits, les marges commerciales et les marges de transport). Enfin, le TESS décompose les consommations intermédiaires entre leur composante intérieure (produite sur le territoire national) et leur composante importée. Cette dernière spécificité du TESS serait très utile pour le type de calcul de RMC proposé ici, mais elle n’a pas été exploitée dans le cadre de cette étude.

²⁶ Le terme extraction est à prendre ici au sens large, les produits agricoles pouvant par exemple être considérés comme le fruit d’une activité d’extraction agricole ou la production de gaz comme le résultat d’une extraction gazière.

des consommations intermédiaires associées, ce qui requiert notamment, *in fine*, une production (monétaire) d'activité extractive. Celle-ci peut alors être reliée aux quantités physiques de matière extraites sur le territoire national (via la donnée du DE par matière). Par ailleurs, la demande finale en un bien donné nécessite également des importations de biens et services, soit parce que la demande s'adresse directement à des biens importés, soit parce que la production intérieure associée requiert des consommations intermédiaires importées : en tout état de cause, ces importations peuvent être reliées aux quantités de matières extraites à l'étranger, à l'aide du RME des importations. En définitive, on obtient alors les quantités de matières primaires mobilisées pour répondre à la demande finale, tant par l'extraction intérieure que par les importations, ce qui représente l'empreinte matières de la demande finale (RMI). L'empreinte matières RMC s'en déduit en restreignant le calcul à la demande finale intérieure.

De façon formelle, on considère une économie à N produits et K matières. Le TESS constitue l'égalité matricielle et monétaire suivante :

$$P + M = CI \times \mathbf{1} + DF$$

où :

- $P = {}^t(P_i)_{1 \leq i \leq N}$ est le vecteur colonne de la production ;
- $M = {}^t(M_i)_{1 \leq i \leq N}$ est le vecteur colonne des importations de chaque produit ;
- $CI = (CI_{ij})_{1 \leq i, j \leq N}$ est la matrice des consommations intermédiaires (ou le TEI), CI_{ij} étant la consommation intermédiaire en produit i nécessaire à la production de j ;
- $DF = {}^t(DF_i)_{1 \leq i \leq N}$ est le vecteur colonne de la demande finale en chaque produit ;
- $\mathbf{1} = {}^t(1 \dots 1)_{1 \leq i \leq N}$ est un vecteur colonne de taille N contenant des 1.

Les consommations intermédiaires de produit i peuvent s'écrire en fonction de la production des différents produits :

$$\sum_j C_{ij} = \sum_j (C_{ij} / P_j) P_j$$

C'est-à-dire, en matriciel²⁷ :

$$CI \times \mathbf{1} = A \times P$$

où $A = CI \times (\text{diag}(P))^{-1}$ est une matrice $N \times N$ et exprime, pour chaque produit j , la quantité de consommations intermédiaires de i nécessaire à la production de 1 € de j (coefficient technique).

Par ailleurs, les importations de produit i peuvent également s'écrire comme part des ressources en produit i ($P_i + M_i$) ou, de manière équivalente, comme part de la production en chaque produit j :

²⁷ En pratique, on a supposé que $CI \mathbf{1} = A' \times (P + M)$ où $A' = CI \times (\text{diag}(P+M))^{-1}$ ce qui revient au même mais est moins pédagogique à exposer. Par ailleurs, on ne fait pas la distinction entre les importations de consommations intermédiaires et les importations satisfaisant la demande finale.

$$M_i = (M_i / P_i) P_i$$

C'est-à-dire, en matriciel²⁸ :

$$M = A_m \times P$$

où $A_m = \text{diag}(M) \times (\text{diag}(P))^{-1}$ est une matrice $N \times N$. Cette expression traduit le fait que, d'une part, la production nécessite des consommations intermédiaires importées et, d'autre part, elle satisfait une demande finale qui, par ailleurs, s'adresse également à des biens importés.

Ainsi, repartant des équilibres ressources-emplois, on a :

$$P = CI \times \mathbf{1} - M + DF$$

$$= (A - A_m) \times P + DF$$

$$= DF + (A - A_m) \times DF + (A - A_m)^2 \times DF + \dots + (A - A_m)^k \times P$$

C'est-à-dire, en passant à la limite²⁹ :

$$P = L \times DF$$

où $L = (I - A + A_m)^{-1}$ est une matrice $N \times N$ et I est la matrice identité de taille N .

Cette dernière égalité exprime le contenu en production de la demande finale. Pour être satisfaite, la demande finale requiert en effet un niveau de production prenant en compte les consommations intermédiaires associées (matrice A jouant positivement sur P) et prenant en compte le fait que la demande finale s'adresse pour partie à l'étranger (matrice A_m jouant négativement sur P).

Par ailleurs, s'agissant des matières, on suppose que chaque matière k est associée à un produit i , qui correspond de fait à un produit primaire du TESS. Le détail des matières étant plus fin que celui des produits primaires, deux matières peuvent être affectées au même produit. Soit T la matrice de taille $K \times N$ exprimant la correspondance entre les matières et les produits : pour tout k compris entre 1 et K , il existe un unique i compris entre 1 et N tel que $T_{k,i} \neq 0$ et on a alors $T_{k,i} = 1$. Ainsi, « l'entrée de matière » dans le TESS se fait par l'intermédiaire des produits primaires auxquels les matières se rattachent. Autrement dit, les matières issues de l'extraction intérieure sont rattachées aux activités qui les extraient (biomasse rattachée aux activités agricoles, minéraux non métalliques rattachés aux activités extractives, etc.). Les produits secondaires, issus de transformations des produits primaires, ne sont pas reliés directement aux matières mais indirectement à travers les produits primaires qui interviennent dans leur production.

Les données de DE permettent de relier les quantités de matières extraites sur le territoire

²⁸ En pratique, on a supposé que $M = A_m^* \times (P + M)$ où $A_m^* = \text{diag}(M) \times (\text{diag}(P+M))^{-1}$ ce qui là aussi revient au même mais est moins pédagogique.

²⁹ En pratique, et compte tenu des notes *supra*, on a $P + M = L^* \times DF$ avec $L^* = (I - A^*)^{-1}$.

national à la production monétaire des produits auxquels elles sont associées. Ainsi pour une matière k avec $1 \leq k \leq K$, on a :

$$DE_k = \sum_j (DE_k T_{kj} / P_j) P_j$$

C'est-à-dire, en matriciel³⁰ :

$$DE = F \times P$$

où :

- $DE = {}^t(DE_k)_{1 \leq k \leq K}$ est le vecteur colonne des quantités extraites sur le territoire national ;
- $F = \text{diag}(DE) \times T \times (\text{diag}(P))^{-1}$ est une matrice $K \times N$ et exprime simplement, pour toute matière k , la masse extraite pour 1 € du produit i auquel elle se rattache (notion d'intensité).

En outre, et de façon similaire, la donnée des importations de matières exprimées en RME permet de les relier aux importations monétaires des produits auxquels elles sont associées :

$$RME_m = F_m \times M$$

où :

- $RME_m = (RME_{m,k})_{1 \leq k \leq K}$ est la matrice des importations de matières exprimées en RME ;
- $F_m = RM \times (\text{diag}(M))^{-1}$ est une matrice $K \times N$;
- $RM = (RM_{k,i})_{1 \leq k, i \leq K, N}$ est la matrice des importations de matières exprimées en RME et au niveau de chaque produit importé : pour $1 \leq k \leq K$ et $1 \leq i \leq N$, $RM_{k,i}$ est égal à la quantité de matière k , exprimée en RME, contenue dans les importations de produit i .

Compte tenu des relations entre P et DF et entre M et P , DE et RME_m se réécrivent :

$$DE = F \times L \times DF$$

$$RME_m = F_m \times A_m \times L \times DF$$

L'indicateur RMI, par définition égal à $DE + RME_m$, s'écrit donc :

$$RMI = DE + RME_m = (F + F_m \times A_m) \times L \times DF$$

La deuxième égalité exprime l'apport du cadre entrées-sorties pour pouvoir relier comptablement la demande finale à la quantité de matière primaire nécessaire à la satisfaire. Le terme L traduit en premier lieu la quantité de production nécessaire pour satisfaire la demande finale. Le terme $(F + F_m A_m)$ traduit alors la quantité de matière primaire associée, d'une part extraite sur le territoire (terme F) et d'autre part extraite à l'étranger (terme $F_m \times A_m$).

³⁰ En pratique, on a supposé de manière équivalente : $DE = F' \times (P + M)$ avec $F' = \text{diag}(DE) \times T \times (\text{diag}(P+M))^{-1}$.

Enfin, décomposant la demande finale en $DF = DFI + X$ où DFI est la demande finale intérieure et X les exportations, on voit que $(F + F_m \times A_m) \times L \times X$ représente les flux exportés de matières exprimées en RME (RME_{Ex}). L'empreinte RMC s'écrit donc³¹ :

$$RMC = DE + RME_m - RME_x = (F + F_m A_m) \times L \times DFI$$

Pour satisfaire 1 € de demande finale intérieure en produit $1 \leq i \leq N$, la quantité nécessaire en matière primaire $1 \leq k \leq K$ s'écrit donc³² :

$$(DE_k / P_k) L_{k,i} + \sum_j (RM_{k,j} / P_j) L_{j,i}$$

Autrement dit, 1 € de demande finale intérieure en produit i nécessite une production (intérieure) de matière k égale à $L_{k,i}$: cette production monétaire est associée à une extraction intérieure en kg obtenue en lui appliquant le ratio de DE_k sur P_k ; par ailleurs 1 € de demande finale intérieure en produit i nécessite également des importations en tous produits j , dont les quantités associées de matière k (exprimées en RME) sont obtenues en appliquant le ratio de $RM_{k,j}$ sur P_j .

L'utilisation du TES permet donc, à travers la matrice L , d'estimer l'empreinte matière associée à la demande finale intérieure en un produit donné, là où les seuls $(DE_k)_{1 \leq k \leq K}$ et $(RM_{k,i})_{1 \leq k,i \leq N}$ permettent de calculer l'indicateur RMI_k pour chaque matière sans pouvoir le décomposer selon les produits. En outre, comme on l'a déjà signalé dans la partie précédente, la donnée du TESS permet un calcul de l'empreinte matière tenant compte de la structure productive de l'économie : le calcul des exportations de matières exprimées en RME s'en trouve améliorée par rapport à l'utilisation de coefficients, tel que ceux calculés par Eurostat via l'outil-pays, non nécessairement représentatifs de l'exhaustivité du système productif.

Mise en œuvre pratique de la méthode et désagrégation du tableau entrées-sorties de la France du niveau 138 au niveau 151 produits

En pratique, la mise en œuvre de la méthodologie est conditionnée aux données disponibles, qui sont les suivantes :

- le TESS au niveau de 138 produits (comptes nationaux). Le détail des 138 produits obéit à la nomenclature CPA³³ de l'Union européenne ;
- les indicateurs DE au niveau de 51 matières, établis par le SDES pour les comptes des flux de matières notifiés à Eurostat. Les matières y sont distinguées selon la classification MF utilisée dans les comptes des flux de matières³⁴ ;
- les importations de matières exprimées en RME, au niveau de 51 matières et de 182 produits. Ces données sont calculées par Eurostat pour la France via l'outil-pays.

³¹ En pratique et compte tenu des notes *supra*, on a $RMC = (F + F_m A_m) \times (I - A)^{-1} \times DFI$.

³² Quitte à modifier l'ordre des produits, on suppose que la matière k se rattache au produit primaire k .

³³ La classification statistique des produits associée aux activités (CPA) est la nomenclature des produits (biens et services) en vigueur au niveau de l'Union européenne. Les catégories de produits de la CPA sont liées aux activités définies par la nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne (NACE). Chaque produit de la CPA - tout bien ou service transportable ou non - est associé à une seule activité de la NACE. Ce lien avec les activités de la NACE donne à la CPA une structure parallèle à celle de la NACE à tous les niveaux (source : Eurostat).

³⁴ Annexe III du règlement n°691/2011 relatif aux comptes économiques européens de l'environnement.

Partie 2 - Méthodologie et données

Les 51 matières correspondent à celles distinguées dans les comptes des flux de matières à travers la classification MF tandis que les 182 produits sont définis selon une nomenclature dite « RME », issue de la nomenclature CPA.

La très fine désagrégation des produits dans la nomenclature RME porte principalement sur les produits primaires du niveau 138 et sur les produits issus d'une première transformation (tableau 1 et annexe 1). Elle permet une description très détaillée de l'économie, et notamment du rôle des activités extractives dans la production des biens et services, ce qui constitue un élément essentiel au calcul de l'empreinte matières. En effet, la méthodologie de calcul de l'empreinte matière revient à supposer que chaque produit est constitué d'une proportion fixe de produits issus d'industries extractives, et de ce fait d'une proportion fixe de matières : une telle hypothèse n'est recevable que dans le cas d'une représentation très désagrégée de l'économie et, à cet égard, le niveau 138 du TESS des comptes nationaux se situe à un stade encore trop agrégé des produits primaires ou issus d'une première transformation.

En définitive, la méthodologie a été appliquée selon les niveaux de désagrégation suivants :

- concernant les matières, on a conservé le niveau de détail fourni dans les indicateurs DE et les importations de matières en RME calculées par Eurostat, à savoir 51 matières ;
- concernant les produits, on a effectué quelques regroupements parmi les 182 produits renseignés par Eurostat dans le calcul des importations de matières en RME, mais en conservant néanmoins un détail fin des produits : on se place ainsi au niveau de 151 produits.

**Tableau 1 : produits du TESS au niveau 138
qui font l'objet d'une désagrégation en produits RME**

Produits du niveau 138 du TESS	Code CPN	Nombre de produits RME	Type de distinction opérée dans les produits RME
Produits de l'agriculture et de la chasse	A01Z	19	Selon les types de fruits, de légumes et d'animaux d'élevage
Produits d'extraction d'hydrocarbures	B06Z	2	Selon le pétrole et le gaz
Produits de l'extraction de minerais métalliques	B07Z	7	Selon les minerais métalliques (fer, cuivre, nickel, aluminium...)
Produits des autres industries extractives	B08Z	6	Selon les minerais non métalliques (marbre, calcaire, sables, sel...)
Aliments pour animaux	C10K	2	Selon les animaux de ferme ou de compagnie
Produits de la cokéfaction et du raffinage	C19Z	2	Selon la cokéfaction et le raffinage
Produits chimiques de base	C20A	5	Selon les produits de base, les engrais, les pesticides...
Autres produits chimiques et fibres	C20C	2	Selon les autres produits chimiques et les fibres
Autres produits minéraux non métalliques hors verre	C23B	7	Selon le ciment, la pierre taillée, la porcelaine...
Métaux précieux et autres métaux non ferreux	C24B	6	Selon le type de métal (aluminium, plomb, étain, cuivre...)
Produits de la fonderie	C24C	4	Selon le type de fonderie (fonte, acier, métaux légers...)
Produits métalliques pour la construction	C25A	2	Selon les éléments pour la construction et les réservoirs métalliques
Produits de la forge et du traitement des métaux	C25D	2	Selon les produits de la forge et ceux du traitement des métaux
Articles de sport, jeux et autres produits manufacturés	C32C	4	Selon le type de produit (sport, jouet...)
Production et distribution de gaz, vapeur et air conditionné	D35B	2	Selon le type d'énergie (gaz, vapeur)

Partie 2 - Méthodologie et données

Une étape préliminaire consiste à désagréger le TESS de la France du niveau 138 produits au niveau 151 produits³⁵. On en résume ici le cheminement global, le détail étant présenté en annexe 2. Pour chaque bien ou service du TESS 151×151 n'existant pas dans le TESS 138×138, il s'agit en premier lieu d'en renseigner les différents postes de l'équilibre ressources-emplois. Cette opération peut s'effectuer pour les postes de production, de consommations intermédiaires³⁶, d'importations et d'exportations, en recourant à diverses sources de données, selon le type de produit concerné – par exemple, les comptes de l'agriculture – ou le type de poste comptable à renseigner – par exemple, la base de donnée Prodcom pour la production ou les consommations intermédiaires, Comext pour les flux d'échanges extérieurs (tableau 2). Des extrapolations sont parfois nécessaires pour combler des données manquantes. Enfin, ces données ne permettent pas de renseigner les consommations intermédiaires utilisées pour les produits agricoles.

La mobilisation de ces différentes bases de données ne garantit pas que les postes de l'équilibre ressources-emplois renseignés au niveau 151 soient, une fois agrégés, cohérents avec le TESS 138×138. Les données des bases ne sont donc pas utilisées en tant que telles mais servent de clé de répartition pour « éclater » les agrégats du TESS 138×138.

Tableau 2 : sources de données mobilisées pour renseigner la production, les consommations intermédiaires et les flux d'échanges pour les produits désagrégés du TES 64×64

Produits du niveau 64 du TESS	Code CPN	Nombre de produits RME	Production	Consommations intermédiaires	Importations	Exportations
Agriculture et chasse	A01Z	19	Comptes de l'agriculture			ComExt
Extraction hydrocarbures	B06Z	2	Gaz : Pégase, SBS et extrapolations Pétrole : solde à partir de SBS			ComExt
Extraction min. métal.	B07Z	7	SBS et ProdCom			ComExt
Autres extractions	B08Z	6	SBS et ProdCom			ComExt
Aliments pour animaux	C10K	2	SBS			ComExt
Cokéfaction et du raffinage	C19Z	2	SBS			ComExt
Chimie de base	C20A	5	SBS			ComExt
Chimie et fibres	C20C	2	SBS			ComExt
Min. non métal. h/verre	C23B	7	SBS			ComExt
Métaux précieux	C24B	6	SBS et extrapolations ponctuelles			ComExt
Prod. de la fonderie	C24C	4	SBS			ComExt
Prod. métal. pour la constr.	C25A	2	SBS			ComExt
Forge et trait. métaux	C25D	2	SBS			ComExt
Sport, jeux et autres manuf.	C32C	4	SBS			ComExt
Gaz, vapeur, air	D35B	2	SBS			ComExt

Note : SBS (*structural business statistics*) rassemble les statistiques annuelles détaillées sur l'industrie, fournissant notamment la valeur de la production et les achats de biens et services pour les activités au niveau fin de la N, ACE Rev2. Comext est la base de données de référence d'Eurostat pour les statistiques détaillées du commerce international de biens. Prodcom (de «production communautaire») est une enquête qui a lieu au moins une fois par an et qui vise la collecte de statistiques concernant la production de biens (principalement manufacturés), leur valeur et leur quantité, dans l'Union européenne. La base Pégase (acronyme de Pétrole, Électricité, Gaz et Autres Statistiques de l'Énergie) enregistre et diffuse les statistiques de l'énergie rassemblées par le service de la donnée et des études statistiques (SDES) du ministère de la transition écologique et solidaire.

³⁵ Dans la suite, on notera TESS 138×138 (resp. 151×151) le TESS de la France au niveau des 138 produits (resp. désagrégé au niveau des 151 produits).

³⁶ On parle ici des consommations intermédiaires utilisées dans la production du bien ou service (colonnes du TEI).

Il s'agit ensuite de construire le reste du TESS 151×151, à savoir le TEI au niveau 151×151 et les postes de la demande finale hors exportations (consommation des ménages, investissement...). Les postes déjà renseignés agissent tels des « contraintes au bord » mais sont insuffisantes à déterminer l'intégralité du TESS 151×151. Pour combler ce manque d'information, on cale la structure du TESS 151×151 sur celle du TESS de même niveau disponible pour l'Union européenne (Eurostat, 2017³⁷). Ce calage s'effectue à l'aide d'un algorithme RAS³⁸, qui consiste à équilibrer de façon itérative les lignes du TESS 151×151 et ensuite les colonnes. Le TESS 151×151 obtenu est alors intégralement équilibré en ligne et en colonne, respecte les contraintes au bord et, lorsqu'agrégé au niveau 138, est cohérent avec le TESS 138×138. Le TESS européen servant de calage de référence étant disponible pour les années 2010 et 2013, le TESS 151×151 de la France a été construit sur l'année 2013. L'empreinte matières est donc *in fine* calculée pour 2013.

Hypothèses et limites de la méthode

Les avantages et inconvénients du choix retenu ici d'une méthode hybride pour le calcul de l'empreinte matières, c'est-à-dire combinant un cadre comptable entrées-sorties et l'utilisation de coefficients pour le RME des importations, a déjà été discuté précédemment. Ce choix étant posé, la méthodologie de calcul de l'empreinte matières qui vient d'être exposée est elle-même sujette à des limites qu'il convient de garder à l'esprit.

Concernant le cadre théorique de la méthode :

- le RME des importations est supposé le même selon que l'importation est utilisée en consommations intermédiaires ou en demande finale. En pratique, il est possible que l'origine géographique des consommations intermédiaires importées diffère de celle des biens finaux importés, ce qui peut induire des RME différents³⁹. La donnée de RME des importations distinguées selon leur emploi intermédiaire ou final nécessiterait dès lors d'étoffer le cadre comptable retenu pour partager les consommations intermédiaires ainsi que la demande finale entre sa composante intérieure et sa composante importée ;
- le RME des exportations résultant de l'application du cadre entrées-sorties n'est pas non plus distingué selon la destination géographique des biens exportés. En effet, la demande finale est implicitement associée au même processus de production, qu'il s'agisse des biens exportés vers un pays donné ou des biens consommés domestiquement. En pratique, cette hypothèse pourrait ne pas être vérifiée, les biens exportés étant susceptible de différer dans leur conception selon qu'ils sont vendus par exemple sur les marchés émergents ou sur le territoire.

Concernant la mise en œuvre pratique de la méthode et notamment la désagrégation du TESS 138×138 de la France en un TESS 151×151 :

³⁷ Les auteurs remercient Eurostat pour leur avoir transmis ce TESS.

³⁸ Restricted Additive Schwarz.

³⁹ Toutefois, le TESS produit par les comptes nationaux et distinguant selon le TESS domestique et le TESS importé ne va pas jusque dans ce degré de précision.

- la désagrégation à un niveau aussi fin pose la question de la robustesse de la méthode utilisée. En effet, l'algorithme RAS, selon qu'il traite le calage des lignes avant ou après celui des colonnes, n'assure pas la convergence vers un unique TESS 151×151. Toutefois, l'ensemble des points de convergence possibles est limité par le fait que le TESS 151×151 de l'Union européenne, servant de point de départ de l'algorithme, contient de nombreuses cases nulles, notamment dans le tableau des entrées intermédiaires. Ces cases nulles ne sont pas altérées par l'algorithme et demeurent nulles dans le TESS 151×151 obtenus *in fine* ;
- par ailleurs, l'utilisation du TESS 151×151 de l'Union européenne revient à supposer qu'au sein des sous-produits du niveau 138, la structure productive française est comparable à celle de l'Union européenne. Cette limite mériterait d'être repoussée, en intégrant par exemple dans les contraintes au bord des informations spécifiques au système productif français. En revanche, il ne s'agit pas d'en déduire que l'empreinte matières calculée à l'aide du TESS 151×151, comme celle résultant de la méthodologie-pays d'Eurostat, ne serait pas représentative de la structure productive française. En effet, le TESS 151×151 intègre bien des informations sur le système productif français puisqu'agrégé au niveau 138, il s'identifie au TESS 138×138 de la France ;
- la question se pose enfin de la robustesse des sources de données utilisées. Elles sont d'une part variées (SBS, ProdCom, ComExt...) et non nécessairement calées sur les données des comptes nationaux au niveau 64 produits. D'autre part, la robustesse se pose aussi du fait de l'utilisation de ces bases à des niveaux de désagrégation aussi fins.

Partie 3

Résultats

Les produits agricoles et agro-alimentaires captent l'essentiel de l'empreinte en biomasse, et l'investissement en construction une large part de l'empreinte en produits non métalliques. L'empreinte en combustibles fossiles est davantage répartie selon les différents produits, traduisant notamment le rôle de l'énergie dans les processus de production. L'empreinte en métaux provient en majorité des produits manufacturés mais aussi de la construction. Les résultats peuvent aussi s'étudier à un niveau beaucoup plus fin, le cas de la bauxite étant considéré à titre d'exemple.



Par rapport au calcul de l’empreinte matières actuellement publié pour la France selon la méthode suggérée par Eurostat, la méthodologie développée ici présente l’avantage, décrit ci-dessus, de fournir non seulement une empreinte matières au niveau agrégé mais aussi au niveau matière x produit et également au niveau des composantes de la demande finale intérieure. Les résultats présentés ici vont donc se concentrer sur ces éléments désagrégés pour répondre aux questions suivantes :

(i) quels sont les produits qui contribuent le plus aux besoins en matières primaires de la France et à son empreinte matières ? Dans l’optique d’une moindre dépendance aux ressources et donc d’une réduction des besoins en matières, il est en effet pertinent d’identifier les produits dont le processus de production, en France ou à l’étranger, est le plus utilisateur de matières ;

(ii) quels sont les agents économiques qui contribuent le plus à l’empreinte matières de la France ? L’empreinte matières s’identifiant au contenu en matières primaires de la demande finale intérieure, elle peut se décomposer selon les composantes de cette demande, notamment la consommation des ménages, l’investissement des entreprises et des ménages, la demande des administrations publiques. Il est donc possible d’identifier le ou les agents économiques qui seraient les plus concernés par une réduction éventuelle de l’empreinte en une matière spécifique ou associée à un produit spécifique ;

(iii) pour une matière donnée, quels sont les biens et services générant le besoin de cette matière ? Par quels biens et services l’empreinte en cette matière transite-t-elle ?

Les questions (i) et (ii) seront traitées dans la partie 4.1 tandis que la partie 4.2 abordera la question (iii) dans l’exemple illustratif de la bauxite. Par ailleurs, à titre illustratif, les résultats agrégés pour la France (partie 4.1) sont présentés en comparaison avec l’Allemagne, qui a réalisé un exercice similaire pour l’année 2011.

Les principaux indicateurs calculés pour la France en 2013

L’extraction intérieure (DE)

Les comptes de flux de matières publiés par Eurostat fournissent les données relatives à l’extraction intérieure pour les membres de l’Union européenne (figure 4). Ainsi sur le territoire français en 2013, l’extraction s’élève à 636 Mt toutes matières confondues⁴⁰, soit 9,7 t/hab⁴¹, et concerne essentiellement les minéraux de construction (sable et gravier) et la biomasse (cultures céréalières, fourragères, sucrières et bois). La dépendance est quasi totale vis-à-vis des métaux (primaires) et combustibles fossiles.

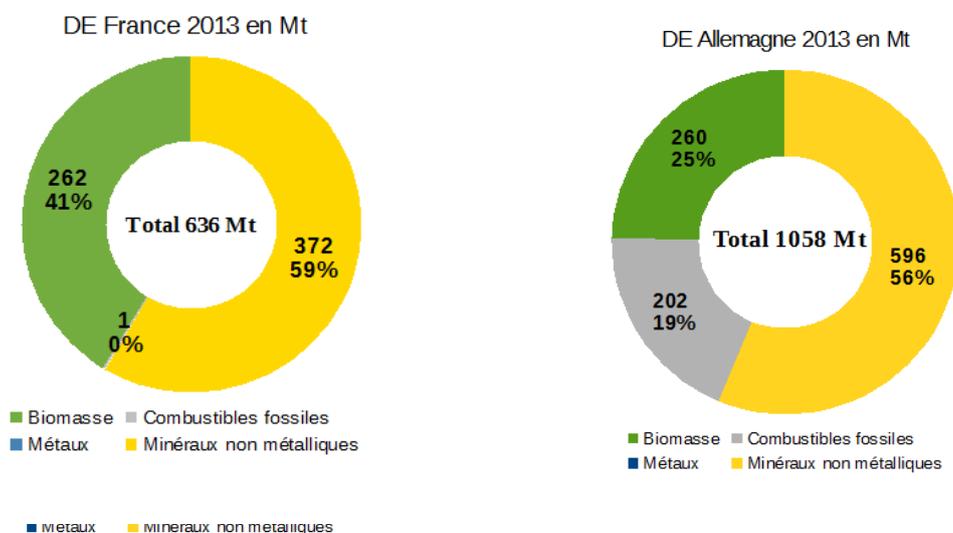
À titre de comparaison la même année en Allemagne, l’extraction s’élève à 13,1 t/hab, soit 3,4 t/hab de plus qu’en France toutes matières confondues. Cet écart est porté par l’extraction de

⁴⁰ Dans la comptabilité des flux de matières, il est d’usage de sommer les quantités physiques de matières, sans distinction aucune, afin d’obtenir un indicateur agrégé au niveau de l’économie dans son ensemble. L’usage d’une telle métrique n’est pas forcément le plus pertinent – il donne *de facto* un poids important aux minerais non métalliques et nettement plus faible à la biomasse – et l’indicateur obtenu doit dès lors s’interpréter comme une mesure synthétique, agrégeant des dimensions selon une pondération ayant une part d’arbitraire. À ce titre, et dans une optique de pressions environnementales exercées par la consommation de matières primaires, une pondération alternative pourrait résider dans le coût environnemental causé par la consommation d’1kg de matière.

⁴¹ La population est prise au 1^{er} janvier de 2013, soit 65,565 M d’habitants.

lignite destinée à la production d'électricité (+2,5 t/hab), et les minéraux de la construction qui confortent la position allemande de leader de la production de granulats en Europe (+1,7 t/hab). Les récoltes céréalières et sucrières sont en revanche plus importantes en France, contribuant à atténuer cet écart (-0,8 t/hab).

Figure 4 - Extraction intérieure (indicateur DE) en 2013 pour la France et pour l'Allemagne, en millions de tonnes



Sources : pour la France, comptes de flux de matières, calcul des auteurs ; pour l'Allemagne, Lutter et al. (2016).

Le besoin en matières des activités économiques (RMI)

Le besoin en matières (RMI) de l'économie française s'élève à 1 412 Mt en 2013. Il est obtenu en sommant l'extraction intérieure présentée précédemment et les importations exprimées en équivalent matières premières. Celles-ci sont déduites à partir des coefficients fournis par Eurostat, de sorte que le besoin calculé par type de matières est en parfaite cohérence avec celui de l'outil-pays. On obtient ainsi l'ensemble des matières dont l'économie a besoin pour satisfaire la demande finale, qu'elle soit intérieure (consommation, investissement...) ou extérieure (exportations). L'approche retenue ici permet d'aller plus loin et de décomposer ce besoin par catégorie de produits de la demande finale. Afin de synthétiser l'analyse, les catégories de produits ont été définies de façon à regrouper les produits dont l'empreinte matières est relativement homogène selon les types de matières, en s'inspirant notamment des catégories définies pour l'économie allemande (Lutter et al. 2016). On distingue ainsi (cf annexe 1 pour une description plus détaillée des différents produits) :

- les produits de l'agriculture (1 % de la demande finale intérieure) et des industries extractives (moins de 1 %) ;

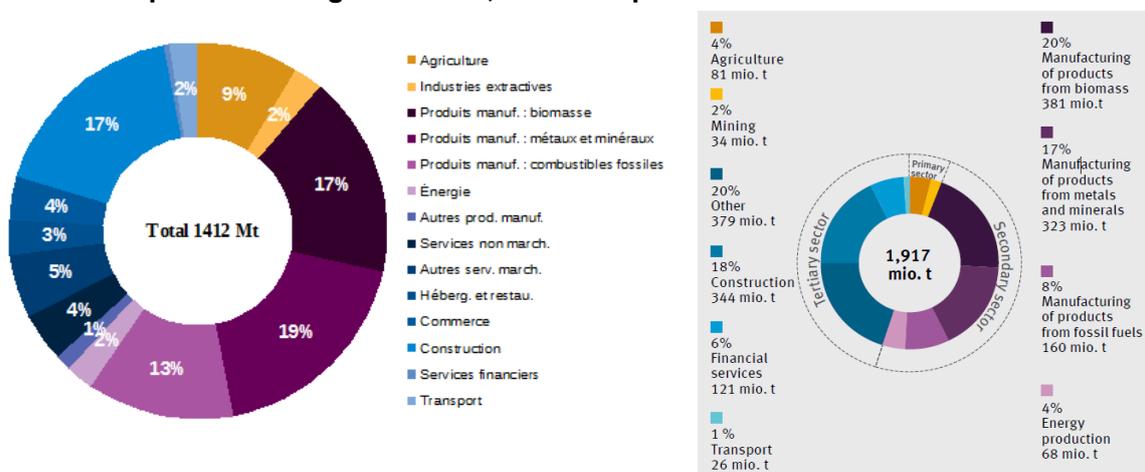
Partie 3 - Résultats

- les produits manufacturés selon qu'ils utilisent davantage de biomasse (produits de l'agro-alimentaire, 6 % de la demande finale intérieure), davantage de combustibles fossiles (3 %) ou de métaux et minerais non métalliques (6 %) ;
- les produits énergétiques (2 % de la demande finale intérieure) et les autres produits manufacturés (2 %) ;
- les produits de la construction (11 % de la demande finale intérieure) ;
- les services marchands : commerce (10 % de la demande finale intérieure), transport (2 %), hébergement et restauration (4 %), services financiers (3 %) et autres services marchands (26 %) ;
- les services non marchands (26 % de la demande finale intérieure).

La demande finale pour les produits manufacturés engendre la moitié des besoins (figure 5). Parmi ces produits, les principaux contributeurs sont les produits issus du raffinage du pétrole (5 % des besoins), les véhicules automobiles (4 %), la viande (5 %), les produits laitiers (3 %) et les produits de boulangerie, pâtes, sucre et plats préparés (3 %). Les produits de la construction mobilisent quant à eux 17 % des besoins, tandis que les services de commerce et de transport réunis ne représentent que 6 % des besoins. Les services d'hébergement et restauration et les services non marchands mobilisent quant à eux respectivement 3 % et 4 % des besoins.

Le profil général du besoin en matières de l'économie allemande en 2013 est comparable à celui de la France : le secteur primaire mobilise moins de 10 % des besoins, concentrés majoritairement sur les produits agricoles, les produits manufacturés près de la moitié des besoins, et la construction près de 20 %.

Figure 5 - Besoins en matières de l'économie (indicateur RMI) pour la France en 2013 et pour l'Allemagne en 2011, selon les produits de la demande finale



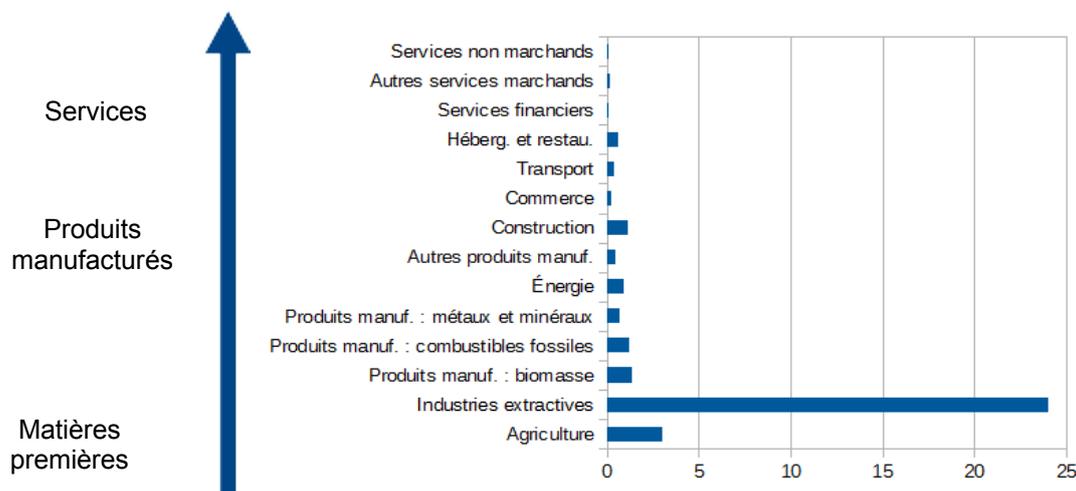
Sources : pour la France, comptes de flux de matières, base 2010 des comptes nationaux, calcul des auteurs ; pour l'Allemagne, Lutter et al. (2016).

L'intensité en matières des produits

Le besoin en matières pour un produit donné peut être appréhendé comme fonction du volume de la demande finale et de son intensité matières. Celle-ci permet de mesurer l'importance relative des matières premières dans la création de valeur associée au produit. L'intensité matières est définie pour un produit donné comme le rapport de son besoin en matières et de sa valeur ajoutée en volume. En d'autres termes, il s'agit de la quantité de matières mobilisées tout le long de la chaîne de valeur pour produire un euro de valeur ajoutée en ce produit.

De façon prévisible, les produits des industries extractives présentent les intensités matières les plus élevées avec près de 25 kg/€ (figure 6). Le secteur secondaire qui transforme les matières premières est caractérisé par des intensités intermédiaires autour de 1 kg/€. Les services, dont la création de valeur est par nature essentiellement immatérielle, sont les moins intenses en matières avec moins de 0,5 kg/€.

Figure 6 - Intensité matières selon les produits pour la France en 2013, en kg par €



Source : pour la France, comptes de flux de matières, base 2010 des comptes nationaux, calcul des auteurs.

Note : l'intensité matière est définie par l'empreinte matières du produit rapportée à sa demande finale intérieure.

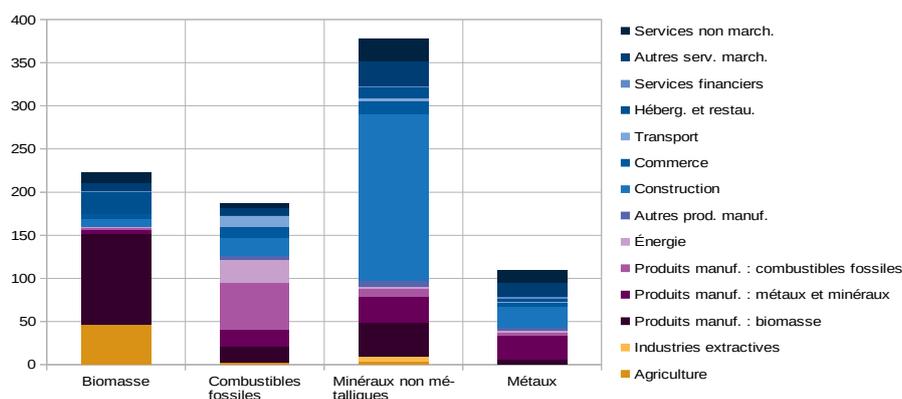
Cet indicateur est particulièrement utile pour comprendre les disparités de productivités matières entre pays ou leur évolution dans le temps. À l'échelle nationale, la connaissance de l'intensité en 51 matières obtenue pour 152 produits selon qu'ils soient importés ou produits sur le territoire, apporte également un éclairage sur les leviers d'action et les marges de manœuvre pour réduire l'empreinte matières. En effet, la demande pour certains produits à forte intensité pourrait être réduite et réorientée vers des produits moins intenses en matières, il s'agit de favoriser des modes de consommation plus sobres en matières. Par ailleurs, l'intensité en matières d'un produit donné pourrait être diminuée en favorisant des modes de production plus sobres (utilisation de matières premières issues du recyclage, écoconception...).

La consommation de matières du point de vue de la demande

Selon notre estimation pour la France en 2013, l’empreinte de la demande finale intérieure (RMC) toutes matières confondues s’élève à 898 Mt, soit 13,7 t/hab. L’empreinte est dominée par les minéraux non métalliques (378 Mt) qui comptent pour 42 % de l’empreinte totale. En deuxième et troisième positions, la biomasse (224 Mt) et les combustibles fossiles (208 Mt) représentent respectivement 25 % et 23 % du total. Les métaux (88 Mt) représentent quant à eux 10 % du total.

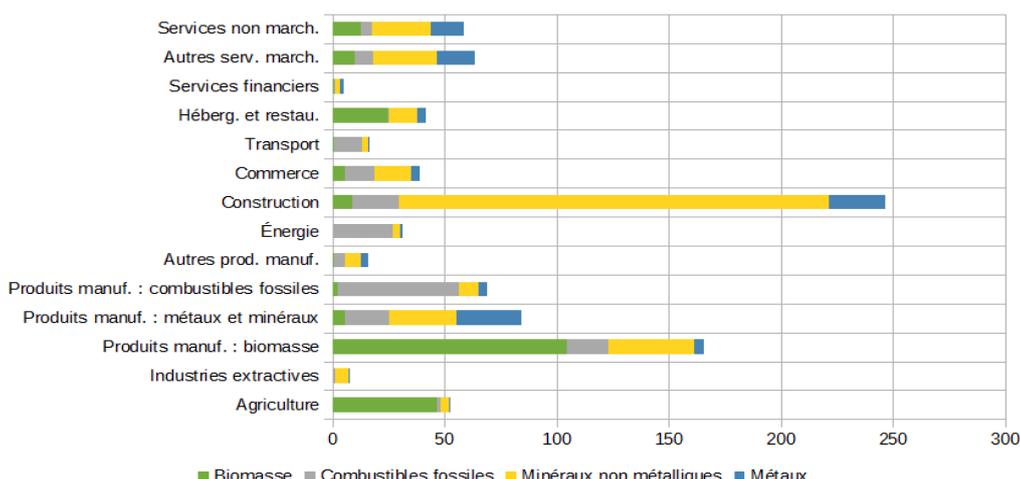
Plus précisément, cette empreinte peut être décomposée par grande catégorie de matières et de produits (figures 7 et 8). De façon prévisible, on observe que l’empreinte en minéraux non métalliques résulte en majeure partie de l’investissement en construction (51 %). De même, l’empreinte en biomasse est soutenue essentiellement par la consommation de produits agroalimentaires (47 %) et de produits agricoles (21 %). L’empreinte en combustibles fossiles provient pour un quart de la consommation en produits issus du raffinage du pétrole, le reste de cette empreinte étant réparti de façon dispersée entre les autres catégories de produits. En effet, les produits énergétiques et les services de transports, les plus intenses en combustibles fossiles, sont utilisés comme consommations intermédiaires pour la majorité des autres produits. En ce qui concerne les métaux, l’empreinte provient pour un tiers de l’industrie manufacturière liée aux métaux et minéraux (notamment machines, véhicules) et pour plus d’un quart de la construction. La construction est notamment le produit dont l’empreinte matières est la plus importante (27 % de l’empreinte totale) du fait de son utilisation de sables et graviers. Les produits agricoles et agro-alimentaires représentent près de 25 % de l’empreinte matières totale, à travers une forte utilisation de céréales et de cultures fourragères. Les produits manufacturés, tant à base de combustibles fossiles que de métaux, représentent 17 % de l’empreinte totale. Les services marchands comptent pour près de 20 % de l’empreinte matières, avec une structure par matière qui peut différer selon les services : forte utilisation de biomasse dans l’hébergement et la restauration, de combustibles fossiles dans les services de transport... Enfin, l’empreinte des services non marchands représente 7 % de l’empreinte totale.

Figure 7. Empreinte matières (indicateur RMC) pour la France en 2013, en millions de tonnes, selon les matières



Source : pour la France, comptes de flux de matières, base 2010 des comptes nationaux, calcul des auteurs.

Figure 8 - Empreinte matières (indicateur RMC) pour la France en 2013, en millions de tonnes, selon les produits de la demande intérieure finale



Source : pour la France, comptes de flux de matières, base 2010 des comptes nationaux, calcul des auteurs.

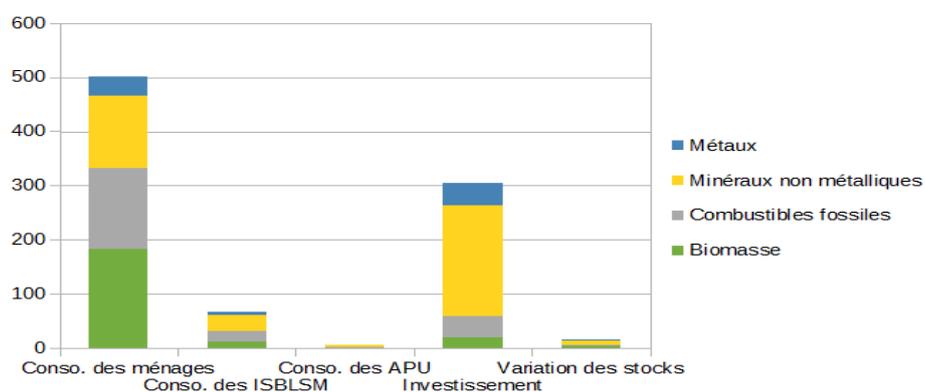
L'approche retenue dans cette étude permet en outre de décomposer cette empreinte par catégorie de la demande finale intérieure (figures 9 et 10). La consommation des ménages engendre à elle seule plus de la moitié de l'empreinte totale (502 Mt), suivie de l'investissement total pour plus d'un tiers (305 Mt) ainsi que de la consommation des administrations publiques (68 Mt). Les dépenses de consommation des ISBLSM et les variations de stocks ne totalisent que 3 % de l'empreinte (respectivement 6 Mt et 17 Mt). Mesurés en valeur ajoutée, l'investissement total, la consommation des ménages et la consommation des administrations publiques représentent respectivement 22 %, 51 % et 25 % de la demande finale intérieure de la France en 2013 ; mesurés en équivalent matières premières, ils comptent respectivement pour 34 %, 56 % et 8 % de l'empreinte liée à cette demande. L'empreinte liée à l'investissement est donc relativement plus élevée que la part correspondante en valeur ajoutée. En effet, l'investissement concerne majoritairement des produits intenses en matières : produits de la construction (75 % de l'empreinte liée à l'investissement), machines et véhicules (10 %). Au contraire, la part de l'empreinte totale liée à la consommation finale des administrations publiques est significativement plus faible que sa contrepartie en valeur ajoutée : les produits concernés sont essentiellement des services peu intenses en matières (services non marchands, qui comptent pour 73 % de l'empreinte liée à la consommation finale des administrations publiques⁴²). Enfin, la consommation des ménages relève à la fois de produits intenses en matières : produits agricoles et agroalimentaires (41 % de l'empreinte correspondante), produits manufacturés hors agroalimentaire (22 %), services marchands ou

⁴² La consommation finale des administrations publiques représente les dépenses dites « collectives » correspondant aux activités d'administration générale (justice, défense, police, administration économique, etc.) et les dépenses dites « individuelles » correspondant aux dépenses dont le bénéfice ultime revient aux ménages (sécurité sociale, enseignement, santé, action sociale, etc.).

Partie 3 - Résultats

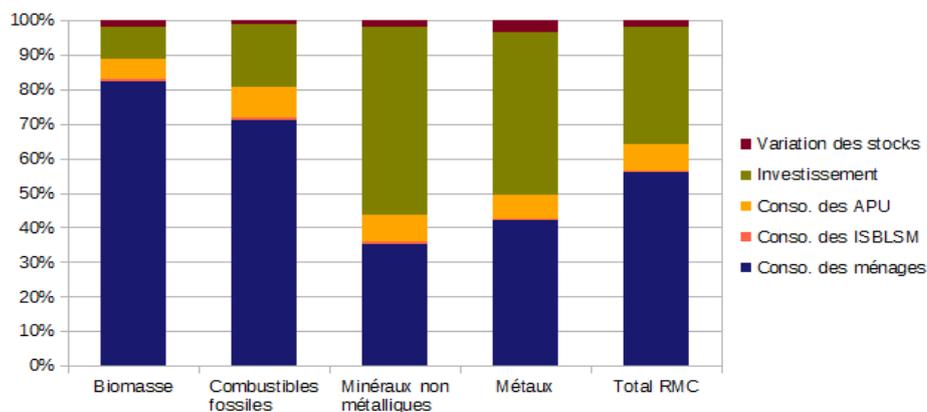
non marchands (27 %), etc., de sorte que les parts relatives en empreinte ou en valeur ajoutée sont proches. Une décomposition similaire pour l'Allemagne en 2011 montre que le profil est relativement similaire entre les deux pays (figure 11).

Figure 9 - Empreinte matières (indicateur RMC) pour la France en 2013, en millions de tonnes, selon les postes de la demande finale intérieure



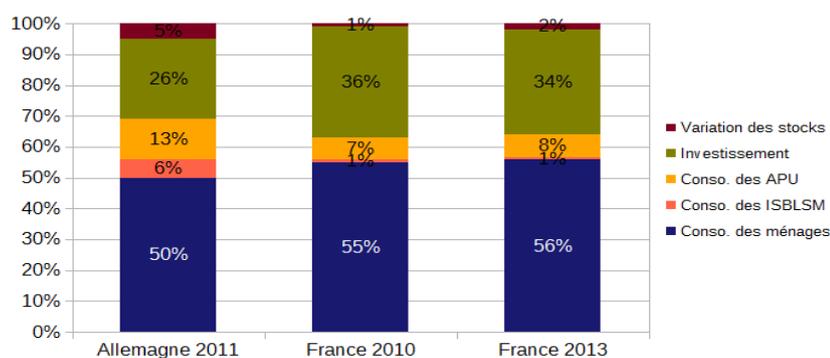
Source : pour la France, comptes de flux de matières, base 2010 des comptes nationaux, calcul des auteurs.

Figure 10 - Empreinte matières (indicateur RMC) pour la France en 2013, répartie selon les postes de la demande finale intérieure



Source : pour la France, comptes de flux de matières, base 2010 des comptes nationaux, calcul des auteurs.

Figure 11 - Comparaison d'empreintes matières (indicateur RMC) pour la France et pour l'Allemagne, répartie selon les postes de la demande finale intérieure



Source : pour la France, comptes de flux de matières, base 2010 des comptes nationaux, calcul des auteurs.

Note : « Allemagne 2011 » désigne l'empreinte matières de l'Allemagne publiée par Lutter et al. (2016), « France 2010 » et « France 2013 » désignent l'empreinte matières de la France calculée selon la méthodologie retenue dans cette étude, respectivement pour 2010 (à l'aide d'un TESS au niveau 64 produits) et 2013.

Éléments de comparaison

L'approche présentée dans cette étude a également été mise en œuvre pour le calcul de l'empreinte matières de la France en 2010⁴³. Le choix de cette année permet notamment d'obtenir des éléments de comparaison avec d'une part l'empreinte matières de l'Allemagne à titre illustratif calculée par Destatis et, d'autre part, l'empreinte matières française calculée par le SDES à partir de l'outil-pays fourni par Eurostat (figure 12).

Comparaison avec l'empreinte allemande calculée par Destatis

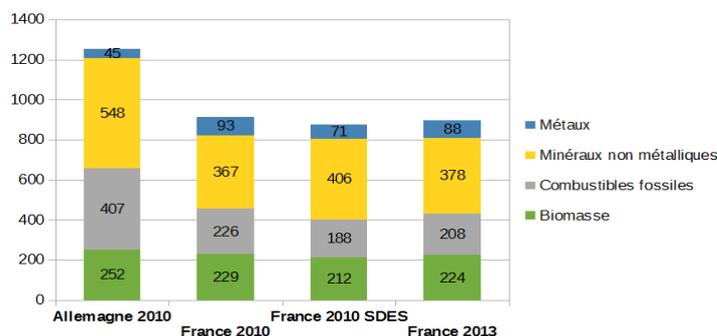
L'empreinte matières allemande en 2010 est calculée par Destatis à partir d'une méthodologie reposant également sur des tableaux entrées-sorties. Compte tenu des différences de méthodologie, de nomenclature et des sources de données utilisées, cette empreinte allemande n'est pas comparable en toute rigueur à celle calculée pour la France dans cette étude. Il est possible néanmoins de fournir quelques éléments de comparaison afin d'apporter un éclairage qualitatif sur les principales divergences observées.

Selon l'approche Destatis, l'empreinte matières de la demande finale intérieure allemande en 2010 s'élève ainsi à 1 252 Mt, soit 15,3 t/hab. En comparaison en France la même année selon l'approche de cette étude, l'empreinte s'élève à 915 Mt, soit 14,1 t/hab. L'empreinte française par habitant serait ainsi inférieure à hauteur de -1,2 t/hab. Dans le détail par grande catégorie de matières, l'empreinte française serait inférieure : (i) en combustibles fossiles (-1,5 t/hab), ce qui peut s'expliquer notamment par le recours au charbon dans la production d'électricité en

⁴³ Un calcul effectué par l'Université de Vienne à partir des tableaux entrées-sorties multi-régionaux mondiaux Exiobase 3.1 estime l'empreinte métaux allemande en 2011 à 151 Mt, soit plus du triple de l'empreinte estimée par Destatis pour 2010. Par ailleurs, les différences des profils de consommation en France et en Allemagne en 2010 des produits qui contribuent le plus à l'empreinte métaux (véhicules, machines et équipements, construction, services de défense et de santé...) ne sont pas assez importantes pour expliquer un tel écart.

Allemagne ; (ii) en minéraux non métalliques (-1,1 t/hab), ce qui serait dû à une valeur ajoutée plus élevée en moyenne du secteur de la construction en France⁴⁴. L'empreinte française serait au contraire un peu plus élevée en biomasse (+0,4 t/hab), compte tenu d'une propension plus forte à consommer des produits agroalimentaires relativement plus intenses en matières (bœuf et produits laitiers notamment). L'empreinte française en métaux serait plus élevée (+0,9 t/hab), mais cet écart pourrait provenir d'une sous-estimation de l'empreinte en métaux allemande⁴⁵.

Figure 12 - Empreinte matières (indicateur RMC) pour la France (en 2013 et en 2010) et pour l'Allemagne, en millions de tonnes



Source : pour la France, SDES et calculs des auteurs ; pour l'Allemagne, Destatis.

Note : « France 2010 SDES » désigne l'empreinte matières de la France calculée selon la méthodologie-pays suggérée par Eurostat ; « France 2010 » et « France 2013 » désignent l'empreinte matières de la France calculée selon la méthodologie retenue dans cette étude, respectivement pour 2010 (à l'aide d'un TESS au niveau 64 produits) et 2013 ; « Allemagne 2010 » désigne l'empreinte matières de l'Allemagne publiée par Destatis.

Comparaison avec l'empreinte de la France calculée par le SDES à l'aide de l'outil-pays d'Eurostat

En première approche, l'outil-pays présente l'avantage de fournir une estimation de l'empreinte avec une certaine économie de moyens. Toutefois compte tenu des différences de résultats observées, la mise en œuvre de l'approche hybride semble effectivement améliorer la précision des empreintes en termes de structure productive, en plus d'en fournir une *cartographie* inédite. A titre de comparaison pour la France en 2010, l'outil-pays fournit une empreinte matières de 880 Mt, contre 915 Mt (+4 %) selon l'approche hybride. Cette relative proximité des résultats masque en réalité des divergences plus marquées par type de matières. L'empreinte de la demande finale obtenue avec la méthode affinée est ainsi supérieure de 31 % pour les métaux, supérieure de 20 % pour les combustibles fossiles, supérieure de 8 % pour la biomasse, et inférieure de 10 % pour les minéraux non métalliques. Ces écarts proviennent notamment du calcul du contenu en matières des exportations, reposant sur l'outil-pays d'Eurostat dans le calcul du SDES et sur le TESS de l'économie française dans le calcul du présent document.

⁴⁴ L'intensité matières de la construction s'élève à 1,2 kg/€ selon notre estimation pour la France en 2010, contre 1,9 kg/€ en Allemagne en 2011 [Umweltbundesamt 2016].

⁴⁵ Un calcul effectué par l'Université de Vienne à partir des tableaux entrées-sorties multi-régionaux mondiaux Exiobase 3.1 estime l'empreinte métaux allemande en 2011 à 151 Mt, soit plus du triple de l'empreinte estimée par Destatis pour 2010. Par ailleurs, les différences des profils de consommation en France et en Allemagne en 2010 des produits qui contribuent le plus à l'empreinte métaux (véhicules, machines et équipements, construction, services de défense et de santé...) ne sont pas assez importantes pour expliquer un tel écart.

En tout état de cause, les résultats exposés précédemment à l'aide de la méthode hybride mettent en lumière la richesse des indicateurs qui peuvent être produits à partir de cette méthode. En particulier, les ventilations de l'empreinte de la demande finale présentées ici par catégorie de produits et par catégorie de demande finale ne peuvent pas être déduites de l'outil pays développé par Eurostat. En outre, un autre avantage de l'approche retenue résulte de la meilleure prise en compte des spécificités de l'économie française. La description détaillée des modes de production, en particulier pour les activités extractives et de première transformation, tend *a priori* à améliorer la précision des indicateurs.

L'exemple de la bauxite

La richesse des résultats offerte par la cartographie des besoins en matières de l'économie française peut être illustrée à travers l'exemple d'une des 51 matières couvertes dans cette étude, la bauxite⁴⁶, minerai à partir duquel on produit l'aluminium, lequel est ensuite transformé ou intégré dans d'autres biens. Cet exemple est d'autant plus intéressant que les enjeux économiques, sociaux et environnementaux associés à l'extraction, à la transformation et aux applications industrielles sont multiples.

De l'extraction à la production

La bauxite est présente de façon abondante à la surface du globe, et ne représente pas moins de 8 % de l'écorce terrestre. Toutefois, les réserves à forte concentration, là où l'exploitation est la plus rentable, sont situées principalement en Guinée, en Australie et au Brésil. Aussi en 2017, l'extraction de bauxite s'est élevée à 300 Mt avec pour principaux producteurs l'Australie, la Chine, la Guinée et le Brésil.

Avant d'obtenir un produit fini en aluminium, le minerai subit plusieurs transformations. En première approximation, on considère qu'environ 4 t de bauxite permettent d'obtenir 2 t d'alumine, la forme concentrée du minerai (procédé Bayer). À leur tour, 2 t d'alumine sont transformées en 1 t d'aluminium brut (électrolyse). L'aluminium brut peut-être à son tour formé (filé, laminé...). En conséquence, l'utilisation d'1 t d'aluminium brut par l'appareil productif engendre entre autres en moyenne un besoin de 4 t de bauxite : ces 4 t s'inscrivent donc dans la logique des flux de matières exprimés en RME puisqu'ils comptabilisent l'intégralité de la bauxite nécessaire à mobiliser pour produire 1 t d'aluminium. À noter qu'au contraire, pour l'aluminium issu du recyclage, le besoin en bauxite est nul.

Des enjeux économiques, sociaux et environnementaux multiples

De l'extraction de bauxite à la production d'aluminium, de nombreuses pressions sont exercées sur l'environnement : réchauffement climatique et pollution des milieux sur les sites d'extraction comme de transformation. La production primaire, c'est-à-dire la production à partir de bauxite, contribue à hauteur de 1 % aux émissions mondiales de GES selon l'Agence internationale de l'énergie. En outre, la production primaire est concentrée à 57 % en Chine selon l'Institut international de l'aluminium, où l'électricité mobilisée est issue à 90 % du charbon.

⁴⁶ Matière MF227 selon la nomenclature retenue dans cette étude.

La majeure partie de la bauxite importée en France provient de Guinée (78 % en 2013⁴⁷). La demande croissante qui lui est adressée notamment de la part de Chine a entraîné une hausse rapide de l'extraction. Celle-ci a doublé entre 2014 et 2017 pour atteindre 43 Mt. Ce développement abrupt de l'activité n'est pas sans conséquences pour l'environnement local. Les opérations minières et de transport y contribuent notamment à l'érosion des sols, au déboisement des forêts, à la pollution sonore pour les riverains des sites d'extraction ou des routes d'acheminement, à la contamination des fleuves le long desquels la bauxite est transportée.

Besoin apparent et besoin en équivalent matières premières (bauxite)

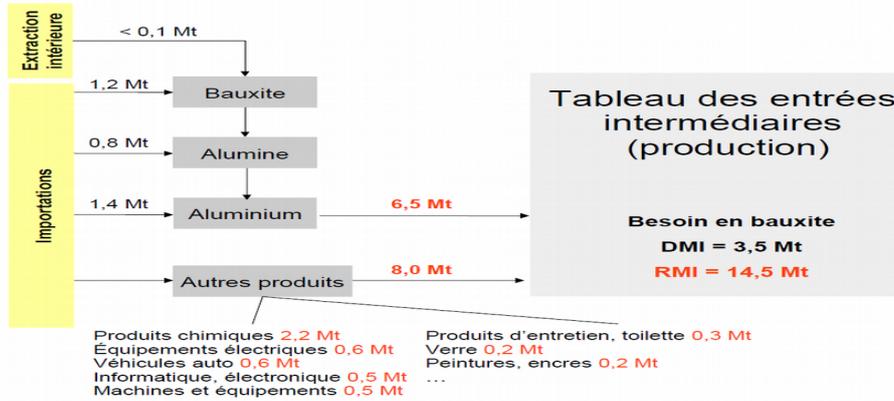
Selon l'approche des comptes de flux de matières, le besoin apparent en bauxite de l'économie française (DMI), peut être calculé en sommant l'extraction intérieure de bauxite (inférieure à 0,1 Mt en 2013), et les flux observés par les Douanes des importations apparentes de bauxite. Ces flux correspondent à des masses de bauxite importée de façon brute mais également à des masses importées d'alumine et d'aluminium, recyclés ou non⁴⁸. Le besoin apparent en bauxite de la France s'élève ainsi à 3,5 Mt en 2013 (figure 13).

Selon l'approche de l'empreinte en équivalent matières premières de cette étude, le besoin en bauxite (RMI) de l'économie française s'élève à 14,5 Mt en 2013 (figure 13). Il est obtenu en calculant le contenu en bauxite des importations, en addition à l'extraction intérieure de bauxite (inférieure à 0,1 Mt en 2013). En premier lieu, le contenu en bauxite des importations de bauxite s'élève à 6,5 Mt (c'est-à-dire 6,5 Mt de bauxite extraite à l'étranger dans le cadre de l'exportation vers la France et dont 3,5 Mt sont *in fine* exportés). Par ailleurs, 8,0 Mt de bauxite sont également extraites à l'étranger et utilisées dans la fabrication de produits exportés vers la France, mais non contenues dans ces produits. La conversion des importations en équivalent bauxite, fournie par Eurostat via l'outil-pays, repose sur des facteurs de conversion tels que ceux présentés précédemment pour traduire les importations d'alumine et d'aluminium en équivalent bauxite. En outre, l'aluminium issu du recyclage engendre un besoin en bauxite nul, la conversion doit être ajustée en conséquence (taux de recyclage régionaux).

⁴⁷ Source : Douanes.

⁴⁸ En effet, les comptes des flux de matières comptabilisent en flux importés de bauxite tant la bauxite elle-même que également l'alumine et l'aluminium, 1 tonne importée d'alumine ou d'aluminium étant comptabilisée en 1 tonne d'importation (apparente) de bauxite.

Figure 13 - Besoin (RMI) en bauxite en 2013, exprimé en Mt équivalent bauxite



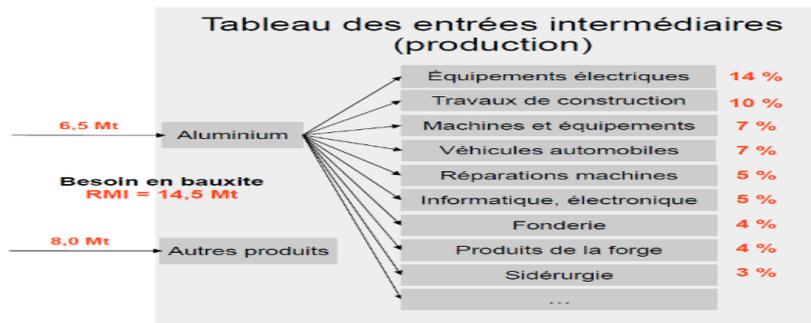
Source : pour la France, comptes de flux de matières, base 2010 des comptes nationaux, calcul des auteurs.

Note : les masses en noirs désignent des flux apparents de matières tandis que celles en rouge désignent des flux exprimés en RME (équivalent bauxite).

Applications industrielles et empreinte de la demande finale

L'aluminium intervient dans la production de produits très variés, compte tenu de ses nombreuses propriétés physiques (légèreté, résistance, conductivité, imperméabilité, caractère réfléchissant...). A titre d'illustration, la cartographie proposée ici permet de décrire comment l'aluminium importé ou produit en France est utilisé pour différentes applications industrielles (figure 14). Plus précisément, il s'agit de déterminer la contribution relative de chaque branche du tableau des entrées intermédiaires dans la première utilisation d'aluminium brut ou semi-fini comme consommation intermédiaire. En cohérence avec l'approche de cette étude, les parts rapportées correspondent à une utilisation en équivalent bauxite et ne comptabilisent pas l'aluminium issu du recyclage.

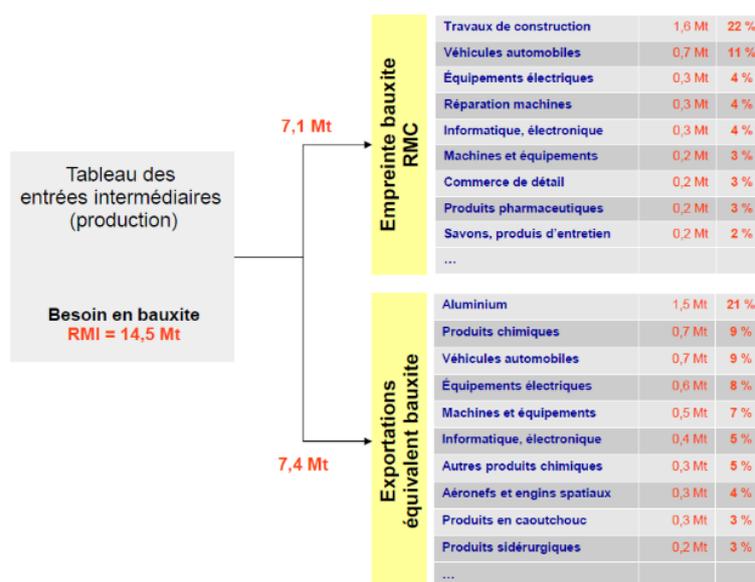
Figure 14 - Besoin (RMI) en bauxite en 2013, exprimé en Mt équivalent bauxite et décomposé selon les branches du tableau des entrées intermédiaires



Source : pour la France, comptes de flux de matières, base 2010 des comptes nationaux, calcul des auteurs.

Du point de vue de la demande, la cartographie permet de calculer les contributions de chaque produit à l’empreinte en bauxite de l’économie. La figure 15 présente les principales contributions à l’empreinte de la demande finale adressée à la France en 2013, qu’elle soit intérieure (RMC) ou extérieure (exportations en équivalent bauxite). Ainsi, parmi les 14,5 Mt de besoin en bauxite de l’économie française, 7,4 Mt sont mobilisées dans la production des biens exportés. Le reste, à hauteur de 7,1 Mt, constitue donc l’empreinte de la bauxite, c’est-à-dire la quantité de bauxite mobilisée pour satisfaire la demande finale intérieure. Cette empreinte provient de la demande finale intérieure en travaux de construction (1,6 Mt, soit 22 % de l’empreinte), en véhicules automobiles (0,7 Mt, soit 11 % de l’empreinte), en équipements électriques (0,3 Mt, soit 4 % de l’empreinte), etc.

Figure 15 - Besoin (RMI) en bauxite en 2013, exprimé en kt équivalent bauxite et décomposé selon l’empreinte matières et le RME des exportations



Source : pour la France, comptes de flux de matières, base 2010 des comptes nationaux, calcul des auteurs.

Conclusion

La richesse des résultats obtenus fournit un guide précieux pour mieux identifier la dépendance des activités économiques aux matières primaires. La méthodologie présente encore certaines limites qui mériteraient d'être affinées dans des travaux ultérieurs. Ceux-ci pourraient également reproduire le calcul sur plusieurs années, afin d'étudier la dynamique temporelle de l'empreinte matières.



Conclusion

La méthodologie de calcul de l’empreinte matières présentée dans cette étude permet d’améliorer et d’approfondir à plusieurs titres la méthode suggérée actuellement par Eurostat dans son « outil-pays » :

- d’une part, elle permet un calcul du contenu en matières des exportations (RME des exportations) prenant en compte la structure de l’appareil productif français, là où la méthode d’Eurostat reflète davantage la moyenne de l’appareil productif européen ;
- d’autre part, elle relie étroitement l’empreinte matières au cadre de la comptabilité nationale, l’identifiant au contenu en matières de la demande intérieure finale. Cette identification permet de décomposer l’empreinte matières agrégée selon les différents produits de la demande intérieure finale et également selon les composantes de cette demande (consommation, investissement). Au-delà du seul calcul de l’empreinte matières agrégée, il est donc possible d’étudier l’empreinte au niveau produit x matière et de constituer une cartographie détaillée des produits dont l’empreinte en une matière donnée est la plus forte.

La méthodologie présentée reste cependant sujette à des limites, déjà soulignées plus haut, et qu’il s’agirait de surmonter dans une étape ultérieure. La question du contenu spécifique en matières des importations françaises, par différence avec le contenu moyen des importations de l’UE, mériterait d’être creusée. Par ailleurs, l’empreinte matières calculée dans cette étude porte sur l’année 2013, ce qui fournit déjà une analyse statique détaillée de la situation de la France au regard de ses besoins en matières. Toutefois, le calcul mériterait bien sûr d’être reproduit sur davantage d’années, afin d’étudier notamment l’évolution temporelle de l’empreinte agrégée ou au niveau produit x matière, ainsi que l’évolution d’indicateurs de productivité matières. La possibilité d’analyser les facteurs d’évolution de ces indicateurs devrait aussi être approfondie, pour pouvoir faire par exemple la part entre une réduction des besoins globaux en matière (primaire ou secondaire) et les effets du développement du recyclage.

Bibliographie



Bibliographie

Calatayud, P., Mokham. K., 2018, L'empreinte matières, un indicateur révélant notre consommation réelle de matières premières, *Data Lab Essentiel – Environnement*, CGDD

Commission européenne (2011), Analysis associated with the Roadmap to a Resource Efficient Europe, European Commission Staff Working Paper, SEC(2011) 1067.

Destatis, 2015, Umweltgesamtrechnung 2015 – UGR 2015, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden

Ekins, P., Hughes, N., et al., 2017, Resource Efficiency: Potential and Economic Implications, A report of the International Resource Panel, PNUE

Eurostat, 2016, Handbook for estimating Raw Material Equivalents (RME) of imports and exports and RME-based indicators for countries - based on Eurostat's EU RME model

Eurostat, 2017, Documentation of the EU RME model, octobre 2017.

Geldron, A., 2014, Economie circulaire : Notions, Ademe

Godzinski, A., 2016, Le modèle Vulcain : une approche en équilibre général calculable de l'économie circulaire et de l'énergie, *Etudes et documents*, CGDD

Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., Haberl, H. and Fischer-Kowalski, M., 2009, Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century, *Ecological Economics* 68(10), pp. 2696–2705

Lutter, S., Giljum, S., Hirschnitz-Garbers, M., Srebotnjak, T., and Gradmann, A., 2014: Further Development of Material and Raw Material Input Indicators – Methodological Discussion and Approaches for Consistent Data Sets: Input paper for expert workshop. Report for a research project funded under the German Federal Environment Agency's UFOPLAN programme. (FKZ: 3713 93 150).

Lutter, S., Giljum, S. Lieber, M. et C. Manstein, 2016, The Use of Natural Resources, Report for Germany 2016, German Environment Agency.

MTES , 2018, Feuille de Route Economie Circulaire

Bibliographie

Mohkam, K., 2017, La fiscalité matières : une opportunité pour une économie circulaire, *Théma Essentiel – Fiscalité*, CGDD

Nicklaus, D., 2017, Produire plus avec moins : Pourquoi ?, *Théma Essentiel – Transition*, CGDD

McCarthy, A., Dellink, R., Bibas, R., 2018, The Macroeconomics of the Circular Economy Transition : A Critical Review of Modelling Approaches, *OECD Environment Working Papers*, no. 130, Éditions OCDE, Paris

Schandl, H., Fischer-Kowalski, M., West, J. et al., 2016, Global Material Flows and Resource Productivity, Assessment Report for the UNEP International Resource Panel

Schoer, K., Wood, R., Arto, I., Weinzettel, J., 2013, Estimating Raw Material Equivalents on a macro-level : Comparison of multi-regional input output analysis and hybrid LCA-IOA. *Environmental Science & Technology* 47, 14282-14289

Wiebe, K., Yamano, N., 2016, Estimating CO2 Emissions Embodied in Final Demand and Trade Using the OECD ICIO 2015: Methodology and Results, *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, 2016/05, OECD Publishing

WU 2016, Calculations based on Exiobase 3.1 in the context of the UBA project 'Scientific conception and elaboration of a report « Resource Use in Germany », Université d'économie et des affaires de Vienne

Bibliographie

Annexes



Annexes

Annexe 1 - Correspondance entre les produits au niveau 138 et leur désagrégation au niveau 151, et entre les produits au niveau 151 et les 51 matières distinguées

138 produits			151 produits		51 matières		
Code CN	Code CPA	Libellé simplifié	Code RME	Code CPF Rév. 2.1	Libellé	Code MF	Libellé
A01Z	A01	Agriculture et chasse	RME1	01.11.1-5, 01.12	Céréales (blé, maïs, orge, seigle, avoine, sorgho, millet, paille) et riz (non décortiqué)	111	Céréales
			RME2	01.11.6, 01.13 (excl. 01.13.5, 01.13.7)	Légumes à cosse, verts, légumes et melons, racines et tubercules, hors à amidon et betteraves à sucre	1211	Paille
			RME3	01.11.7	Légumes à cosse, secs	117	Légumes
			RME4	01.11.8, 01.11.9, 01.26.1	Fèves de soja et arachides, autres oléagineux, olives	114	Légumineuses
			RME5	01.13.5	Racines et tubercules à amidon (pommes de terre...)	116	Cultures oléagineuses
			RME6	01.13.7, 01.14	Betteraves à sucre et cannes à sucre	112	Racines, tubercules
						113	Cultures sucrières
						1212	Autres résidus de cultures (betterave à sucre et fourragère, etc.)
			RME7	01.15	Tabac brut	1110	Autres céréales (tabac)
			RME8	01.16	Plantes textiles (coton, jute, lin...)	119	Fibres
			RME9	01.19.1, 01.11.5	Plantes fourragères, paille	122	Cultures fourragères et biomasse pâturée
			RME10	01.2 (excl. 01.25.3, 01.26.1, 01.27, 01.28, 01.29)	Cultures permanentes (raisin, fruits tropicaux, agrumes, fruits à pépin, autres fruits d'arbres hors à coque, fruits oléagineux hors olives,	118	Fruits
			RME11	01.19.2, 01.19.3, 01.25.3, 01.27, 01.28, 01.29, 01.3	Fleurs, fruits à coque, plantes à boissons, plantes à épices, autres cultures permanentes	115	Noix
						1110	Autres céréales (hors tabac)
			RME12	01.41.1, 01.42	Vaches laitières, autres bovins		
			RME13	01.41.2	Lait de vache		
			RME14	01.46	Porcins		
			RME15	01.43, 01.44, 01.45, 01.49	Chevaux, chameaux, ovins et caprins et leur lait, autres animaux d'élevage	143	Chasse et cueillette
			RME16	01.47.1	Volailles		
			RME17	01.47.2	Oeufs		
			RME18	01.9	Farm manure and other agricultural waste products		
			RME19	01.6	Services annexes à l'agriculture et à l'élevage		
A02Z	A02	Sylviculture	RME20	02	Sylviculture	131	Bois (ronds industriels)
						132	Bois de chauffage et autre extraction
A03Z	A03	Pêche	RME021	03	Pêche	141	Captures de poisson sauvage
						142	Autres animaux/plantes aquatiques
B05Z	B05	Extraction de houille et lignite	RME022-23	05.1-2	Houille et lignite	412	Houille
						411	Lignite
B06Z	B06	Extraction d'hydrocarbures	RME024-25	06.10.1-2	Huiles brutes de pétrole et sables et schistes bitumeux	421	Pétrole brut, condensat et liquides de gaz naturel (LGN)
						413	Schistes et sables bitumeux
			RME026	06.2	Gaz naturel	422	Gaz naturel
			RME027	07.1	Minerais de fer	21	Fer
			RME029	07.29.11	Minerais de cuivre	228	Uranium et thorium
			RME030	07.29.12	Minerais de nickel	221	Cuivre
			RME031	07.29.13	Minerais d'aluminium	222	Nickel
			RME032-34	07.29.14	Minerais de métaux précieux : or, argent, platine	227	Bauxite et autre aluminium
						2261	Or
						2262	Argent
						2263	Platine
			RME035-37	07.29.15	Minerais de plomb, zinc et étain	223	Plomb
						224	Zinc
						225	Étain
			RME038-44	07.29.19	Autres minerais métalliques, dont tungstène, tantale, magnésium, ...	2291	Autres métaux non ferreux : tungstène
						2292	Autres métaux non ferreux : tantale
						2293	Autres métaux non ferreux : magnésium
						2294	Autres métaux non ferreux : titane
						2295	Autres métaux non ferreux : manganèse
						2296	Autres métaux non ferreux : chrome
						2297	Autres métaux non ferreux
B08Z	B08	Autres industries extractives	RME045-48	08.11.1-4	Pierres ornementales (marbre, granit), calcaire et gypse, craie et dolomie crue, ardoise	31	Marbre, granit, grès, porphyre, basalte, autres pierres ornementales ou de construction (sauf ardoise)
						36	Pierre calcaire et gypse
						32	Craie et dolomie
						33	Ardoise
			RME049-51	08.12.1-2	Sables et granulats, mélanges, argiles et kaolin	38	Sable et gravier
						37	Argiles et kaolin
			RME052	08.91	Minéraux chimiques et engrais minéraux	34	Minéraux pour l'industrie chimique et engrais naturels
			RME053	08.92	Tourbe	414	Tourbe
			RME054	08.93	Sel	35	Sel
			RME055	08.99	Autres produits des industries extractives	39	Autres minerais non métalliques n.c.a.
			RME056	09	Services de soutien aux industries extractives		
B09Z	B09		RME057	10.1	Viande		
C10A	C10.1		RME058	10.2	Préparation à base de poisson et produits de la pêche		
C10B	C10.2		RME059	10.3	Produits à base de fruits et légumes		
C10C	C10.3		RME060	10.4	Huiles et graisses végétales et animales		
C10D	C10.4		RME061	10.5	Produits laitiers		
C10E	C10.5		RME062	10.6	Produits du travail des grains		
C10F	C10.6		RME063	10.7, 10.8	Produits de boulangerie-pâtisserie et autres alimentaires		
C10G-H	C10.7-8		RME064	10.91	Aliments pour animaux de ferme		
C10K	C10.9	Aliments pour animaux	RME065	10.92	Aliments pour animaux de compagnie		
C11Z	C11		RME066	11	Boissons		
C12Z	C12		RME067	12	Produits à base tabac		
C13Z	C13		RME068	13	Produits de l'industrie textile		
C14Z	C14		RME069	14	Articles d'habillement		
C15Z	C15		RME070	15	Cuir et articles en cuir		
C16Z	C18		RME071	16	Bois, articles en bois et en liège, à l'exclusion des meubles; articles de vannerie et de sparterie		
C17A	C17.1		RME072	17.1	Pâte à papier, papier et carton		
C17B	C17.2		RME073	17.2	Articles en papier ou en carton		
C18Z	C18		RME074	18	Travaux d'impression et de reproduction		
C19Z	C19	Cokéfaction et raffinage	RME075	19.1	Produits de la cokéfaction		
			RME076	19.2	Produits du raffinage du pétrole		

Annexes

138 produits				Code CPF Rév. 2.1		151 produits		51 matières	
Code C.N	Code C.P.A	Libellé simplifié	Code RME	20.1, exc1 20.15, 20.16)	Libellé	Code MF	Libellé		
C20A	C20.1-3	Produits chimiques de base	RME077	20.1	Produits chimiques de base (hors engrais et plastiques)				
			RME078	20.15	Engrais et composés azotés				
			RME079	20.16	Matères plastiques				
			RME080	20.2	Pesticides et autres produits agrochimiques				
			RME081	20.3	Peintures, vernis et revêtements similaires, encres d'imprimerie et mastics				
G20B	C20.4		RME082	20.4	Savons, produits d'entretien et parfums				
C20C	C20.5-8	Autres prod. chim. et fibres	RME083	20.5	Autres produits chimiques				
			RME084	20.6	Fibres artificielles ou synthétiques				
C21Z	C21		RME085	21	Produits pharmaceutiques				
C22A	C22.1		RME086	22.1	Produits en caoutchouc				
C22B	C22.2		RME087	22.2	Produits en plastique				
C23A	C23.1		RME088	23.1	Verre et articles en verre				
C23B	C23.2-9	Autres produits minéraux non métalliques hors verre	RME089	23.2	Produits réfractaires				
			RME090	23.3	Matériaux de construction en terre cuite				
			RME091	23.4	Autres produits en porcelaine et céramique				
			RME092	23.5	Ciment, chaux et plâtre				
			RME093	23.6	Ouvrages en béton, en ciment ou en plâtre				
			RME094	23.7	Pierre taillée, façonnée et finie				
			RME095	23.9	Autres produits minéraux non métalliques				
C24A	C24.1-3		RME096	24.1-3	Produits sidérurgiques, tubes et autres produits en acier				
C24B	C24.4	Métaux précieux et d'autres métaux non ferreux	RME097-99	24.41	Métaux précieux, dont or, platine				
			RME100	24.42	Aluminium				
			RME101-103	24.43	Plomb, zinc, étain				
			RME104	24.44	Cuivre				
			RME105-112	24.45	Autres métaux non ferreux				
C24C	C24.5	Fonderie	RME113	24.46	Combustibles nucléaires traités				
			RME114	24.51	Travaux de fonderie de fonte				
			RME115	24.52	Travaux de fonderie d'acier				
			RME116	24.53	Travaux de fonderie de métaux légers				
			RME117	24.54	Travaux de fonderie d'autres métaux non ferreux				
C25A	C25.1-2	Éléments métal pour constr.	RME118	25.1	Éléments en métal pour la construction				
C25C	C25.3-5		RME119	25.2	Réservoirs, citernes et conteneurs métalliques				
			RME120	25.3	Générateurs de vapeur, à l'exclusion des chaudières pour chauffage central				
C25D	C25.6	Forge, traitement des métaux	RME121	25.5	Produits de la forge, emboutissage... ; métallurgie des poudres				
			RME122	25.6	Traitement et revêtement des métaux ; usinage				
C25E-B	C25.4, 7, 9		RME123-124	25.4, 25.7, 25.9	Coutellerie, outillage, armes et munitions				
C26A-G	C26		RME125	26	Produits informatiques, électroniques et optiques				
C27A-B	C27		RME126	26	Équipements électriques				
C28A-D	C28		RME127	28	Machines et équipements n.c.a.				
C29A-B	C29		RME128	29	Véhicules automobiles, remorques et semi-remorques				
C30A	C30.1		RME129	30.1	Navires et bateaux				
C30B	C30.2		RME130	30.2	Locomotives et autre matériel ferroviaire roulant				
C30C	C30.3		RME131	30.3	Aéronefs et engins spatiaux				
C30D-E	C30.4-9		RME132	30.4, 30.9	Véhicules militaires de combat, matériels de transport n.c.a.				
C31	C31		RME133	31	Musées				
C32A	C32.1		RME134	32.1	Articles de joaillerie et bijouterie et articles similaires				
C32B	C32.2		RME135	32.2	Instruments de musique				
C32C	C32.3-9	Articles de sport, jeux et jouets et autres prod. manuf.	RME136	32.3	Articles de sport				
			RME137	32.4	Jeux et jouets				
			RME138	32.5	Instruments et fournitures à usage médical et dentaire				
			RME139	32.9	Produits manufacturés n.c.a.				
C33Z	C33		RME140	33	Réparation et installation de machines et d'équipements				
D35A	C35.1		RME141	35.1	Électricité, transport et distribution d'électricité				
D35B	C35.2-3	Prod. et distrib. gaz, vapeur et air	RME142	35.2	Gaz manuf., distribution de combustibles gazeux par conduites				
			RME143	35.3	Production et distribution de vapeur et d'air conditionné				
E36Z	E36		RME144	36	Eau				
E37Z-39Z	E37-39		RME145	37, 38, 39	Déchets				
F41A-F43Z	F		RME146	41, 42, 43	Construction				
G44Z	G44		RME147	44	Commerce automobile				
G45Z	G45		RME148	45	Commerce de gros				
G47Z	G47		RME149	47	Commerce de détail				
H49A-C	H49		RME150	49	Transports terrestres				
H50Z	H50		RME151	50	Transports par eau				
H51Z	H51		RME152	51	Transports aériens				
H52Z	H52		RME153	52	Entreposage				
H53Z	H53		RME154	53	Poste				
I55Z-56Z	I		RME155	55, 56	Hébergement et restauration				
J58Z	J58		RME156	58	Édition				
J59Z-80Z	J59-60		RME157	59, 60	Films, musique				
J61Z	J61		RME158	61	Télécommunications				
J62Z-83Z	J62-63		RME159	62, 63	Informatique				
K64H-64S	K64		RME160	64	Finance				
K65Z	K65		RME161	65	Assurance				
K66Z	K66		RME162	66	Services auxiliaires fin et assur				
L68A-LR	L68		RME163	68	Immobiliers				
M69Z-70Z	M69-70		RME164	69, 70	Juridique et comptabilité				
M71Z	M71		RME165	71	Architecture et ingénierie				
M72M-N	M72		RME166	72	R&D				
M73Z	M73		RME167	73	Publicité				
M74Z-75Z	M74-75		RME168	74, 75	Autres services spécialisés				
N77Z	N77		RME169	77	Location				
N78Z	N78		RME170	78	Services liés à l'emploi				
N79Z	N79		RME171	79	Voyages				
N80Z-82Z	N80-82		RME172	80, 81, 82	Sécurité				
O84Z	O		RME173	84	Administrations publiques				
P85M-N	P		RME174	85	Enseignement				
Q86M-N	Q86		RME175	86	Santé				
Q87-88	Q87-88		RME176	87, 88	Social				
R89-91-92	R89-92		RME177	90, 91, 92	Arts				
R93M-N	R93		RME178	93	Sports et loisirs				
S94M-N	S94		RME179	94	Associations				
S95Z	S95		RME180	95	Réparation				
S96Z	S96		RME181	96	Autres services personnels				
T97Z	T		RME182	97, 98	Services des ménages en tant qu'employeurs				

Les produits identifiés dans les figures 5 à 8 et dans l'annexe 4 reposent sur les agrégations suivantes des produits au niveau 138 :

Produits	Codes RME	Codes RME
Agriculture	1-21	Construction 146
Ind. extractives	22-56	Commerce 147-149
Produits manuf. : biomasse	57-74	Transport 150-154
Produits manuf. : comb. fossiles	75-87	Héberg. et restau. 155
Produits manuf. : métaux et minéraux	88-139	Services financiers 160-162
Énergie	141-143	Autres serv. marchands 156-159 ; 163-172 ; 177-182
Autres prod. manuf.	140 ; 144-145	Services non marchands 173-176

Annexe 2 - Désagrégation du tableau entrées-sorties symétrique de la France du niveau 64 au niveau 151.

On présente ici les différentes étapes permettant d'obtenir le tableau entrées-sorties symétriques (TESS) de la France au niveau 151 produits à partir du TESS disponible au niveau 64 produits. Sauf mention contraire, toutes les données sont relatives à l'année 2013.

Détermination des équilibres ressources-emplois au niveau des 152 produits

Il s'agit dans un premier temps de déterminer, pour chacun des 151 produits n'existant pas dans le TESS à 138 produits, le montant des principaux postes de l'équilibre ressources-emploi : production, consommation intermédiaire de la branche, importations et exportations. Il est alors nécessaire de recourir à diverses bases de données, selon une méthodologie présentée ci-dessous.

Cas des produits de l'agriculture et de la chasse (19 produits)

Les montants de production sont calculés à partir du compte satellite de l'agriculture⁴⁹ (valeur de la production au prix de base). Celui-ci est utilisé comme clé de répartition pour désagréger la production « de l'agriculture et de la chasse » (produit du TESS à 138) en celles de ses 19 sous-produits.

Les montants d'importations et d'exportations sont calculés à partir de la base Comext⁵⁰ d'Eurostat, base de statistiques détaillées du commerce international de biens. Les données de Comext sont utilisées comme clé de répartition de façon à assurer la cohérence avec le TESS à 138 produits.

En revanche, il n'a pas été possible compte tenu des données disponibles de renseigner les consommations intermédiaires associées aux produits de l'agriculture et de la chasse.

Cas des produits des industries extractives (15 produits)

Les montants de production et de consommation intermédiaires sont calculés à partir des statistiques annuelles détaillées de l'industrie publiées par Eurostat (SBS⁵¹). Celles-ci fournissent en effet la « valeur de la production » et les « achats de biens et services » au niveau des industries extractives selon la classification NACE Rev2, hormis pour le détail des hydrocarbures et pour les minerais (données qualifiées de confidentielles). Pour pallier ces manques, d'autres sources sont utilisées :

- concernant les hydrocarbures, la source Pégase du service de la donnée et des études statistiques (SDES) du ministère de la transition écologique et solidaire fournit des données de production sur le gaz, tandis que les consommations intermédiaires associées sont imputées au prorata de celles associées à la production d'hydrocarbures. Par ailleurs, l'hypothèse est faite d'une absence de production (et par conséquent de

⁴⁹ http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=aact_eaa01&lang=en, fichier

⁵⁰ <https://ec.europa.eu/eurostat/fr/web/international-trade-in-goods/data/focus-on-comext>

⁵¹ <https://data.europa.eu/euodp/fr/data/dataset/hVEPsB0XldBfx9oXmOPg>, fichier « sbs_na_ind_r2 »

Annexes

consommations intermédiaires) de houilles et de lignite. Les montants relatifs au pétrole s'en déduisent par solde ;

- concernant les minerais, l'hypothèse est faite d'une absence de production concernant plusieurs minerais métalliques. Les autres s'en déduisent par solde, au prorata des montants de production fournis par la base ProdCom d'Eurostat, statistiques détaillées de la production de marchandises manufacturées⁵².

L'ensemble de ces données sont utilisées comme clé de répartition de façon à assurer la cohérence avec le TESS à 138 produits.

Enfin, les montants d'importations et d'exportations sont calculés à partir de la base Comext d'Eurostat, utilisées comme clé de répartition pour assurer la cohérence avec le TESS à 138 produits.

Code RME	Code CPF Rév. 2.1	Code CPA rev2	production		consommations intermédiaires	
Total des industries extractives			SBS (V12120)		SBS (V13110)	
22-23	05	Houille et lignite	Comptes nationaux (TESS 138)		Comptes nationaux (TESS 138)	
Total des extractions d'hydrocarbure			SBS (V12120)		SBS (V13110)	
24-25	06.1	Pétrole brut	par solde	ProdCom (V12120)	par solde	ProdCom (V13110)
26	06.2	Gaz naturel	Pégase		Imputées	
Total des extractions de minerais métalliques			par solde		par solde	
27	07.1	Minerais de fer	0 (hyp.)		0 (hyp.)	
29	07.29.11	Minerais de cuivre	0 (hyp.)		0 (hyp.)	
30	07.29.12	Minerais de nickel	0 (hyp.)		0 (hyp.)	
31	07.29.13	Minerais d'aluminium	0 (hyp.)		0 (hyp.)	
32-34	07.29.14	Minerais de métaux précieux	Imputée via ProdCom (PRODVAL)		Imputées	
35-37	07.29.15	Minerais de plomb, de zinc et d'étain	0 (hyp.)		0 (hyp.)	
38-44	07.29.19	Autres minerais métalliques n.c.a.	Imputée via ProdCom (PRODVAL)		Imputées	
45-48	08.11	Pierres ornementales ou de construction, calcaire industriel, gypse, craie et ardoise	SBS (V12120)		SBS (V13110)	
49-51	08.12	Sables et granulats, argiles et kaolin	SBS (V12120)		SBS (V13110)	
52	08.91	Minéraux chimiques et engrais minéraux	SBS (V12120)		SBS (V13110)	
53	08.92	Tourbe	SBS (V12120)		SBS (V13110)	
54	08.93	Sel et chlorure de sodium pur; eau de mer	SBS (V12120)		SBS (V13110)	

⁵² <https://ec.europa.eu/eurostat/fr/web/prodcom>, fichier « DS-066341 »

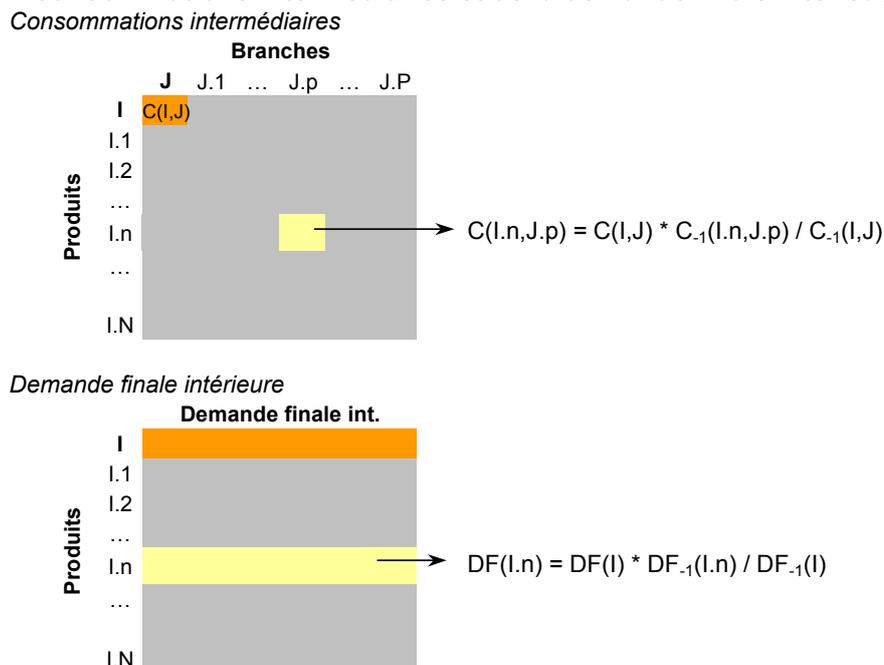
Imputations des montants manquants du TESS à 151 produits

Les montants manquants du TESS à 151 produits sont déterminés par imputation en utilisant le TESS à 151 produits de l'Union européenne élaboré par Eurostat. Les imputations sont effectuées selon un processus itératif portant successivement sur les lignes du TESS puis sur les colonnes (algorithme RAS). Ce processus se cale sur la méthodologie mise en oeuvre par Eurostat dans l'élaboration du TESS à 151 produits de l'Union européenne, celui-ci s'inspirant notamment de la structure du TESS désagrégé de l'Allemagne.

2.1 Itération selon les lignes du TESS

À l'itération 0, les montants manquants du TESS de la France sont imputés en leur appliquant la même structure que celle du TESS de l'Union européenne (figure 2). Cette étape conduit à un TESS de la France dont les lignes ne sont pas équilibrées : pour un produit donné n'existant pas au niveau 138, la somme de la demande intérieure finale en ce produit (consommations intermédiaires imputées en ce produit et demande finale intérieure imputée) n'égalise pas la somme de la production et des importations nettes de ce produit (figure 3).

Figure 2 - Imputations effectuées dans le TESS à 151 produits au niveau des consommations intermédiaires et de la demande finale intérieure

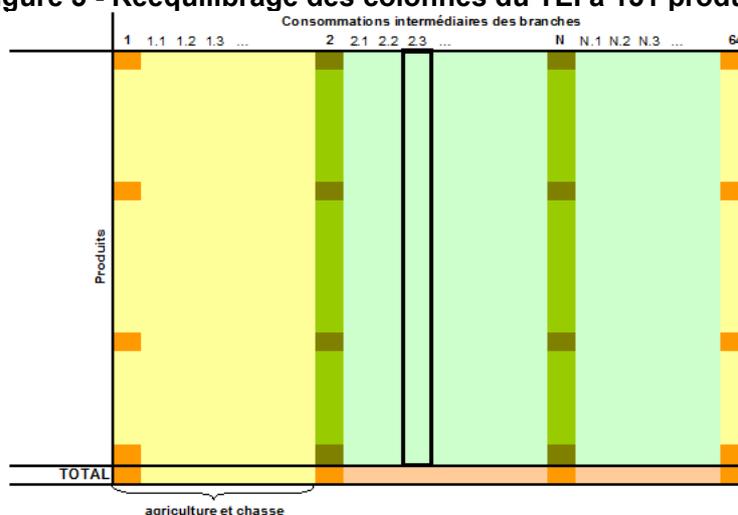


Note : I et J désignent des produits/branches existant dans le TESS à 64 produits, désagrégés selon les sous-produits respectifs I.1,...I.N et J.1...J.P au niveau du TESS à 151 produits. C(I,J) et C(I.n,J.p) désignent respectivement les consommations intermédiaires de la branche J en produit I et celle de la branche J.p en produit I.n. DF(I) et C(I.n) désignent respectivement la demande finale intérieure en produit I et celle en produit I.n. L'indice -1 désigne ces mêmes consommations intermédiaires dans le TESS à 151 produits utilisé comme référence de l'imputation, i.e celui de l'itération précédente.

Itération selon les colonnes du TEI

À l'itération 0, les consommations intermédiaires imputées sont modifiées proportionnellement en colonne de façon à rétablir l'équilibre au niveau des colonnes du TEI. Ce rééquilibrage ne porte que sur les branches dont on dispose le total des consommations intermédiaires, c'est-à-dire hors agriculture et chasse. En revanche, l'agrégation au niveau 138 produits de ce TESS rééquilibré le font différer de celui de la France (figure 5).

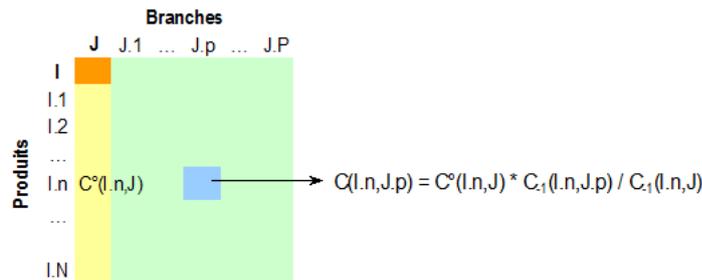
Figure 5 - Rééquilibrage des colonnes du TEI à 151 produits



Note : Cf. figure 4 pour la signification des cases orange foncé et jaune clair. Les cases vert clair désignent celles faisant l'objet d'un rééquilibrage en colonne. Les cases vert foncé et kaki désignent les totaux au niveau 64 produits résultant des montants rééquilibrés, et qui diffèrent dès lors du TESS à 138 produits de la France. Les produits 1, 1.1, etc. désignent l'agriculture et la chasse et ne font pas l'objet d'un rééquilibrage en colonne car le total en colonne des consommations intermédiaires résulte de l'imputation.

À l'itération 1, pour chaque sous-produit (lignes du TEI), les consommations intermédiaires par branches sont modifiées de façon à respecter les totaux agrégés issus du TESS de la partie 2.1, et en appliquant la structure obtenue à l'étape précédente (figure 6). Le TEI obtenu est cohérent en ligne avec le TEI obtenu à la partie 2.1 mais à nouveau déséquilibré en colonne au niveau. L'itération suivante reprend donc l'itération 0 sur la base de ce nouveau TEI.

Figure 6 - Rééquilibrage des lignes du TEI à 151 produits



Note : I et J désigne des produits/branches existant dans le TESS à 138 produits, désagrégés selon les sous-produits respectifs I.1,...I.N et J.1...J.P au niveau du TESS à 151 produits. C(I.n,J,p) désigne les consommations intermédiaires de la branche J.p en produit I.n. L'exposant ° désigne le TESS à 151 produits obtenu à la partie 2.1 (figure 5) et l'indice -1 désigne le TESS à 151 produits de l'itération précédente.

Ce processus converge *in fine* vers un TEI à 151 produits équilibré en colonne et cohérent en lignes avec le TEI issu de la partie 2.1⁵⁴. Ce TESS s'insère dans le TESS de la partie 2.1 pour donner un TESS complet au niveau de 151 produits, équilibré en lignes et en colonnes (figure 7).

Figure 7 - Structure du TESS à 151 produits à la fin des itérations sur les colonnes

Produits	TOTAL			Consommations intermédiaires des branches											TOTAL							
	Production	Importations	RESSOURCES	1	1.1	1.2	1.3	...	2	2.1	2.2	2.3	...	N	N.1	N.2	N.3	...	64	Demande finale intérieure	Exportations	EMPLOIS
1	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé
1.1	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé
1.2	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé
1.3	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé
...	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé
2	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé
2.1	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé
2.2	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé
2.3	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé
...	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé
N	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé
N.1	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé
N.2	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé
N.3	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé
...	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé
64	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé
TOTAL	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé	Orange foncé

Note : les cases orange foncé représentent les postes comptables associées au TESS à 138 produits. Les cases orange clair représentent les postes associés aux produits n'existant pas dans le TESS à 138 produits et dont les montants ont été calculés via des sources externes à la partie 1. Les cases jaune clair représentent les montants imputés par itérations sur les lignes à la partie 2.1 et les totaux qui en résultent. Les cases bleu clair représentent les montants imputés par itérations sur les colonnes à la partie 2.2.

⁵⁴ On a ainsi fixé un seuil d'erreur à 1 M€ en dessous duquel on a considéré que les équilibres colonne étaient respectés. Ceci conduit à effectuer environ 90 itérations.

Annexes

Besoins en matières (RM) en milliers de tonnes

	Agriculture	Ind extractives	Agro-alim	Produits fossiles	Produits minéraux	Energie	Autres produits manuf.	Construction	Commerce	Transport	Hébergement et restaur.	Services financiers	Autres services marchands	Services non marchands	TOTAL	
Céréales	33995	7	36365	1770	1427	60	141	614	1379	305	3279	127	2084	2174	83729	
Racines, tubercules	MF11	7396	0	73	81	2	5	17	17	10	76	3	39	20	7788	
Cultures sucrières	MF12	4092	5	13906	1299	69	172	584	1980	423	12133	176	2316	2753	40227	
Légumineuses	MF14	333	0	428	39	1	3	11	25	7	64	2	34	31	1009	
Noix	MF15	143	0	48	13	0	1	5	5	2	12	1	9	6	259	
Cultures oléagineuses	MF16	2186	3	7512	1115	37	72	340	575	138	1990	56	977	768	16386	
Légumes	MF17	5495	0	1831	73	141	7	12	55	82	222	14	182	187	8334	
Fruits	MF18	6905	0	4318	84	111	9	68	120	40	476	14	203	177	12539	
Flores	MF19	25	0	308	49	83	19	42	46	7	8	3	44	33	674	
Autres céréales (tabac)	MF110	750	0	288	74	2	8	28	28	13	61	5	55	36	1436	
Paille	MF121	8991	2	10876	433	499	18	46	193	414	96	34	571	639	23669	
Autres résidus de culture	MF122	117	0	1232	69	127	4	37	60	18	76	6	83	85	1922	
Cultures fourragères et biomasse pâturée	MF122	22517	5	60668	1025	1756	70	723	1968	444	4796	163	2578	4095	108402	
Bois (ronds industriels)	MF131	13073	14	5120	1220	4478	112	287	5014	1086	288	171	2411	1434	34995	
Bois de chauffage et autre extr.	MF132	30300	4	1289	316	1144	29	73	1218	275	73	72	43	608	8823	
Captures de poisson sauvage	MF141	263	0	458	14	17	2	34	26	6	163	3	38	29	1057	
Autres animaux/plantes aqua.	MF142	33	0	52	2	2	0	4	3	1	20	0	4	3	126	
Chasse et cueillette	MF143	10	0	27	1	4	0	1	2	0	0	0	2	2	52	
FER	MF21	263	729	1981	2353	35490	367	2348	1742	751	286	198	3025	1427	58159	
COBRE	MF221	161	39	1435	2223	30361	220	1289	1409	415	205	153	2448	1175	50264	
NICKEL	MF222	26	5	197	196	3566	29	241	636	166	58	17	290	146	5602	
POMB	MF223	5	1	49	132	367	9	20	125	29	6	3	54	24	835	
ZINC	MF224	20	394	148	284	3232	28	170	1772	135	49	22	18	255	6676	
ETAIN	MF225	17	7	137	189	2062	21	112	909	101	39	18	12	206	3936	
OR	MF226	67	6	674	1472	11897	104	323	793	441	151	79	48	763	17231	
ARGENT	MF226	1	1	7	16	314	3	11	5	2	1	1	9	4	375	
PLATINE	MF226	2	0	20	44	1660	3	11	30	4	2	1	22	16	1519	
BAVITE	MF227	99	20	939	2588	6689	155	398	1589	537	168	104	52	776	14532	
URANIUM et THORIUM	MF228	2	0	34	44	95	11	5	23	14	7	3	2	21	272	
Autres mét. non fer. : tungstène	MF229	7	2	56	172	513	12	33	106	35	7	4	54	29	1042	
Autres mét. non fer. : tantale	MF229	2	1	17	17	374	3	26	66	17	5	3	2	47	596	
Autres mét. non fer. : magnésium	MF229	1	1	6	6	133	1	9	23	6	1	1	14	5	209	
Autres mét. non fer. : titane	MF229	69	288	751	3550	4557	259	354	1057	446	166	94	43	664	12707	
Autres mét. non fer. : manganèse	MF229	8	39	59	181	641	13	47	132	39	14	4	64	34	1281	
Autres mét. non fer. : chrome	MF229	3	4	20	19	431	4	25	80	20	8	3	2	38	673	
Autres métaux non ferreux	MF229	57	150	477	833	8006	84	453	1631	139	70	46	843	354	13572	
MARBRE, GRANIT, autres pierres ornement.	MF31	242	389	2049	1105	4707	178	288	4522	1027	335	103	1474	739	17541	
CRAIE et DOLOMITE	MF32	174	407	1529	389	2576	56	220	1263	383	114	322	49	656	372	8491
ARDOISE	MF33	3	6	22	7	23	2	23	6	2	5	1	9	6	117	
MINÉRAUX pour ind. chim. et engrais	MF34	1076	671	2159	4039	903	110	79	374	421	95	263	34	577	400	11201
SEL	MF35	765	1319	1916	4328	1141	55	120	722	360	104	242	55	769	427	13233
Pierre calcaire et gypse	MF36	1069	1677	8653	8696	10287	672	921	7463	2235	788	1680	255	3353	49600	
Agnès et kaolin	MF37	107	345	1135	881	1689	59	144	3073	399	105	176	56	695	445	9211
Sable et gravier	MF38	4413	21491	39366	29684	61602	2407	6876	173711	15486	4242	8913	2169	26835	418633	
Autres min. non métal	MF39	223	936	745	964	1892	54	100	1006	238	74	116	24	371	6899	
Lignite	MF411	295	66	3660	6625	3229	539	2379	1608	1275	359	183	2317	1191	30865	
Houille	MF412	534	979	5272	10060	14660	1225	4692	2750	1821	621	283	3784	2242	58008	
Schistes et sables bitumeux	MF413	15	2	166	419	344	41	103	87	108	18	9	108	60	1500	
Tourbe	MF414	288	13	1330	990	351	38	135	146	37	135	13	203	156	3864	
Pétrole brut, condensat et GLN	MF421	1969	356	11605	76224	15327	2102	1950	11292	19653	1849	979	9740	6760	168722	
MF422	648	3799	6762	12730	10693	838	3860	3045	1919	1034	1034	349	4357	4310	73797	
MF422	121984	34184	245379	178330	262451	326600	19834	2426549	52771	34579	44631	5598	15811	147062	147062	
Biomasse	109353	41	16200	707	1934	424	1053	8989	7101	1903	24595	821	12238	2825	351127	
Métaux	888	1688	7007	14341	110078	1563	5784	24971	5586	2003	941	605	9594	4723	184862	
Min non mét.	27241	51476	43983	84220	3591	8750	192196	20566	5860	12080	2145	34721	26343	534159		
Comb foss	3750	5215	28696	107668	55719	2732	4241	20532	18928	24814	4015	1626	20508	14721	337251	

Annexes

Empreinte matières (RMC) en milliers de tonnes

	Agriculture	Ind. extractives	Agro-alim	Produits fossiles	Produits manufs	Energie	Autres produits manuf	Construction	Commerce	Transport	Héberg. et restaur.	Services financiers	Autres services marchands	Services non marchands	TOTAL
	505	1	23316	614	602	55	114	614	1016	118	3279	107	1703	2169	34214
Céréales	MF111	5692	0	45	15	34	2	4	17	5	76	2	32	20	5961
Racines, tubercules	MF112	362	1	6565	268	63	146	584	1118	163	12133	147	1873	2746	26680
Cultures sucrières	MF113	12	0	255	11	16	1	1	18	3	64	2	28	31	455
Légumineuse	MF114	125	0	29	2	6	0	5	5	1	12	1	6	6	198
Noix	MF115	322	1	5192	227	34	58	340	413	61	1990	47	813	766	10515
Cultures oléagineuses	MF116	3568	0	1038	26	55	9	55	57	14	222	12	131	187	5441
Légumes	MF117	4948	0	2603	26	43	8	11	68	85	17	476	159	177	8631
Fruits	MF118	2	0	118	10	41	1	16	42	3	8	2	39	33	347
Fibres	MF119	628	0	179	13	37	2	7	20	6	61	4	39	36	1061
Autres céréales (tabac)	MF110	352	0	7360	139	213	16	37	301	38	869	29	472	637	10647
Paille	MF121	80	0	924	22	54	3	7	42	8	76	5	66	85	1409
Autres résidus de culture	MF122	14877	1	53948	344	747	64	157	723	1440	4796	136	2094	4087	83604
Cultures fourragères et biomasse péluée	MF122	12001	4	2077	377	2363	103	228	5014	819	128	288	143	2034	27012
Bois (fonds industriels)	MF131	2779	1	523	97	602	26	58	1218	208	33	72	36	512	350
Bois de chauffage et autre extr.	MF132	165	0	371	4	7	3	34	19	2	163	2	32	29	834
Captures de poisson sauvage	MF141	21	0	42	0	1	0	0	2	0	20	0	4	3	99
Autres animaux/plantes aqua.	MF142	7	0	17	1	2	0	1	1	0	1	0	2	2	35
Chasse et cueillette	MF143	140	569	1266	870	9524	359	1908	1333	359	206	166	2441	1425	27824
Fer	MF21	85	5	886	719	7091	201	1017	1080	197	205	127	2078	1172	23682
Cuivre	MF221	14	1	128	64	1020	27	194	636	127	29	14	244	146	2672
Nickel	MF222	3	0	30	34	109	8	16	125	22	6	3	46	24	431
Pomb	MF223	10	0	95	100	666	25	137	1772	101	23	15	218	140	3325
Zinc	MF224	9	1	85	69	507	19	90	909	76	19	18	110	176	2084
Étain	MF225	36	3	412	375	2971	95	249	793	328	72	39	640	410	6903
Or	MF226	0	0	4	4	47	1	11	1	1	1	0	8	4	89
Argent	MF2262	1	0	12	12	224	3	9	30	10	2	1	19	16	342
Platine	MF2263	51	2	582	616	2097	141	335	1589	411	104	43	643	419	7113
Bauxite	MF227	4	0	20	12	34	10	4	23	10	4	3	1	17	10
Uranium et thorium	MF228	4	0	35	39	149	11	27	106	27	6	7	3	45	486
Autres mét. non fer. : tungstène	MF2291	0	0	11	6	107	2	21	66	13	2	2	41	16	291
Autres mét. non fer. : tantale	MF2292	0	0	4	2	40	1	7	23	5	1	1	12	5	102
Autres mét. non fer. : magnésium	MF2293	36	2	457	679	1321	243	286	1057	340	79	94	560	399	5586
Autres mét. non fer. : titane	MF2294	4	0	37	41	172	11	38	132	29	6	6	54	34	570
Autres mét. non fer. : manganèse	MF2295	1	0	13	8	120	3	21	80	15	4	3	32	16	318
Autres mét. non fer. : chrome	MF2296	30	2	303	226	2413	77	368	1631	329	65	70	38	721	3625
Autres métaux non ferreux	MF2297	111	41	1387	381	1539	163	237	4522	795	382	84	1223	738	11747
Marbre, granit, autres pierres ornement.	MF31	72	34	990	133	826	52	184	1263	300	53	322	40	533	371
Crete et dolomite	MF32	1	1	15	2	9	1	2	23	4	1	5	1	8	79
Andose	MF33	335	2	1485	904	365	99	66	374	304	263	28	474	399	5143
Minéraux pour ind. chim. et engrais	MF34	433	3	1283	727	465	50	99	722	266	45	242	46	607	5414
Sel	MF35	466	148	5771	1807	3869	611	771	7463	1713	1660	210	2784	2156	29807
Pierre calcaire et gypse	MF36	52	90	651	159	578	54	117	3073	311	49	176	47	577	445
Argiles et kaolin	MF37	2411	5611	26807	4686	21625	2201	5551	173711	12038	2040	1817	22170	21513	310794
Sable et gravier	MF38	77	53	900	226	826	49	82	1006	179	35	116	20	307	3742
Autres min. non métal.	MF39	145	35	2155	2311	1032	441	1179	646	359	152	1884	1189	17281	
Lignite	MF411	260	838	3289	4189	6318	4027	1004	4692	2040	894	621	243	3103	2238
Houille	MF412	8	1	100	183	132	37	17	103	62	54	18	8	88	870
Schistes et sables bitumeux	MF413	93	0	957	176	142	34	23	135	106	17	135	11	163	156
Tourbe	MF414	207	7551	43090	5931	1930	1289	9365	7766	9698	1849	819	7942	6750	105099
Pétrole brut, condensat et GLN	MF421	283	19	4166	4059	4033	19300	687	3860	2261	1034	292	3654	4306	48830
Gaz naturel	MF422	52555	1679	165931	16115	84143	31266	16137	359197	16818	11631	5008	16359	58221	888219
TOTAL		46446	11	104662	2198	5596	389	8989	56197	790	24395	886	10038	12799	223668
Biomasse		428	586	4391	3875	28613	1237	4717	24971	951	941	505	7996	4714	88196
Métaux		3961	5983	38659	9034	30004	3280	7110	192156	2810	12080	2293	28682	26308	378269
Min non mét.		1730	1100	18219	54008	19930	26360	3442	20532	13414	4015	1525	16844	14699	208885
Comb foss															

Annexe 4 - Empreinte matières (RMC) de la France, pour 2013, pour les principales composantes de la demande finale

Consommation finale des ménages (empreinte matières en milliers de tonnes)

	Agriculture	Ind extractives	Agr-alim	Produits fossiles	Produits manufs	Energie	Autres produits manuf.	Construction	Commerce	Transport	Hébergement et restaur.	Services financiers	Autres services marchands	Services non marchands	TOTAL	
Céréales	461	0	23115	339	357	55	39	44	857	108	3250	107	572	346	29650	
Racines, tubercules	MF11	0	45	21	2	2	2	1	14	4	75	2	12	3	6301	
Cultures sucrées	MF12	6112	0	6755	298	63	80	42	933	148	12024	147	779	498	22176	
Légumineuses	MF13	251	0	248	6	10	1	1	15	3	63	2	9	5	376	
Noix	MF14	12	0	29	2	4	0	0	3	1	12	1	3	1	185	
Cultures oléagineuses	MF15	129	0	4684	151	142	34	19	346	57	1972	47	311	121	8374	
Légumes	MF16	297	0	1116	17	32	6	4	47	13	220	12	56	32	5381	
Fruits	MF17	3823	0	2734	17	24	8	4	70	16	471	12	64	29	8763	
Fibres	MF18	5308	0	110	8	25	1	8	3	25	3	8	2	19	5	219
Autres céréales (tabac)	MF19	600	0	184	13	22	2	1	2	17	5	60	4	18	6	983
Paille	MF110	338	0	7320	87	126	11	14	253	35	650	29	170	98	9347	
Autres résidus de culture	MF121	0	0	924	14	33	3	3	35	7	76	5	28	12	1218	
Cultures fourragères et biomasse pâturée	MF122	9009	0	54059	242	444	64	49	52	1211	175	4753	136	857	600	72450
Bois (fonds industriels)	MF131	7387	0	2139	262	1534	103	79	361	694	118	285	143	1011	14222	
Bois de chauffage et autre extr.	MF132	1711	0	538	68	391	26	20	88	176	30	72	36	253	3436	
Captures de poisson sauvage	MF141	165	0	371	3	4	3	1	2	16	2	162	2	12	5	747
Autres animaux/plantes aqua.	MF142	21	0	42	0	0	0	0	2	0	20	0	1	1	89	
Chasse et cueillette	MF143	6	0	17	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	30	
FER	MF21	127	0	1270	759	4547	401	517	1121	328	284	166	1044	141	11064	
Cuivre	MF221	78	0	889	536	3997	201	125	635	915	180	204	127	956	8897	
Nickel	MF222	13	0	128	51	517	27	41	46	107	24	29	14	107	1120	
Pomb	MF223	3	0	30	25	59	8	4	9	18	5	6	3	18	3	188
Zinc	MF224	9	0	96	79	314	25	31	128	85	21	22	15	103	13	942
Etain	MF225	8	0	85	54	257	19	23	66	64	17	18	10	71	10	702
Or	MF226	32	0	411	266	1995	95	57	275	66	78	39	274	53	3738	
Argent	MF262	0	0	4	3	34	1	1	3	1	1	0	3	0	54	
Platine	MF263	1	0	12	8	168	3	1	2	2	2	1	8	2	220	
Beaute	MF27	46	0	583	439	1172	141	114	348	73	103	43	292	51	3450	
Uranium et thorium	MF28	1	0	20	9	20	10	1	2	8	3	3	1	8	88	
Autres met. non fer. : tungstène	MF291	3	0	35	30	78	11	5	8	22	6	7	3	3	230	
Autres met. non fer. : tantale	MF292	1	0	11	4	56	2	5	11	2	3	2	13	2	117	
Autres met. non fer. : magnésium	MF293	0	0	4	2	22	1	2	4	1	1	1	5	1	43	
Autres met. non fer. : titane	MF294	31	0	460	432	693	243	68	287	72	93	36	245	49	2784	
Autres met. non fer. : manganèse	MF295	4	0	37	31	86	11	8	10	25	6	8	3	24	4	255
Autres met. non fer. : chrome	MF296	1	0	13	6	62	3	4	6	13	3	3	2	12	2	131
Autres métaux non ferreux	MF297	27	0	304	172	1347	77	74	117	117	69	38	294	38	2896	
Marbre, grant., autres pierres ornement.	MF31	101	0	1366	306	1033	163	71	326	151	379	84	544	93	5292	
Craie et dolomite	MF32	63	0	979	106	466	52	46	91	255	49	40	221	48	2735	
Ardoise	MF33	1	0	15	2	6	1	1	4	1	5	1	3	1	41	
Métaux pour ind. chim. et engrais	MF34	281	0	1475	633	217	99	17	27	254	40	260	28	189	59	3579
Sel	MF35	416	2	1275	421	261	50	20	52	223	41	240	46	295	61	3403
Pierre calcaire et gypse	MF36	421	0	5754	1288	2396	611	202	538	1451	345	1645	210	1181	290	16331
Agriès et kaolin	MF37	48	7	648	103	363	54	34	221	265	44	174	47	266	41	2315
Sable et gravier	MF38	2189	416	26625	2832	13435	2201	1958	12514	1842	8834	1817	10402	1794	97180	
Autres min. non métal.	MF39	67	23	500	164	600	49	17	72	151	32	115	20	128	34	1975
Lignite	MF411	130	0	2147	1936	1032	101	171	988	585	355	152	833	141	10533	
Pouille	MF412	222	0	3273	3766	4027	221	338	1714	812	615	243	1429	242	20396	
Schiste et sables bitumeux	MF413	7	0	99	166	78	37	4	7	52	49	18	8	39	7	572
Tourbe	MF414	79	0	956	93	84	34	6	10	89	16	134	11	66	23	1600
Pétrole brut, condensat et GNL	MF421	811	1	7572	42109	3462	1300	464	675	6389	8821	1833	819	3489	693	79667
Gas naturel	MF422	256	0	4149	3428	19300	205	278	1902	870	1025	292	1549	453	36076	
TOTAL	42049	451	166834	61753	49111	31266	14719	17769	32940	15293	41259	5008	12035	16206	902056	
Biomasse	36651	0	104599	536	3467	389	318	648	4714	726	2475	686	4175	1895	183848	
Métaux	386	1	4404	2955	15425	1237	934	1799	3593	870	932	505	3497	522	37010	
Min non mét.	3897	449	38635	5955	18777	3280	2865	13843	13500	2546	11972	2283	13229	2422	132852	
Comb.foss.	1615	2	18196	51498	11442	26360	1001	1479	11133	11152	3979	1525	7404	1550	148246	

Annexes

Consommation finale des administrations publiques (empreinte matières en milliers de tonnes)

	Agriculture	Ind extracatives	Agro-alim	Produits fossiles	Produits manifs	Energie	Autres produits manuf	Construction	Commerce	Transport	Héberg et restaur	Services français	Autres services marchands	Services non marchands	TOTAL
Céréales	0	0	62	267	17	0	0	0	68	6	29	0	262	1708	2420
Racines, tubercules	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	1	0	5	16	30
Cultures sucrières	0	0	11	105	6	0	0	0	78	10	108	0	363	2023	2703
Légumineuse	0	0	1	5	0	0	0	0	1	0	0	0	4	24	36
Noix	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	7
Cultures oléagineuses	0	0	6	75	3	0	0	0	28	3	18	0	134	588	864
MF111	0	0	1	9	0	0	0	0	4	1	2	0	16	144	177
MF117	0	0	1	8	1	0	0	0	6	1	4	0	26	137	184
MF118	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	7	27	39
MF119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	29	38
MF110	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0	4	29	38
Autres céréales (tabac)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF121	0	0	13	50	4	0	0	0	20	2	8	0	72	508	676
MF122	0	0	0	7	0	0	0	0	3	0	1	0	9	69	90
Autres résidus de culture	0	0	8	94	6	0	0	0	96	9	43	0	320	3308	3884
Cultures fourragères et biomasse péluée	0	0	1	107	12	0	0	0	52	7	3	0	232	1284	1698
MF131	0	0	0	28	3	0	0	0	13	2	1	0	58	313	417
Bois de chauffage et autre extr.	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	5	23	32
MF132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4
Bois de chauffage et autre extr.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF141	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Captures de poisson sauvage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF142	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres animaux/plantes aqua.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chasse et cueillette	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF21	0	0	1	105	14	0	0	0	68	21	3	0	249	1234	1696
Fer	0	0	1	166	51	0	0	0	64	12	2	0	329	983	1677
MF221	0	0	0	12	9	0	0	0	6	2	0	0	28	126	183
Cuivre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nickel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF223	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pomb	0	0	0	19	1	0	0	0	5	1	0	0	25	122	175
MF224	0	0	0	14	1	0	0	0	4	1	0	0	23	83	106
Zinc	0	0	0	91	6	0	0	0	19	4	1	0	80	341	543
MF225	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	3	6	9
MF226	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Argent	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF227	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Platine	0	0	1	143	6	0	0	0	23	5	1	0	80	354	613
MF228	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	2	9	14
Gauche	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF229	0	0	0	7	1	0	0	0	1	0	0	0	5	24	39
Uranium et thorium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF231	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres mét. non fer. : tungstène	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF232	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres mét. non fer. : tantale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF233	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres mét. non fer. : magnésium	0	0	0	174	16	0	0	0	20	5	1	0	64	338	619
MF234	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres mét. non fer. : titane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF235	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres mét. non fer. : manganèse	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	6	29	47
MF236	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres mét. non fer. : chrome	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	13	20
MF237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres métaux non ferreux	0	0	0	46	19	0	0	0	18	4	1	0	99	303	489
MF238	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF239	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres métaux non ferreux	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF31	0	0	1	66	6	0	0	0	50	10	3	0	208	619	984
Matre, grant, autres pierres ornement.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF32	0	0	1	24	5	0	0	0	17	3	3	0	60	307	419
Crane et dolomite	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adosse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MINERAIS NON METALLIQUES	0	0	2	125	4	0	0	0	20	3	2	0	66	325	546
MF34	0	0	1	302	7	0	0	0	16	3	2	0	63	349	744
Minéraux pour ind. chim. et engrais	0	0	6	373	28	0	0	0	100	23	15	0	331	1784	2659
MF35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pierre calcaire et gypse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF37	0	0	0	35	4	0	0	0	18	3	2	0	68	390	520
Pierre et kaolin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF38	0	0	29	923	152	0	0	0	676	139	80	0	2886	19072	23955
Agiles et kaolin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sable et gravier	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Autres min. non métal.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF41	0	0	2	309	16	0	0	0	73	43	3	0	205	1005	1657
Lignite	0	0	4	358	24	0	0	0	124	58	6	0	355	1922	2880
MF42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Houille	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Schistes et sables bitumeux	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF44	0	0	1	43	1	0	0	0	4	1	1	0	23	126	203
TOURBE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MF45	0	0	7	935	47	0	0	0	514	621	17	0	955	5833	8929
Pétrole brut, condensat et GLN	0	0	0	467	26	0	0	0	140	62	9	0	537	3652	4897
MF46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gaz naturel	0	0	168	5885	505	0	0	0	2380	1075	372	0	8334	48895	68315
TOTAL	0	0	105	766	54	0	0	0	374	44	220	0	1518	10220	13300
Biomasse	0	0	4	803	128	0	0								

Annexes

Formation brute de capital fixe (empreinte matières en milliers de tonnes)

	Agriculture	Ind extractives	Agro-alim	Produits fossiles	Produits manufs	Energie	Autres produits manufs	Construction	Commerce	Transport	Héberg et restaur.	Services financiers	Autres services marchands	Services non marchands	TOTAL
Céréales	73	0	0	0	214	0	74	570	90	3	0	0	639	0	1662
Racines, tubercules	MF112	0	0	0	12	0	2	16	2	0	0	0	13	0	46
Cultures sursées	MF113	126	0	0	201	0	66	542	107	5	0	0	605	0	1651
MF114	1	0	0	0	6	0	1	10	2	0	0	0	11	0	31
Légumineuse	MF115	4	0	0	2	0	4	4	0	0	0	0	3	0	14
Noix	MF116	44	0	0	101	0	39	315	39	1	0	0	309	0	848
Cultures oléagineuses	MF117	8	0	0	22	0	6	51	6	0	0	0	52	0	145
Légumes	MF118	4	0	0	17	0	6	63	9	0	0	0	57	0	157
Fruits	MF119	0	0	0	15	0	9	39	4	0	0	0	10	0	77
Fibres	MF120	18	0	0	76	0	6	26	2	0	0	0	16	0	82
Autres céréales (tabac)	MF121	37	0	0	76	0	26	179	28	1	0	0	176	0	525
Paille	MF122	7	0	0	20	0	6	34	4	0	0	0	26	0	97
Autres résidus de culture	MF123	5738	0	0	281	0	107	670	132	4	0	0	788	0	7720
Cultures fourragères et biomasse pâturée	MF131	12	0	0	798	0	147	4648	73	3	0	0	689	0	6371
Bois (fonds industriels)	MF132	3	0	0	203	0	37	1129	18	1	0	0	175	0	1988
Bois de chauffage et autre extr.	MF141	1	0	0	3	0	1	31	2	0	0	0	11	0	48
Captures de poisson sauvage	MF142	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	1	0	6
Autres animaux/plantes aqua.	MF143	0	0	0	1	0	0	4	0	0	0	0	1	0	6
Chasse et cueillette	MF143	0	0	0	1	0	0	4	0	0	0	0	1	0	6
FER	MF21	12	0	0	425	0	1492	6655	143	9	0	0	1066	0	13503
Cuivre	MF221	9	0	0	2482	0	884	8167	100	5	0	0	681	0	12329
Nickel	MF222	1	0	0	412	0	152	590	14	1	0	0	101	0	1270
Pomb	MF223	0	0	0	45	0	12	116	2	0	0	0	21	0	197
Zinc	MF224	1	0	0	287	0	105	1643	11	1	0	0	83	0	2130
Étain	MF225	1	0	0	212	0	65	843	8	0	0	0	78	0	1208
Or	MF226	4	0	0	772	0	162	736	34	2	0	0	262	0	1962
Argent	MF226	0	0	0	8	0	2	10	0	0	0	0	3	0	24
Platine	MF226	0	0	0	31	0	8	28	1	0	0	0	7	0	75
Bauxite	MF227	7	0	0	784	0	286	1473	40	2	0	0	241	0	2834
Uranium et thorium	MF228	0	0	0	13	0	3	21	1	0	0	0	7	0	46
Autres mét. non fer. : tungstène	MF229	1	0	0	63	0	21	98	3	0	0	0	18	0	203
Autres mét. non fer. : tantale	MF232	0	0	0	40	0	16	61	1	0	0	0	22	0	140
Autres mét. non fer. : magnésium	MF233	0	0	0	15	0	5	21	1	0	0	0	5	0	47
Autres mét. non fer. : titane	MF234	6	0	0	504	0	216	980	32	2	0	0	227	0	1967
Autres mét. non fer. : manganèse	MF235	1	0	0	70	0	29	123	3	0	0	0	22	0	248
Autres mét. non fer. : chrome	MF236	0	0	0	50	0	17	75	2	0	0	0	15	0	159
Autres métaux non ferreux	MF237	3	0	0	883	0	291	1512	33	2	0	0	301	0	3025
Marbre, granit, autres pierres ornement.	MF31	13	0	0	481	0	165	4192	66	4	0	0	392	0	5313
Crête et dolomite	MF32	11	0	0	321	0	137	1170	27	1	0	0	213	0	1881
Ardoise	MF33	0	0	0	3	0	1	21	0	0	0	0	3	0	29
MINÉRAIS NON MÉTALLIQUES	MF34	70	0	0	137	0	49	347	29	1	0	0	187	0	819
Métaux pour ind. chim. et engrais	MF35	42	0	0	184	0	79	670	27	1	0	0	216	0	1219
Sel	MF36	61	0	0	1367	0	564	6918	160	10	0	0	1069	0	10139
Pierre calcaire et gypse	MF37	6	0	0	200	0	83	2849	28	1	0	0	214	0	3381
Argiles et kaolin	MF38	275	0	0	7425	0	3660	161042	1134	59	0	0	7514	0	181110
Sable et gravier	MF39	14	0	0	216	0	64	932	17	1	0	0	124	0	1368
Autres min. non métal.	MF41	19	0	0	1387	0	337	2205	118	18	0	0	763	0	4747
Lignite	MF412	34	0	0	2555	0	775	4349	201	24	0	0	1170	0	9109
Houille	MF413	1	0	0	50	0	13	95	6	1	0	0	35	0	202
Schistes et sables bitumeux	MF414	19	0	0	53	0	17	125	10	0	0	0	64	0	289
Tourbe	MF421	131	0	0	2261	0	798	8682	854	255	0	0	2378	0	15959
Pétrole brut, condensat et GLN	MF422	45	0	0	1539	0	477	3578	26	0	0	0	1274	0	7157
Gaz naturel	TOTAL	6862	0	0	30951	0	11413	122860	1944	450	0	0	122958	0	305139
Biomasse	6075	0	0	0	1987	0	534	8333	519	20	0	0	3682	0	21051
Métaux	47	0	0	0	10797	0	3759	23150	429	25	0	0	3160	0	47367
Min non mét.	481	0	0	0	10422	0	4702	178142	1490	79	0	0	9932	0	205259
Comb foss	249	0	0	0	7744	0	2418	19035	1406	326	0	0	6284	0	37462

Conditions générales d'utilisation

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

Directeur de la publication : Thomas Lesueur

Dépôt légal : Novembre 2019

ISSN : 2552-2272



Cette étude propose un calcul de l'empreinte matières selon une méthodologie qui améliore celle actuellement utilisée pour la France. Elle vise à mieux prendre en compte la structure du système productif français. Elle permet également de relier à chaque produit consommé l'empreinte matières qui lui est associée.



Les produits agricoles et agro-alimentaires captent l'essentiel de l'empreinte en biomasse, tandis que l'investissement en construction représente une large part de l'empreinte en produits non métalliques. L'empreinte en combustibles fossiles est nettement plus répartie selon les différents produits, traduisant notamment le rôle de l'énergie dans les processus de production. L'empreinte en métaux provient en majorité des produits manufacturés (machines et véhicules notamment) mais aussi de la construction.

Par ailleurs, les empreintes en biomasse et en combustibles fossiles proviennent en grande partie de la consommation des ménages, tandis que les empreintes en minéraux, métalliques ou non, résultent davantage de l'investissement des entreprises et des ménages.

**L'empreinte
matières de
l'économie
française :**
une analyse par
matière et catégorie
de produits



commissariat général au développement durable

Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du
développement durable
Sous-direction de l'économie des ressources naturelles et des
risques (ERNR)

Tour Séquoia
92055 La Défense cedex
Courriel : ernr.seeidd.cgdd@developpement-durable.gouv.fr

www.ecologique-solidaire.gouv.fr

