Made in France et réindustrialisation: une approche par les tableaux entrées-sorties internationaux

Documents de travail

N° 2025-02 – Janvier 2025

Alexandre BOURGEOIS

Jeremi MONTORNES

Insee
Mesurer pour comprendre

Institut national de la statistique et des études économiques

2025/02

Made in France et réindustrialisation : une approche par les tableaux entrées-sorties internationaux[*]

ALEXANDRE BOURGEOIS[±], JÉREMI MONTORNES[⊦]

06 Janvier 2025

Département des Études Économiques – Timbre G201
88, avenue Verdier – CS 70 058 – 92 541 MONTROUGE CEDEX – France
Tél. : 33 (1) 87 69 59 54 – E-mail : d3e-dg@insee.fr – Site Web Insee : http://www.insee.fr

Ces documents de travail ne reflètent pas la position de l'Insee et n'engagent que leurs auteurs.
Working papers do not reflect the position of INSEE but only their author's views.

[*]Les auteurs remercient Didier Blanchet, Juan Carluccio, Nicolas Carnot, Marc Fleurbaey, Lionel Fontagné, Guillaume Gaulier, Pauline Givord, Matthieu Lequien, Isabelle Méjean, et les participants des séminaires du D2E de l'Insee, de la Banque de France, de la Chaire Mesure de l'économie de Paris School of Economics. Ce document de travail ne reflète pas la position de l'Insee ou de la Banque de France et n'engage que leurs auteurs. Cet article est accompagné d'un package R qui permet de répliquer les résultats obtenus et de paramétrer des variantes : **Avionic24**.
[±]Insee - Dese - Division Études Macroéconomiques, alexandre.bourgeois@insee.fr
[⊦]Banque de France, DGSEI - Decams – Samic, jeremi.montornes@banque-france.fr

Made in France et réindustrialisation : une approche par les tableaux entrées-sorties internationaux

Le *made in* France, défini comme le contenu en valeur ajoutée française de la demande intérieure finale française, a baissé de 11 points entre 1965 et 2019, passant de 89 % à 78 %. Cette tendance à la baisse du made in est commune aux pays européens et reflète la mondialisation croissante des dernières décennies. Cette étude illustre les effets d'entraînement sur l'ensemble de l'activité de la localisation d'une activité en France plutôt qu'à l'étranger. La modélisation mobilise un tableau international des entrées-sorties pour la structure de la production mondiale, et construit des scénarii contrefactuels, où certains biens seraient produits en France plutôt qu'à l'étranger, en tenant compte de l'origine géographique des ressources et des consommations intermédiaires. L'effet d'entraînement simulé ici sous l'hypothèse que les chaînes de fournisseurs des nouveaux établissements seraient similaires à celles des filières existantes, serait de l'ordre de 2,0 dans l'industrie manufacturière, et de 1,6 dans les services marchands. En revanche, si les émissions de gaz à effet de serre de la production augmenteraient en France, elles diminueraient au niveau mondial car la production est aujourd'hui moins carbonée en France que dans certains pays importateurs actuels.

Mots clés : tableaux internationaux des entrées-sorties, reindustrialisation, empreinte carbone

Codes JEL : C67, F62, Q53

Made in France and reshoring in multi-regional input-output tables

Made in France, defined as the French value added content of the French final domestic demand, fell by 11 points between 1965 and 2019, from 89% to 78%. This downward trend is common to European countries and reflects the increasing globalisation of recent decades. The location of a production facility in France has repercussions throughout the value chain. These knockon mechanisms via suppliers increase the favorable effects of setting up a new plant on economic activity and employment in France, relative to the creation of a similar facility abroad. The knock-on effect, defined as the total value added of the new plant and its suppliers compared to the value added of the new plant alone, and simulated here under the strong assumption that the supply chain of the new plant is similar to those of existing firms, would be around 2.0 in manufacturing industry and 1.6 in market services. As the greenhouse gas production intensity is currently lower in France than in the rest of the world, producing in France rather than abroad also has a potentially favorable effect on global greenhouse gas emissions, assuming consumption remains unchanged. This increases domestic emissions but reduces the country's carbon footprint.

Keywords : multi-regional input-output model, reindustrialisation, carbon footprint

JEL codes : C67, F62, F15

Introduction

L'intégration au commerce international permet des gains de pouvoir d'achat, de productivité, et d'accès à des produits de meilleure qualité ou plus variés. Cependant, sur les années récentes plusieurs arguments ont plaidé pour une relocalisation de certaines activités en France, notamment pour assurer la sécurisation des chaînes d'approvisionnement, dont les fragilités ont été exposées à l'occasion de la crise du Covid-19 (produits pharmaceutiques ou composants électroniques) ou de la guerre en Ukraine (gaz) ou encore les enjeux liés à la transition écologique, notamment la réduction des émissions de gaz à effet de serre et de l'empreinte carbone, compte tenu des différences de contenu en carbone des productions entre pays, dans un contexte par ailleurs marqué par un déficit persistant en France du solde extérieur.

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence les effets d'entraînement lié à l'intrication des chaînes de valeurs, telles qu'elles sont retracées dans les tableaux internationaux entrées-sorties. Il s'agit précisément de comparer les effets de l'implantation d'un établissement en France relativement à une production à l'étranger. L'ampleur de ces effets d'entraînements est variable selon les technologies de production et donc les branches de l'économie, mais aussi selon les dimensions. Ainsi, selon les technologies de production et la complexité des chaînes d'approvisionnement, les effets multiplicateurs sur l'emploi, l'activité et les émissions de gaz à effet de serre d'une implantation en France peuvent être plus ou moins marqués. Cette étude se propose donc de comparer, à partir d'un exercice comptable, l'ampleur de ces effets sur les 64 branches de l'économie.

Cette étude revient tout d'abord sur plusieurs faits stylisés de l'intégration croissante au commerce international de la France et de ses partenaires depuis 1965, à l'aide d'indicateurs caractérisant le contenu en valeur ajoutée nationale des produits consommés, le *made in*. Ces indicateurs ont été obtenus en chaîne de valeur sur longue période en appariant trois tableaux internationaux des entrées-sorties (TIES) et en procédant à une rétropolation des séries lorsque la réconciliation des séries le nécessitait. Ensuite, cette étude propose une estimation des effets de l'implantation d'un établissement en France relativement à une localisation à l'étranger, pour un même total de valeur ajoutée mondiale et des consommations finales inchangées, mais avec des consommations intermédiaires et une demande finale structurellement modifiées (à somme nulle).

Ces estimations reposent sur une modélisation entrées-sorties mobilisant la structure de la production mondiale, sous la forme d'un tableau international des entrées-sorties. La méthode développée ici permet de construire des scénarii contre-

factuels de l'économie mondiale, où la production de certains biens seraient produits en France plutôt qu'à l'étranger, en tenant compte de l'origine géographique des ressources et des consommations intermédiaires. Sous l'hypothèse, forte, que les technologies de production et les chaînes de valeur liées à de nouvelles installations seraient similaires à celles existantes, nous décrivons les effets d'entraînement sur l'activité et l'emploi d'une localisation d'une activité en France plutôt qu'à l'étranger, et les conséquences sur les émissions de CO_2.

Ces résultats illustrent les effets d'entraînement sur l'activité et l'emploi, ainsi que leurs variations selon les branches, ce qui pourrait aider à cibler des politiques d'attractivité selon les objectifs poursuivis (croissance, réduction des vulnérabilités, baisse des émissions de CO_2). Ainsi, les branches où les vulnérabilités sont les plus nettes sont la pharmacie, le textile, le raffinage, les autres matériels de transport, et l'informatique électronique. Les branches dans lesquelles on observe les plus forts effets d'entraînement en termes de valeur ajoutée et d'emploi sont l'agroalimentaire, l'automobile et l'industrie du bois et du papier. Enfin, les branches où la localisation d'activité en France plutôt qu'à l'étranger a le plus fort potentiel de réduction des émissions de CO_2 mondiales sont la chimie, le matériel électrique et les produits métalliques.

L'approche originale développée dans cet article est complémentaire à la littérature sur le rôle des réseaux de production dans l'explication des fluctuations macroéconomiques, qui intègrent l'approche input-output en équilibre général pour étudier les effets agrégés de chocs microéconomiques (Acemoglu *et al.*, 2012). Gabaix (2011) montre que la présence de très grandes entreprises est une source de volatilité du PIB : les chocs subis par ces entreprises ne sont pas compensés par les chocs affectant de petites entreprises et induisent des fluctuations au niveau agrégé. En faisant l'hypothèse de préférences et de technologies Cobb-Douglas dont les parts des facteurs de production sont liées par la matrice de Leontief, cette littérature décompose l'effet des chocs sectoriels (catastrophe naturelle, etc.) sur l'évolution agrégée du PIB. Le point de départ de ces travaux est l'extension du théorème de Hulten (1978) qui montre dans sa version initiale que l'élasticité de la productivité globale des facteurs à un choc microéconomique est égale à la part du chiffre d'affaires d'une entreprise ou d'un secteur dans le PIB, appelée aussi poids de Domar. Ce résultat a conduit à minimiser le rôle des réseaux de production dans les modèles macroéconomiques. En effet, si le chiffre d'affaires d'un secteur est suffisant pour quantifier l'effet macroéconomique d'un choc sectoriel, les liens entre secteurs peuvent être négligés. Baqaee et Farhi (2019) montrent au contraire que la vulnérabilité des chaînes d'approvisionnement, la complémentarité des facteurs et les rendements d'échelle peuvent conduire à des effets non

linéaires à la suite de chocs sectoriels. Ainsi, la prise en compte de ces frictions triple l'estimation de l'effet des chocs pétroliers sur le PIB mondial dans les années 70 (de 0,23% à 0,61%). Ces modèles multi-secteurs en équilibre général ont récemment été mobilisés pour analyser les effets de la crise du Covid-19 (Baqaee et Farhi, 2021, Izquierdo *et al.*, 2022) ou pour estimer les effets de l'embargo sur le gaz suite à la crise ukrainienne (Bachmann *et al.*, 2022 en Allemagne et Baqaee *et al.*, 2022 en France). Ils sont pertinents pour l'analyse de la propagation des chocs au sein des chaînes de valeur mondiales. Le tremblement de terre de Tohoku au Japon en 2011 est par exemple mobilisé pour étudier la propagation de ce choc d'offre via les chaînes d'approvisionnement mondiales (Carvalho *et al.*, 2021). Toutefois, une calibration différente des paramètres clés du modèle peut entraîner des résultats sensiblement différents (avec une élasticité de substitution des facteurs de production égale à 0, Baqaee *et al.* (2022) obtiennent un effet sur le PIB de l'embargo sur le gaz russe de -3%, contre -0,17% avec une élasticité à 0,1).

L'article est structuré comme suit. La première section revient sur plusieurs faits stylisés de l'intégration croissante au commerce international de la France et de ses partenaires. La deuxième section présente les vulnérabilités auxquelles fait face l'économie française dans le contexte de l'intégration aux chaînes de valeur mondiales. La troisième section présente les résultats des simulations des effets sectoriels de politiques d'attractivité. La quatrième section analyse, de façon plus détaillée, les effets de l'implantation d'une entreprise automobile en France relativement à une localisation à l'étranger.

1 Le contenu en valeur ajoutée nationale de la demande intérieure et extérieure des grandes économies européennes

L'indicateur du *made in* revêt une importance cruciale dans l'analyse du commerce international. Arkolakis *et al.* (2012) montrent que la variation du bien-être lié au commerce international peut être calculée à partir de la part intérieure de la demande finale. Elle constitue une statistique suffisante des effets de l'ouverture sur une économie. Dans cette section, nous analysons son évolution depuis 1965. Nous étudions également la situation du *made in* France par rapport à celles d'autres pays européens ou des principales zones économiques : États-Unis, Union européenne et Chine.

1.1 Évaluation du *made in* France : l'approche à partir des tableaux internationaux des entrées-sorties

Pour un vendeur, étiqueter son produit *made in* France est soumis à une réglementation précise. Un produit prend l'origine du pays où il a subi sa dernière transformation substantielle. Ces transformations peuvent se traduire par un changement de position tarifaire douanière du produit (au sein de la nomenclature douanière internationale) ou par un critère de pourcentage de valeur ajoutée attribuée à cette dernière transformation (45 % dans l'Union européenne). Cette définition juridique du *made in* France n'est pas celle employée dans cette étude. Pour s'affranchir de cet effet de seuil à 45% et avoir une mesure continue, et non binaire, du *made in*, l'approche statistique développée dans cette étude évalue le contenu en valeur ajoutée intérieure pour chaque produit consommé. Si une chemise est produite en France et composée à 44 % de valeur ajoutée française, elle n'est pas considérée comme *made in* France du point de vue juridique, donc 0 % *made in* France. Du point de vue statistique adopté ici, 44 % de la chemise sont considérés *made in* France.

L'indicateur de *made in* peut être calculé à partir du tableau des entrées-sorties national (Nicholson et Noonan, 2014, Bourgeois et Briand, 2019b), mais cela ne permet pas de tenir compte du fait qu'une partie des importations peut aussi avoir un contenu d'origine française (par exemple, une voiture importée qui contient un volant construit en France sera considérée comme entièrement importée). L'utilisation des tableaux internationaux des entrées-sorties permet de quantifier cet indicateur de manière complète.

Le *made in* est défini comme la part de la valeur ajoutée française incorporée à la demande intérieure finale rapportée à la demande intérieure finale. Formellement, le *made in* du pays j s'écrit :

$$made_i n_j = \frac{\sum_k C_{VA(j,k),j}}{D_j^{tot}} \tag{1}$$

avec D_j^{tot} la demande finale totale du pays j. La valeur $C_{VA(i,k),j}$ correspond au contenu en valeur ajoutée de la demande finale : elle mesure l'origine géographique i des produits k utilisés pour satisfaire la demande finale dans le pays j :

$$C_{VA} = \hat{VA} * \hat{P^{-1}} * L * D \tag{2}$$

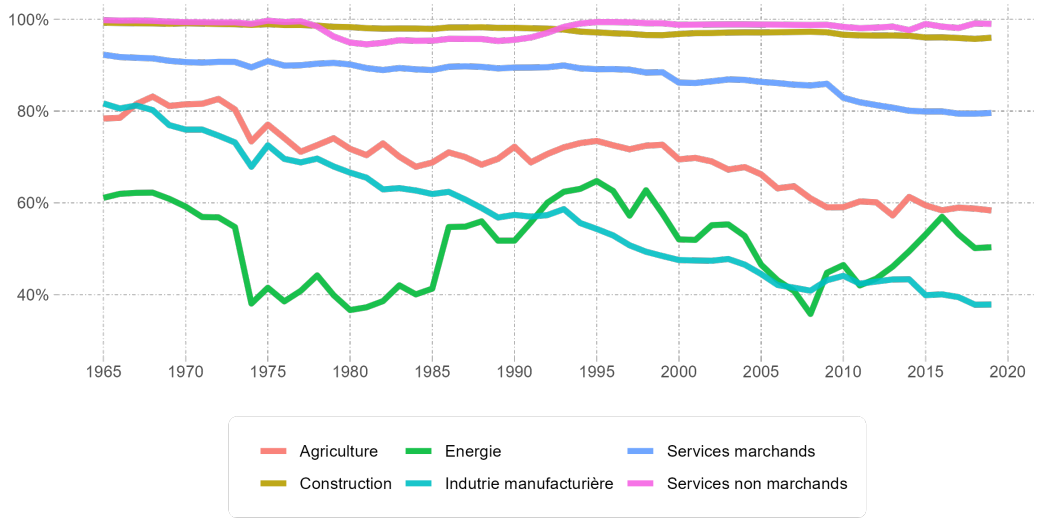
en notant $\hat{VA}$ la matrice diagonale constituée de la valeur ajoutée mondiale décomposée par pays*branche, $\hat{P^{-1}}$ l'inverse de la matrice diagonale constituée de la production mondiale décomposée par pays*branche, L la matrice inverse de Leontief (1986) par pays*branche, et D la demande finale mondiale décomposée par pays en colonne et par pays*branche en ligne.

1.2 Depuis 1965, le *made in* France a diminué tendanciellement de 11 points

En 2019, tous secteurs confondus, 78 % de la demande intérieure finale correspond à de la valeur ajoutée française et 22 % à de la valeur ajoutée étrangère. Le *made in* France a nettement baissé depuis 1965 ; il s'établissait alors à 89 %. En 2019, les biens consommés en France viennent pour 38 % de France quand il s'agit de biens manufacturés (graphique 1). Cette part est toutefois plus élevée pour l'énergie (50 %) et les biens agricoles (58 %), et encore plus pour les services marchands (80 %) et la construction (96 %).

La composition de la demande finale par produit explique une large part du niveau et de l'évolution des *made in*. Dans la plupart des pays, le *made in* est proche de 100 % dans la construction et nettement plus élevé dans les services que dans l'industrie manufacturière, l'agriculture ou l'énergie. Dans les services, la demande intérieure est associée à une production résidente notamment dans la restauration, la santé ou l'éducation. En outre, les consommations intermédiaires des services correspondent pour l'essentiel à des productions résidentes. Au contraire, les biens industriels et agricoles peuvent être importés. Lorsque le bien final est produit sur le territoire, il s'accompagne de consommations intermédiaires avec un contenu importé élevé. Dans la branche énergie, la production est en grande partie intérieure, mais les matières premières fossiles, qui ne représente qu'une partie du bouquet énergétique Français, sont importées dans les pays qui comme la France ne disposent pas de ce type de ressources sur leur territoire. Si la production française en matière de raffinage est en première approximation proportionnelle aux volumes importés, le *made in* de la branche énergie fluctue fortement sur la période avec les variations des prix des hydrocarbures.

GRAPHIQUE 1 – **Part de *made in* France par produit (en %)**



Note : Le *made in* mesure le contenu en valeur ajoutée intérieure de la demande intérieure finale.
Lecture : En 2019, le *made in* France dans l'industrie est de 38%.
Champ : France.
Sources : LR-WIOD, WIOD et FIGARO, calculs des auteurs

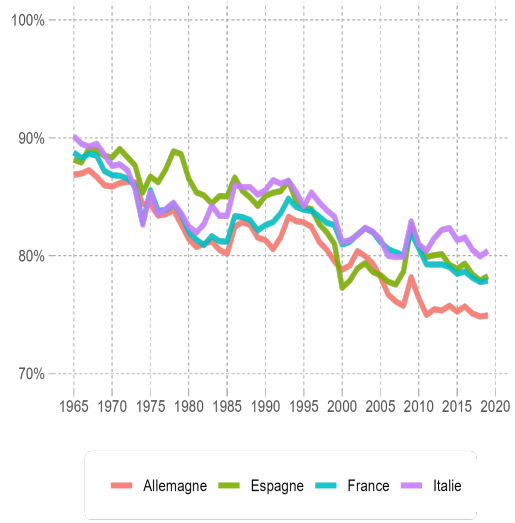
1.3 Le *made in* a baissé de manière similaire dans les pays européens comparables à la France

La taille du pays, mesurée par son PIB ou sa population, joue un rôle important sur le niveau du *made in*. Un pays de grande taille satisfait avec sa propre production une plus grande part de sa demande intérieure finale. Toutes branches confondues, le *made in* est proche dans les pays de taille comparable en Europe en 2019, avec 75 % en Allemagne, 78 % en Espagne, et 80 % en Italie (graphique 2). L'Irlande et les Pays-Bas, des pays moins peuplés qui sont davantage intégrés au commerce international, ont des taux de *made in* plus faibles (respectivement 44 % et 63 %). Le *made in* est à l'inverse plus élevé dans l'Union européenne prise dans son ensemble (85 %) ce qui est comparable aux États-Unis (90 %) et à la Chine (87 %) (graphique 2). Le *made in* France a diminué dans une proportion comparable à celle de ses grands voisins européens : la tendance est la même, que les pays soient en excédent ou en déficit courant, avec un chômage structurel élevé ou bas. Elle illustre le phénomène mondial d'allongement des chaînes de valeur mondiales, avec l'intégration de la Chine depuis une trentaine d'années. En Chine, la part du *made in* a d'ailleurs augmenté depuis 2014, en lien avec une demande intérieure dynamique et un renforcement de ses capacités de production après son

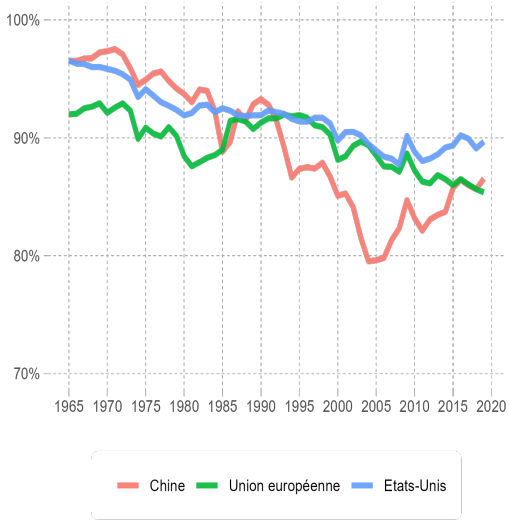
entrée dans l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC).

GRAPHIQUE **2 – Part de *made in***

(a) pays européens



(b) principales zones économiques mondiales



Note : Le *made in* mesure le contenu en valeur ajoutée intérieure de la demande intérieure finale.
Lecture : En 2019, le *made in* France dans l'ensemble des branches est de 78%.
Sources : LR-WIOD, WIOD et FIGARO, calculs des auteurs

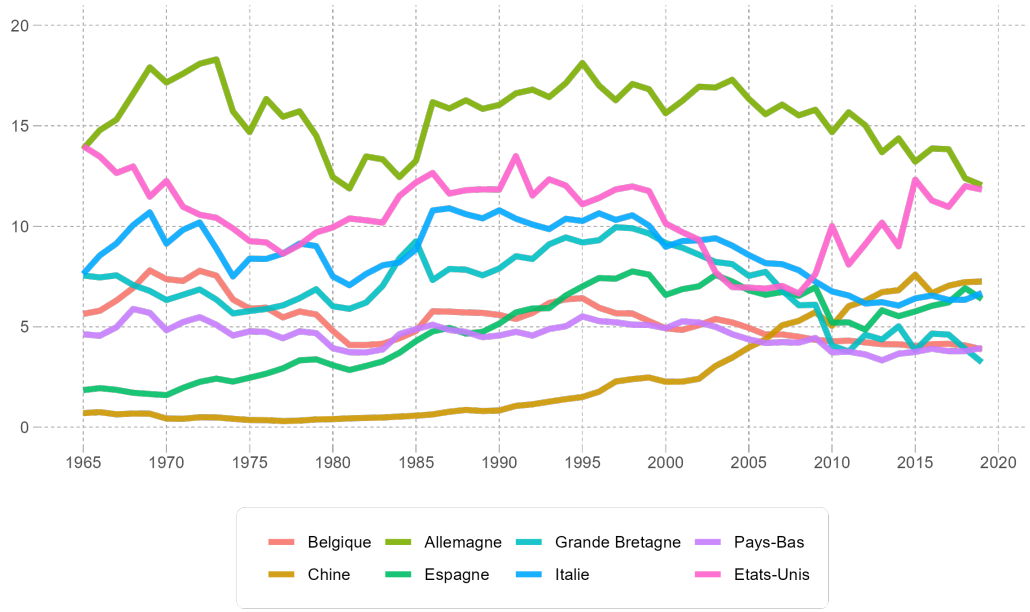
La décomposition du *made in* par branche peut différer d'un pays à l'autre. En 2019, le *made in* en biens manufacturiers de la France (38 %) est inférieur à celui de l'Allemagne (52 %) et de l'Italie (51 %), et légèrement inférieur à celui de l'Espagne (40 %). Celui des États-Unis s'établit à 66 %. Entre 1965 et 2019, le *made in* en produits manufacturiers chute de 44 points en France et de 33 points en Allemagne. S'agissant des produits agricoles, la baisse est de 20 points en France et de 28 points en Allemagne.

1.4 Le *made in* Chine remplace le *made in* Europe dans la consommation française

En miroir de la baisse du *made in* France depuis 1965, la production d'autres pays représente une part de plus en plus élevée dans la consommation française. Entre 2000, juste avant l'adhésion de la Chine à l'Organisation mondiale du commerce, et 2019, la part de la Chine dans les contenus importés de la demande finale

française (le *made in* Chine) augmente de 5,0 points (graphique 3). La part des partenaires européens a tendance à s'éroder, avec une baisse particulièrement marquée sur cette même période pour le Royaume-Uni (-5,9 points), l'Allemagne (-3,6 points) et l'Italie (-2,3 points). Le contenu en importations espagnoles se maintient (-0,2 point), alors que celui en importations américaines (+1,7 point) augmente.

GRAPHIQUE **3 – Structure du contenu en importation de la demande intérieure finale en France par pays de provenance**



Lecture : En 2019, 12 % du contenu importé des produits consommés en France provient d'Allemagne.
Sources : LR-WIOD, WIOD et FIGARO, calculs des auteurs

En 2019, le contenu importé des produits consommés en France provient principalement d'Allemagne (12,0 %), des États-Unis (11,8 %) et, dans une moindre mesure, de Chine (7,3 %), d'Italie (6,7 %) et d'Espagne (6,4 %). Les importations provenant d'Allemagne pour satisfaire la demande intérieure finale française sont assez variées. Certains produits proviennent principalement d'un pays particulier : c'est le cas par exemple des produits informatiques importés surtout de Chine ou des véhicules automobiles importés principalement d'Espagne. Les biens du champ manufacturier sont surtout importés d'Allemagne et de Chine, et les denrées alimentaires d'Allemagne, des Pays-Bas et d'Italie.

L'évolution du *made in* France sur longue période recouvre celles de la valeur ajoutée ou de l'emploi industriels. Kalantzis et Thubin (2017) montrent que le déclin de la part manufacturière dans le PIB est lié à plusieurs facteurs. Le progrès technique est le principal moteur du changement structurel, favorisant une substitution du travail par le capital et entraînant une augmentation de la productivité. Les changements dans les préférences des consommateurs, conjugués au progrès technique modifient aussi la structure de la demande, avec une hausse des dépenses dans les services au détriment des biens manufacturés. Pak et Poissonnier (2016) aboutissent à des conclusions proches s'agissant du rôle du progrès technique dans l'évolution de l'emploi depuis les années 1980 qui bénéficie aux emplois qualifiés et pénalise les emplois non-qualifiés.

1.5 Près de 30 % des exportations françaises sont composées de produits importés

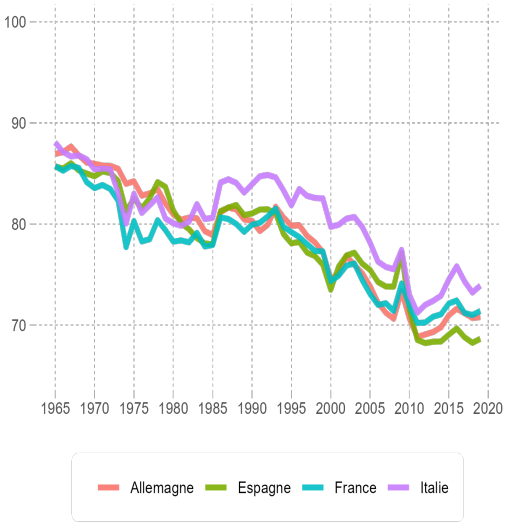
L'indicateur de *made in* France peut être complété par un indicateur de contenu en valeur ajoutée française dans les exportations, de manière à disposer des utilisations à la fois intérieures et extérieures de la valeur ajoutée produite en France (Johnson et Noguera, 2012). Il permet également d'avoir une mesure plus précise de la composante effectivement produite en France des exportations françaises, en tenant compte que celles-ci utilisent en partie des intrants importés pour leur fabrication. Cet indicateur est calculé en s'appuyant sur Foster-McGregor et Stehrer (2013), il renseigne notamment sur le degré d'intégration aux chaînes de valeur mondiales (Hummels *et al.*, 2001).

Depuis 1965, le contenu en valeur ajoutée intérieure des exportations françaises a diminué de près de 14 points, avec une stabilisation depuis 2011 (graphique 4). En 2019, les exportations contiennent 71 % de valeur ajoutée intérieure et 29 % de valeur ajoutée étrangère. La part de valeur ajoutée intérieure dans les exportations est la plus élevée pour les matériels de transport et les services aux entreprises.

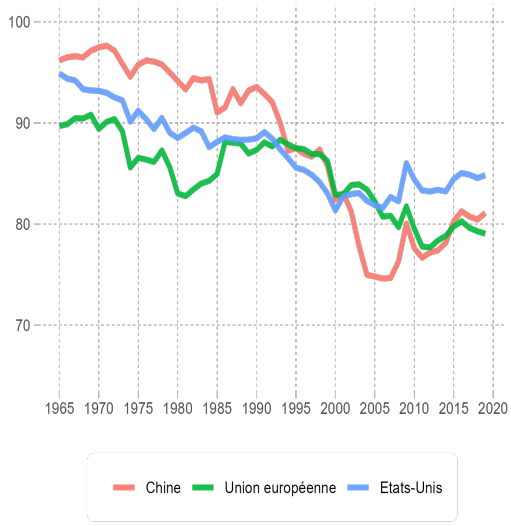
La baisse du contenu en valeur ajoutée intérieure entre 1965 et 2011 et la stabilisation depuis sont aussi visibles en Allemagne, en Espagne et en Italie, en ligne avec le ralentissement de l'intégration des chaînes de valeur mondiales depuis 2008. L'Italie se distingue par une part plus élevée du contenu en valeur ajoutée intérieure. Au sein des plus grandes zones économiques, le contenu en valeur ajoutée intérieure des exportations de l'ensemble de l'Union européenne s'élève à 79 % contre 81 % pour la Chine et 85 % pour les États-Unis, qui se distinguent par une légère hausse de cette part depuis 2000.

GRAPHIQUE 4 – **Contenu en valeur ajoutée intérieure des exportations (en %)**

(a) dans les pays européens



(b) dans les principales économies



Lecture : En 2019, la valeur ajoutée intérieure représente 71 % des exportations françaises.
Sources : LR-WIOD, WIOD et FIGARO, calculs des auteurs

2 Vulnérabilité des chaînes de valeur de l'économie française

2.1 L'industrie, plus intégrée aux chaînes de valeur mondiales, est plus exposée à des ruptures de celles-ci

Le développement des chaînes de valeur s'accompagne, pour la France comme ses partenaires, de risques en matière de maîtrise des sources d'approvisionnement. La vulnérabilité d'une branche de l'économie à cet égard dépend de plusieurs facteurs. Premièrement, si les importations représentent une part importante des consommations intermédiaires, sa production est fortement exposée aux chocs externes. Deuxièmement, si les importations sont concentrées sur un petit nombre de pays et de branches de provenance, la branche peut avoir des difficultés à s'adapter à des problèmes affectant l'un de ces pays. Cette difficulté est aggravée si les autres pays du monde importent des mêmes pays. En effet, une faible diversification de l'origine géographique des importations peut refléter une offre mondiale qui est concentrée dans quelques pays-clés, provoquant un goulet d'étranglement en cas de chocs (Berthou *et al.*, 2020).

Dans ce contexte, plusieurs études récentes ont analysé les vulnérabilités de l'économie française en croisant les critères de concentration des fournisseurs, d'origine géographique et de substituabilité des biens à partir des données détaillées des Douanes (Bonneau et Nakaa, 2020, Jaravel et Méjean, 2020). Au total, elles identifient respectivement 121 [1] et 644 [2] produits importés vulnérables aux ruptures d'approvisionnement, selon le niveau d'agrégation des données considéré. Ces produits vulnérables sont concentrés sur la Chine ou les États-Unis et sur les secteurs de la chimie, l'agro-alimentaire ou la métallurgie. Les études menées au niveau européen ont des conclusions proches en identifiant plusieurs secteurs-clés tels que les métaux rares, les semi-conducteurs et les produits pharmaceutiques (Vicard et Wibaux, 2023). Ces études soulignent la nécessité de diversifier les sources d'approvisionnement et d'investir dans la recherche-développement.

En complément de ces études qui s'appuient sur des données bilatérales de commerce à un niveau très fin, il est possible de quantifier les dépendances « en moyenne » à partir d'une approche semi-agrégée, fondée sur un tableau international des entrées-sorties, qui analyse la dépendance de la demande finale française aux chaînes de valeur. Les données mobilisées dans ce cadre permettent de mener une analyse intégrée des dépendances liées aux chaînes de valeur au niveau de 64

1. sur 4 927 produits (Nomenclature Combinée à 6 chiffres)
2. sur 9 334 produits (Nomenclature Combinée à 8 chiffres)

branches d'activité, en bénéficiant de la cohérence du cadre comptable du TIES et d'une certaine homogénéité des données dans le temps et dans l'espace. Comme souligné par Baldwin *et al.* (2023), cette approche permet de prendre en compte l'exposition indirecte à un choc, même s'il n'est pas possible de décrire les risques associés aux dépendances à des produits très précis, comme les puces électroniques, les batteries ou des matériaux critiques nécessaires à la transition écologique.

Pour mesurer de manière adéquate la vulnérabilité des chaînes d'approvisionnement, il est crucial de pouvoir mesurer l'exposition aux risques en amont de la chaîne de valeur. L'exposition directe aux risques, qui se réfère aux pays et branches desquelles la France importe, est analysée en annexe A. La concentration des contenus en valeur ajoutée importée de la demande finale française est calculée avec l'indice de Herfindahl-Hirschmann (Hirschman, 1958) :

$$H_j = \sum_{(i \neq j,k)} \left(\frac{C_{VA(i,k),j}}{\sum_{(i' \neq j,k')} C_{VA(i',k'),j}}\right)^2 \tag{3}$$

avec $C_{VA(i,k),j}$ la valeur ajoutée produite dans la branche k du pays i incorporée dans la demande finale de la France (pays j). Quand H_j est proche de 0, les contenus en importations de la demande finale sont diversifiés sur de nombreuses branches et de nombreux pays. Au contraire, quand il est proche de 1, ils sont très concentrés. Le coefficient de corrélation de Pearson entre $C_{VA(i,k),j}$ et $C_{VA(i,k),j'}$ renseigne dans quelle mesure les structures des contenus importés de la demande finale sont proches pour les deux pays j et j'. Si ce coefficient est proche de 1, les structures de fournisseurs sont proches, ce qui conduit à une forme de dépendance commune qui est source de vulnérabilité. Puisqu'il décrit la concentration des contenus importés de la demande finale française (et pas des consommations intermédiaires françaises), cet indicateur renseigne davantage sur la vulnérabilité du côté de la demande (au niveau de la consommation des ménages) que du côté de l'offre (intrants des entreprises).

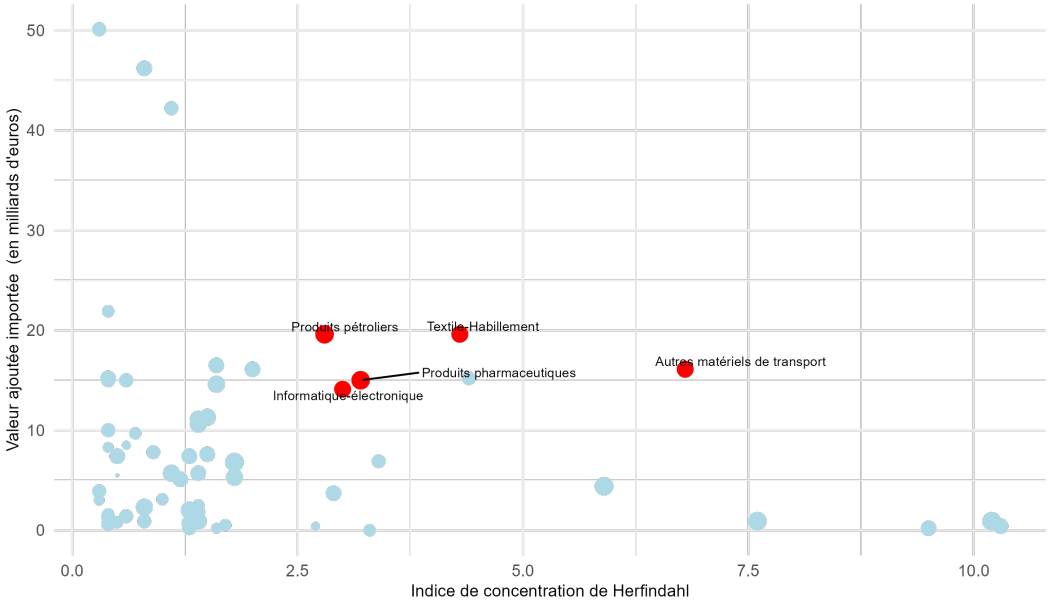
On vérifie par ailleurs la corrélation entre la structure des provenances en France et dans le reste du monde, afin d'évaluer si cette concentration est spécifique à la France, ou partagée. Cet indicateur est matérialisé par la taille des points en figure 5 qui est proche de 1 pour l'essentiel des branches de l'économie française.

D'une telle analyse, il ressort que certaines branches cumulent trois critères associés à une forme de vulnérabilité : un contenu en importation élevé de la demande finale française ; une structure de ces contenus faisant apparaître une plus forte concentration des contenus en valeur ajoutée importée de la demande finale,

mesurée par l'indice de Herfindahl, que la moyenne ; et une structure d'importation française proche de celle des autres pays, indice d'une offre mondiale concentrée susceptible de compliquer la diversification des importations.

Les secteurs cumulant ces trois facteurs, qu'on peut voir comme particulièrement vulnérables à des chocs externes, sont notamment ceux de la fabrication de matériel de transport autre qu'automobile, de la fabrication de textile-habillement, des produits pétroliers raffinés, des produits pharmaceutiques, et enfin des produits informatiques et électroniques. Dans une moindre mesure, la demande finale en produits agricoles apparaît comme assez concentrée, mais sa faible corrélation avec la structure d'importation des autres pays laisse envisager une concentration de circonstance liée à des proximités géographiques, par exemple due à des contraintes de conservation des produits. Les services incorporent peu d'importations, ils ne présentent donc pas de vulnérabilités importantes (groupe de produits en bas à droite du graphique 5).

GRAPHIQUE 5 – **Niveaux des contenus en valeur ajoutée importés au sein de la demande finale française par branche et indice de concentration, en France, en 2019**



Note : La taille des points représente la corrélation entre la structure des contenus importés en France et dans le reste du monde. Cette corrélation est proche de 1 pour l'essentiel des branches de l'économie française. L'indice de concentration correspond à l'indice d'Herfindahl des fournisseurs d'un produit.
Lecture : La demande finale de l'économie française contient 16,1 milliards d'euros de produits importés issus de la branche de fabrication des « autres matériels de transports » avec un indice de Herfindahl de 6,8. Par ailleurs, la structure pays*produit de provenance de cette branche est très corrélée à celle des autres pays (0,9).
Champ : France.
Source : Eurostat, TIES FIGARO 2022, calculs des auteurs.

2.2 Quelle stratégie de réduction des risques face aux vulnérabilités des chaînes de valeur ?

L'intégration aux chaînes de valeur mondiales permet aux entreprises de bénéficier de gains de productivité. Cependant, elle a également accru leur exposition aux risques, tels que les chocs géopolitiques, climatiques ou d'approvisionnement. Plusieurs stratégies de réduction des risques sont d'ores et déjà mises en œuvre par les entreprises ou les États ou renforcées récemment. Ces stratégies peuvent

être classées en quatre catégories :

— La constitution de stocks de sécurité permet de faire face à des ruptures d'approvisionnement à court terme. Cette stratégie est mise en œuvre de longue date par les États pour les produits stratégiques à faible valeur ajoutée, tels que les hydrocarbures ou les minerais. Au niveau des entreprises, Lafrogne-Joussier *et al.* (2023) montrent dans le contexte de la crise du Covid-19 en France que l'utilisation de stocks a aidé les entreprises manufacturières à atténuer les pénuries d'intrants alors que la diversification géographique des fournisseurs a eu moins d'effets.

— La diversification des sources d'approvisionnement permet de réduire la dépendance à un fournisseur unique. Cette stratégie est plus efficace à long terme, car elle nécessite des investissements dans la recherche de nouveaux fournisseurs et la mise en place de relations durables. Sur le plan empirique, Martin *et al.* (2023) introduisent une nouvelle mesure de la rigidité des relations commerciales, qui quantifie ces vulnérabilités de 5 000 catégories de produits. Les marchés pour lesquels ces "rigidités commerciales" sont plus fortes sont plus sensibles et subissent un effet négatif plus fort des chocs d'incertitude.

— La contrainte des provenances consiste à obliger les entreprises à utiliser des produits ou des services provenant de pays partenaires (*friendshoring*).

— Des incitations visant à peser sur les choix de localisation d'entreprises nationales ou internationales, pour (ré)implanter sur le territoire national une partie de la production (*reshoring).* Ces incitations sont le plus fréquemment faites via des subventions (Evenett *et al.*, 2024), ou encore des mesures réglementaires (mise à disposition de sites, etc.). Les simulations dans la section suivante s'intéressent spécifiquement aux résultats qu'on pourrait attendre de ce type de stratégies, selon les branches d'activité qui seraient ciblées.

3 Les effets de l'implantation d'un établissement en France relativement à une localisation à l'étranger

Cette section présente les effets simulés d'une implantation en France relativement à l'étranger sur les variables économiques et les émissions, en tenant compte

des interactions liées aux chaînes de valeurs.

3.1 Construction de contrefactuels d'une implantation d'activité en France

Les simulations permettent de comparer l'effet de la substitution d'une partie des importations de biens par une production nationale, à demande totale inchangée. Sous l'hypothèse de linéarité des effets, elles sont équivalentes à comparer une situation où un nouvel établissement s'établirait en France avec une situation où cet établissement s'implanterait plutôt à l'étranger. Ces simulations ne modélisent pas explicitement les instruments qui permettraient d'atteindre cet objectif de substitution d'une partie des importations par de la production intérieure, mais permettent d'illustrer les effets d'entraînement liés à l'intrication des chaînes de valeur telles qu'elles sont retracées dans les tableaux internationaux des entrées-sorties. Il s'agit d'un exercice comptable, qui met en évidence les mécanismes en jeu et donne des ordres de grandeur sur les effets en matière d'émissions et d'emplois.

Les simulations reposent sur plusieurs hypothèses. L'activité substituée aux importations est supposée être produite dans les mêmes conditions que la production intérieure : produire 1 euro supplémentaire d'un bien dans un pays donné mobilise les mêmes consommations intermédiaires, le même emploi et génère autant d'émissions que la production actuelle de 1 euro de ce même bien dans ce pays. On suppose également que le bien dont la production est localisée en France plutôt qu'importée est parfaitement substituable à un bien produit ailleurs. Les demandes finales de ce bien (quel que soit le pays de production) sont inchangées par le choix de localisation : on consomme toujours la même quantité du bien qu'il soit produit en France ou ailleurs. De même, en termes relatifs, l'utilisation de ce bien n'est pas modifiée : la ventilation du bien produit en France entre ce qui est consommé en France et ce qui est exporté, et entre ce qui est utilisé pour la demande finale et pour la consommation intermédiaire, est fixe. Dans le scénario principal, on compare l'activité économique globale qui résulterait de l'installation d'une activité en France à la situation actuelle où la production de ce même bien est produit dans l'ensemble des pays d'importations de ce bien. Dans la section 4, on propose, pour la branche automobile, une analyse plus fine en comparant une localisation d'activité en France par rapport à une localisation dans un pays particulier (plutôt qu'avec l'ensemble des pays fournisseurs de la France comme dans la variante principale).

Prenons l'exemple de la production en biens manufacturés. En 2019, cette production est pour plus de la moitié consommée en France : 25 % de la production sont consommés dans la demande finale pour ce bien, et 31 % sont utilisés comme consommation intermédiaire (pour produire d'autres biens dans d'autres secteurs). Le reste est exporté : 24 % comme consommation intermédiaire de la production de ces autres pays, et 20 % sont consommés en demande finale dans ces pays. La simulation d'un contrefactuel maintient cette répartition : si on peut produire en France 100 € de plus d'un bien industriel qui était auparavant produit dans le reste du monde, alors 25 € de cette production supplémentaire sont consommés en France (en substitution de 25 € qui étaient auparavant importés), 20 € serviront la demande finale des autres pays, 31 € seront utilisés comme consommation intermédiaire pour produire d'autres biens en France, et 24 € seront exportés pour produire d'autres biens à l'étranger. Ces effets auront évidemment des effets en miroir dans les autres pays où ce bien était initialement produit, qui exporteraient moins de biens et en importeraient plus de France.

Cependant, ces premiers effets ne racontent qu'une partie de l'histoire : produire plus en France nécessite d'utiliser plus d'intrants (par exemple, une production supplémentaire de batteries sur le sol national demande de consommer plus d'énergie, d'utiliser plus de composants électroniques, des services de transports, etc.). Le surcroît de production industrielle intérieure a donc des effets en cascade, en stimulant la production de biens utilisés comme consommations intermédiaires. Sous l'hypothèse que les processus de production ne sont pas modifiés, si la production de 1 € du bien dont la production est localisée en France plutôt qu'à l'étranger nécessite d'utiliser 0,45 € d'autres biens industriels (dont 0,27 € produit en France, et 0,18 € dans les autres pays), et 0,60 € de biens d'autres secteurs (dont 0,51 € produit localement et 0,09 € importé), localiser 100 € d'activité en France plutôt qu'à l'étranger se traduirait par une augmentation supplémentaire de 27 € de la production industrielle intérieure et de 51 € de la production dans les autres secteurs. Ces effets de second tour affectent également la production des autres pays : d'une part, ils produisent moins localement et utilisent donc moins d'intrants (y compris de France éventuellement) mais d'autre part, ces effets peuvent être en partie compensés s'ils sont amenés à produire plus d'intrants utilisés pour la production française.

Nous réalisons des simulations en nous inspirant, en les déclinant à notre problématique, de Dietzenbacher et Lahr (2013) et de Dietzenbacher *et al.* (2019) qui envisagent "l'extraction" des consommations intermédiaires ou de la demande finale d'une économie dans un contexte mondialisé. Le cadre comptable de l'économie est une généralisation d'une économie de Leontief à plusieurs pays (annexe B).

3.2 Construction du contrefactuel en pratique au sein du tableau international entrées-sorties

En notant P le vecteur de la production mondiale par branche, D_j le vecteur de la demande finale du pays j en chacune des branches de chaque pays (notamment la consommation des ménages, l'investissement des entreprises ou encore les variations de stocks), et CI la matrice des consommations intermédiaires ($CI_{(i,k),(j,l)}$ renseigne combien la branche l du pays j utilise comme consommation intermédiaire en produit k du pays i, en ordonnant en ligne et en colonne par pays puis par branche au sein de chaque pays), l'équilibre ressources-emplois au sein de l'économie mondiale est pour la production de la branche k du pays i : $P_{(i,k)} = \sum_{(j,l)} CI_{(i,k),(j,l)} + \sum_{(j)} D_{(i,k),j}$.

La matrice des coefficients techniques $A_{(i,k),(j,l)}$ indique la consommation d'une branche en produits intermédiaires. Chaque terme correspond au rapport des consommations intermédiaires $CI_{(i,k),(j,l)}$ à la production $P_{(j,l)}$ de la branche l du pays j. Le coefficient $A_{(i,k),(j,l)}$ correspond à la quantité de biens de la branche k produits dans le pays i requis pour produire une unité de biens l dans le pays j.

La relation précédente se réécrit donc : $P_{(i,k)} = \sum_{(j,l)} A_{(i,k),(j,l)} * P_{(k)} + \sum_{(j)} D_{(i,k),j}$. En notant P le vecteur colonne des productions nationales $P_{(i,k)}$, A la matrice des $A_{(i,k),(j,l)}$ et D_j le vecteur colonne des demandes finales du pays j, cela s'écrit : $P = A * P + \sum_{(j)} D_j$.

La relation comptable entre la production et la demande finale fait intervenir ces coefficients techniques : $P = L * \sum_j Dj$ avec L la matrice de Leontief inverse définie par $L = (I - A)^{-1}$.

En pratique, les simulations simulent une augmentation de la valeur ajoutée de 1 Md€ ex ante pour une branche donnée : formellement, pour une branche k_0, si la production initiale de la France (indicée par i_0) était de $P(i_0, k_0)$, correspondant à une valeur ajoutée initiale de

$$VA_{(i_0,k_0)} = \left(1 - \sum_{(i,k)} A_{(i,k),(i_0,k_0)}\right) P_{(i_0,k_0)} \tag{4}$$

cela signifie que la production est augmentée de $\alpha = 100/VA_{(i_0,k_0)}\%$.

Localiser de la production de biens en France plutôt que l'importer se traduit par une hausse de $\alpha\%$ des coefficients techniques (intérieurs et exportés) de la ligne indicée par (i_0, k_0) du TIES et de la ligne indicée par (i_0,k_0) de la demande finale de chaque pays (c'est-à-dire les consommations en bien de la branche k_0 qui sont produits dans le pays i_0). Et ensuite, par une baisse des coefficients techniques et de la demande finale aux lignes k_0 correspondant aux importations de tous les autres pays du monde en provenance de tous les autres pays du monde (excepté la France).

Considérons un opérateur R qui modifie la structure de la matrice des coefficients techniques A et de la demande finale par pays. R transforme ainsi la matrice A en $B = R(A, i_0, k_0, \alpha)$:

$$
\begin{aligned}
B_{(i,k),(j,l)} &= A_{(i,k),(j,l)}(1+\alpha) \quad \text{si } k = k_0 \text{ et } i = i_0 \\
B_{(i,k),(j,l)} &= A_{(i,k),(j,l)} \quad \text{si } k = k_0 \text{ et } i \neq i_0 \text{ et } i = j \\
B_{(i,k),(j,l)} &= A_{(i,k),(j,l)} \frac{1 + \alpha A_{(i_0,k_0),(j,l)}}{\sum_{i \neq i_0, i=j} A_{(i,k_0),(j,l)}} \quad \text{si } k = k_0 \text{ et } i \neq i_0 \text{ et } i \neq j \\
B_{(i,k),(j,l)} &= A_{(i,k),(j,l)} \quad \text{si } k \neq k_0
\end{aligned}
$$

où la branche dont l'activité est localisée en France plutôt qu'à l'étranger est k_0 dans le pays i_0. R transforme de la même manière la demande finale, la branche l ne jouant aucun rôle puisqu'il n'y a que trois dimensions (i, k, j).

La production de chacune des branches de l'économie mondiale s'ajuste à cette demande et à cette structure de consommations intermédiaires :

$$P(i_0, k_0, \alpha) = (I - R(A, i_0, k_0, \alpha))^{-1} * R(D, i_0, k_0, \alpha) \tag{5}$$

La demande finale totale en chaque produit de chaque pays est inchangée, donc le PIB mondial, qui est aussi égal à la demande finale totale mondiale, est inchangé.

L'évolution du PIB du pays j est donnée par l'évolution de la somme des valeurs ajoutées des branches :

$$\sum_l \left(P(i_0, k_0, \alpha)_{(j,l)} - \sum_{(i,k)} R(A, i_0, k_0, \alpha)_{(i,k),(j,l)} P(i_0, k_0, \alpha)_{(j,l)} \right.$$
$$\left. - \left(P_{(j,l)} - \sum_{(i,k)} A_{(i,k),(j,l)} P_{(j,l)} \right) \right)$$

Pour chaque simulation, un multiplicateur de production est calculé en rapportant l'évolution de la production française ex-post à l'évolution de la production ex ante, c'est-à-dire :

$$\frac{\sum_l (P(i_0, k_0, \alpha)_{(j,l)} - P_{(j,l)})}{\alpha P(i_0, k_0)}$$

En notant $w_{(j,l)}$ le contenu en emplois de la production de la branche l du pays j, c'est-à-dire le nombre d'emplois dans cette branche divisé par la production de cette branche, l'évolution de l'emploi du pays j est donné par :

$$\sum_l w_{(j,l)} * (P(i_0, k_0, \alpha)_{(j,l)} - P_{(j,l)}) \tag{6}$$

Les contenus en emplois ne sont pas calculables directement en chaînes de valeur, car les données d'emplois ne sont pas disponibles pour certains pays. Des coefficients d'intensité de la valeur ajoutée en emploi par branche (emploi/VA) sont calculés à partir du TES 2019 d'Eurostat et des données d'emplois en équivalent temps plein (EQTP) d'Eurostat pour la France, puis appliqués aux évolutions de valeur ajoutée par branche.

De la même manière, les émissions mondiales de gaz à effet de serre (hors émissions directes des ménages) sont obtenues en utilisant le vecteur de contenu en émissions de GES de la branche l du pays j :

$$\sum_l e_{(j,l)} * (P(i_0, k_0, \alpha)_{(j,l)} - P_{(j,l)}) \tag{7}$$

Cet exercice a vocation à illustrer les mécanismes liés à la complexité des chaînes de valeur, mais ne permet pas de retracer l'ensemble des effets. On ne s'intéresse

pas aux conditions précises qui permettraient d'observer un tel arbitrage de localisation d'activité et il est supposé ne pas y avoir de contraintes d'approvisionnement ou de goulets d'étranglement dans les autres branches à la suite d'une variation de demande. L'investissement initial (et ses éventuels effets d'entraînement) lié à l'installation d'un nouvel établissement n'est pas pris en compte. Les flux de capitaux, entrants pour un établissement français s'installant à l'étranger et sortants pour un établissement étranger s'installant en France, ne sont pas modélisés : l'effet décrit sur le solde commercial peut se répercuter plus ou moins sur le solde courant selon la nationalité de l'entreprise concernée. La modélisation néglige les effets de bouclage macroéconomique par les prix ou les revenus, qui pourraient en partie contrecarrer ou, à l'inverse, amplifier certains des effets. Cette modélisation ne renseigne pas non plus sur les effets en matière de finances publiques ou de bien-être.

3.3 Plus d'activité et d'emploi induits par une localisation d'activité dans l'industrie manufacturière

D'après les simulations, si un établissement manufacturier produisant 1 Md€ de valeur ajoutée s'installait en France plutôt qu'à l'étranger, la valeur ajoutée augmenterait en France de 2,0 Md€ en tout, avec un entraînement des chaînes de fournisseurs de cet établissement à hauteur de 1,0 Md€. Le multiplicateur de valeur ajoutée, c'est-à-dire la hausse de valeur ajoutée totale rapportée à la hausse de valeur ajoutée de l'établissement supplémentaire, est donc égal à 2,0 dans l'industrie manufacturière (tableau 1). Au sein de l'industrie manufacturière, ce multiplicateur de valeur ajoutée est particulièrement élevé quand l'activité de l'établissement se situe dans l'industrie agro-alimentaire et l'industrie automobile (2,6), ainsi que dans l'industrie du bois et du papier (2,2). L'effet d'entraînement sur le reste de l'économie est plus faible avec un établissement dans la construction (multiplicateur de valeur ajoutée égal à 1,9), l'agriculture (1,7) et les services marchands (1,6).

TABLEAU 1 – **Effets sur la valeur ajoutée, la production et le *made in* de l'implantation d'activité en France plutôt qu'à l'étranger**

Secteur	Part dans la valeur ajoutée marchande (en %)	Effet sur la valeur ajoutée (en Md€)	Effet total sur la production (en Md€)	Effets directs (en Md€)	Effets indirects (en Md€)	Multiplicateur de production (sans unité)	Effets sur le *made in* (en points de %)
Agriculture	2.4	1.7	3.8	2.2	1.6	1.7	0.057
Branches manufacturières :	14.3	2	5.5	3.2	2.3	1.7	0.039
- Agro-alimentaire	2.7	2.6	7	3.5	3.5	2	0.082
- Industries extractives	0.1	3.3	19.1	14.1	5	1.4	0.083
- Biens d'équipement	1.9	1.7	4.3	2.7	1.6	1.6	0.013
dont Produits informatiques	0.8	1.5	3.1	2.1	1	1.5	0.008
dont Équipements électriques	0.4	1.8	4.6	2.9	1.7	1.6	0.015
dont Machines et équipements	0.7	2	5.4	3.2	2.2	1.7	0.017
- Matériels de transport	2.1	2.2	6.9	4.2	2.7	1.6	0.021
dont Automobiles	0.8	2.6	8.5	4.9	3.6	1.7	0.035
dont Autres matériels de transport	1.3	1.9	5.8	3.8	2	1.5	0.008
- Autres industries manuf.	7.5	1.8	4.6	2.8	1.8	1.6	0.041
dont Textile	0.3	1.9	4.9	3	1.9	1.6	0.030
dont Travail du bois	0.7	2.2	5.8	3.2	2.6	1.8	0.061
dont Produits chimiques	1.3	1.8	4.7	2.9	1.8	1.6	0.016
dont Produits pharmaceutique	0.8	1.5	3.1	2.1	1	1.5	0.010
dont Produits métalliques	1.2	1.8	4.4	2.6	1.8	1.7	0.044
dont Autres	1.8	1.7	3.9	2.4	1.5	1.6	0.039
Électricité/Gaz	3.3	2.1	5.9	3	2.9	2	0.066
Construction	7.2	1.9	4.5	2.5	2	1.8	0.083
Services marchands :	72.9	1.6	2.9	1.8	1.1	1.6	0.053
- Commerce	13	1.7	3.4	2	1.4	1.7	0.053
- Information et communication	6.9	1.6	3	1.9	1.1	1.6	0.057
- Activités scientifiques	17.9	1.7	3.2	1.9	1.3	1.7	0.052
Ensemble de l'économie marchande	100	1.7	3.5	2.1	1.4	1.7	0.050

Note : Chaque ligne renseigne l'effet de l'implantation en France plutôt qu'à l'étranger d'activité dans la branche concernée correspondant à 1 Md€ de valeur ajoutée. Compte tenu des arrondis, les décompositions peuvent légèrement différer de leur agrégation. L'effet sur la valeur ajoutée peut se lire aussi comme un multiplicateur de valeur ajoutée et correspond comptablement à l'effet sur le solde extérieur.
Lecture : L'implantation en France plutôt qu'à l'étranger d'un établissement dans la branche automobile générant 1 Md€ de valeur ajoutée induirait 2,6 Md€ de valeur ajoutée en tout dans l'économie française. La production automobile augmenterait de 8,5 Md€, dont 4,9 Md€ dans le nouvel établissement et 3,6 Md€ dans le reste de l'économie, soit un multiplicateur de production de 1,7. Le *made in* France augmenterait de 0,035 point de pourcentage.
Champ : France. Source : Eurostat, TIES FIGARO 2022, calculs des auteurs

Le montant de la production nécessaire à un établissement pour créer 1 Md€ de valeur ajoutée est plus ou moins élevé selon l'importance des consommations intermédiaires dans le processus de production : dans l'industrie automobile par exemple, un établissement doit assurer une production de 4,9 Md€ pour dégager une valeur ajoutée de 1 Md€, car les intrants y représentent une part particulièrement élevée de la production. Dans la branche cokéfaction-raffinage, caractérisée par une part des consommations intermédiaires dans la production très élevée, la production nécessaire est encore plus élevée. Dans les services marchands, qui mobilisent relativement peu d'intrants, la production de l'établissement pour 1 Md€ de valeur ajoutée est de 1,9 Md€.

Cette production a des effets d'entraînement : les achats d'intrants de l'établissement initial génèrent une production supplémentaire pour ces fournisseurs, cette production mobilise elle-même des consommations intermédiaires, et ainsi de suite. Toute la chaîne de fournisseurs, français et étrangers, fait face à une demande supplémentaire, et ils augmentent donc leur production en conséquence. Et plus l'établissement initial fait appel à des intrants, plus la production augmente dans toute cette chaîne de fournisseurs. Si un établissement s'installe à l'étranger plutôt qu'en France, ces effets d'entraînement existent également, mais on peut s'attendre à ce qu'ils soient de moindre ampleur en France. L'effet total sur la production cumule à la fois les effets directs et ces effets d'entraînement. Comparer les cas d'une installation en France plutôt qu'à l'étranger nécessite de mesurer les effets d'entraînement d'une installation en France, nets de ceux d'une installation à l'étranger. Selon la branche dans laquelle se situe le nouvel établissement, la production augmente au total de 8,5 Md€ (industrie automobile), de 7,0 Md€ (industrie agro-alimentaire), ou de 2,9 Md€ (services marchands). Du fait de consommations intermédiaires, directes et indirectes, provenant plus de France dans l'industrie agro-alimentaire que dans l'industrie automobile, le *made in* France y augmenterait nettement plus.

L'effet sur l'emploi en France dépend non seulement des effets d'entraînement, mais aussi de l'intensité en emploi des branches dont l'activité est affectée. La localisation en France plutôt qu'à l'étranger d'activité manufacturière générant directement 1 Md€ de valeur ajoutée créerait 24 400 emplois en tout (tableau 2). Au sein des branches manufacturières, une localisation d'activité en France dans l'industrie agro-alimentaire, l'industrie du bois, l'automobile et le textile-habillement augmenterait le plus l'emploi. Les créations d'emplois hors de l'établissement initial y seraient particulièrement marquées dans l'industrie agro-alimentaire et l'automobile, si on rapporte le total de créations d'emplois rapporté à l'emploi dans l'établissement initial, ces multiplicateurs d'emplois seraient très élevés (de 2,9 et 3,8).

TABLEAU **2 – Effets sur l'emploi de l'implantation d'activité en France plutôt qu'à l'étranger (en milliers de personnes physiques)**

Secteur	Part dans la valeur ajoutée marchande (en %)	Effet total sur l'emploi	Effets directs	Effets indirects	Dont effets indirects sur la même branche	Dont effets indirects sur d'autres branches	Multiplicateur d'emploi (sans unité)
Agriculture	2.4	33.9	23.4	10.5	4.7	5.8	1.4
Branches manufacturières :	14.3	24.4	10.5	13.9	0.9	13	2.3
- Agro-alimentaire	2.7	37.4	12.8	24.6	1.8	22.8	2.9
- Industries extractives	0.1	31	5	26	0	26	6.2
- Biens d'équipement	1.9	19.4	9.5	9.9	0.2	9.7	2
dont Produits informatiques	0.8	12.6	6.5	6.1	0.1	6	1.9
dont Équipements électriques	0.4	21.7	11.1	10.6	0.2	10.4	2
dont Machines et équipements	0.7	25.4	11.9	13.5	0.2	13.3	2.1
- Matériels de transport	2.1	20.8	5.6	15.2	0.2	15	3.7
dont Automobiles	0.8	29.5	7.7	21.8	0.3	21.5	3.8
dont Autres matériels de transport	1.3	15.3	4.2	11.1	0.3	10.8	3.6
- Autres industries manuf.	7.5	21.8	11.3	10.5	1	9.5	1.9
dont Textile	0.3	29.6	17.3	12.3	1.4	10.9	1.7
dont Travail du bois	0.7	30	15.5	14.5	1.3	13.2	1.9
dont Produits chimiques	1.3	14.5	5.5	9	0.3	8.7	2.6
dont Produits pharmaceutique	0.8	9.8	3.8	6	0	6	2.6
dont Produits métalliques	1.2	25.6	15.1	10.5	2.1	8.4	1.7
dont Autres	1.8	21	12.3	8.7	1.1	7.6	1.7
Électricité/Gaz	3.3	14.4	4.5	9.9	2	7.9	3.2
Construction	7.2	27	14.4	12.6	3	9.6	1.9
Services marchands	72.9	18.2	11.7	6.5	1	5.5	1.6
- Commerce	13	25	17	8	0.4	7.6	1.5
- Information et communication	6.9	13.9	7.7	6.2	0.8	5.4	1.8
- Activités scientifiques	17.9	21.7	14.1	7.6	1.8	5.8	1.5
Ensemble de l'économie marchande	100	19.9	11.8	8.1	1.1	7	1.7

Note : Chaque ligne renseigne l'effet de l'implantation en France plutôt qu'à l'étranger d'activité dans la branche concernée correspondant à 1 Md€ de valeur ajoutée. Compte tenu des arrondis, les décompositions peuvent légèrement différer de leur agrégation. L'effet sur la valeur ajoutée peut se lire aussi comme un multiplicateur de valeur ajoutée et correspond comptablement à l'effet sur le solde extérieur. Lecture : L'implantation en France plutôt qu'à l'étranger d'un établissement dans la branche automobile correspondant à 1 Md€ de valeur ajoutée créerait 29 500 emplois en personnes physiques, dont 7 700 dans le nouvel établissement et 21 800 dans le reste de l'économie, soit un multiplicateur d'emploi de 3,8. Champ : France. Source : Eurostat, TIES FIGARO 2022, calculs des auteurs

Une augmentation de l'activité en France plutôt qu'à l'étranger aurait également un effet positif sur le solde extérieur français : la hausse de la production d'une branche de l'économie en France d'un côté serait en partie exportée, et d'un autre côté permettrait de réduire les importations de biens produits à l'étranger. La demande adressée aux produits français dans les différents pays du monde augmente au détriment des produits similaires étrangers. Ces évolutions ont donc des répercussions sur tout le réseau de production mondial : la production supplémentaire en France fait appel à des intrants supplémentaires, en France principalement mais aussi à l'étranger. Selon le positionnement des pays dans les chaînes de valeur, ces différents mécanismes sont plus ou moins forts. En moyenne, pour une localisation d'activité de 1 Md€ dans les branches manufacturières en France plutôt que chez nos partenaires commerciaux, la valeur ajoutée baisserait dans la plupart des pays (de 275 millions d'euros (M€) en Allemagne, de 130 M€ en Italie et de 100 M€ en Espagne).

3.4 Localiser l'activité en France fait baisser les émissions mondiales de CO_2

La répartition géographique des émissions mondiales peut s'établir selon deux approches : la première répertorie les émissions qui ont physiquement lieu sur les territoires nationaux. Cette méthode, dite des inventaires nationaux, est retenue dans les engagements internationaux des pays. La seconde approche, dite de l'empreinte carbone, mesure les émissions associées à la consommation de produits par les résidents d'un pays, indépendamment du lieu de fabrication de ces produits (Wiedmann et Minx, 2008).

Il est possible de passer de l'inventaire à l'empreinte carbone (9,2 téqCO_2 en 2019) en retranchant de l'inventaire (6,9 téqCO_2) les GES émis sur le territoire pour des produits qui sont exportés (2,5 téqCO_2) et en ajoutant les GES émis à l'étranger pour des produits importés (4,8 téqCO_2).

La France se caractérise par un mix énergétique et une production moins carbonée que ses principaux partenaires économiques (Bourgeois et al., 2022). Par conséquent, si un établissement s'installe en France plutôt qu'à l'étranger, une plus grande part du PIB mondial est alors produite en France et les émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) sont plus faibles. Cette baisse des émissions mondiales de GES, qui est visible quelle que soit la branche d'activité de l'économie, est évaluée à 0,7 MtCO_2 pour un nouvel établissement manufacturier générant 1 Md€ de valeur ajoutée (tableau 3). Dans cet exemple, les émissions

en France augmentent de 0,5 $MtCO_2$ mais elles baissent de 1,2 $MtCO_2$ dans le reste du monde. L'empreinte Française baisse elle de 0,3 $MtCO_2$. A plus grande échelle, et sous les conditions de cet exercice, si l'activité manufacturière était réhaussée en France de 1 point de PIB en substitution de production ailleurs, les émissions mondiales baisseraient de 15 $MtCO_2$ (elles baisseraient d'environ 35 $MtCO_2$ ailleurs) et l'empreinte carbone de la France baisserait d'environ 8 $MtCO_2$.

TABLEAU **3 – Effets sur les émissions de CO_2 de l'implantation d'activité en France plutôt qu'à l'étranger (en $ktCO_2$)**

Secteur	Effets sur les émissions dans le monde	Effets sur les émissions en France	Effets directs	Effets indirects	Multiplicateur d'émissions	Effets dans les autres pays	Effets sur l'empreinte carbone de la France
Agriculture	-557	482	335	147	1.4	-1039	-354
Branches manufacturières :	-742	533	342	191	1.6	-1275	-291
- Agro-alimentaire	-501	467	174	293	2.7	-968	-344
- Industries extractives	-855	5460	5031	429	1.1	-6315	-591
- Biens d'équipement	-723	151	35	116	4.3	-874	-102
dont Produits informatiques	-485	83	17	66	4.9	-568	-55
dont Équipements électriques	-1121	173	47	126	3.7	-1294	-196
dont Machines et équipements	-749	213	47	166	4.5	-962	-98
- Matériels de transport	-660	185	31	154	6	-845	-89
dont Automobiles	-569	329	60	269	5.5	-898	-174
dont Autres matériels de transport	-719	93	13	80	7.2	-812	-34
- Autres industries manuf.	-853	651	474	177	1.4	-1504	-368
dont Textile	-772	226	115	111	2	-998	-277
dont Travail du bois	-528	452	258	194	1.8	-980	-301
dont Produits chimiques	-817	983	777	206	1.3	-1800	-125
dont Produits pharmaceutique	-75	130	61	69	2.1	-205	-5
dont Produits métalliques	-764	204	48	156	4.2	-968	-393
dont Autres	-433	116	22	94	5.3	-549	-245
Électricité/Gaz	-4844	1065	640	425	1.7	-5909	-3886
Construction	-450	239	68	171	3.5	-689	-442
Services marchands	-197	101	54	47	1.9	-298	-139
- Commerce	-121	107	41	66	2.6	-228	-83
- Information et communication	-73	56	9	47	6.2	-129	-55
- Activités scientifiques	-101	72	29	43	2.5	-173	-77
Ensemble de l'économie marchande	-453	213	122	91	1.7	-666	-309

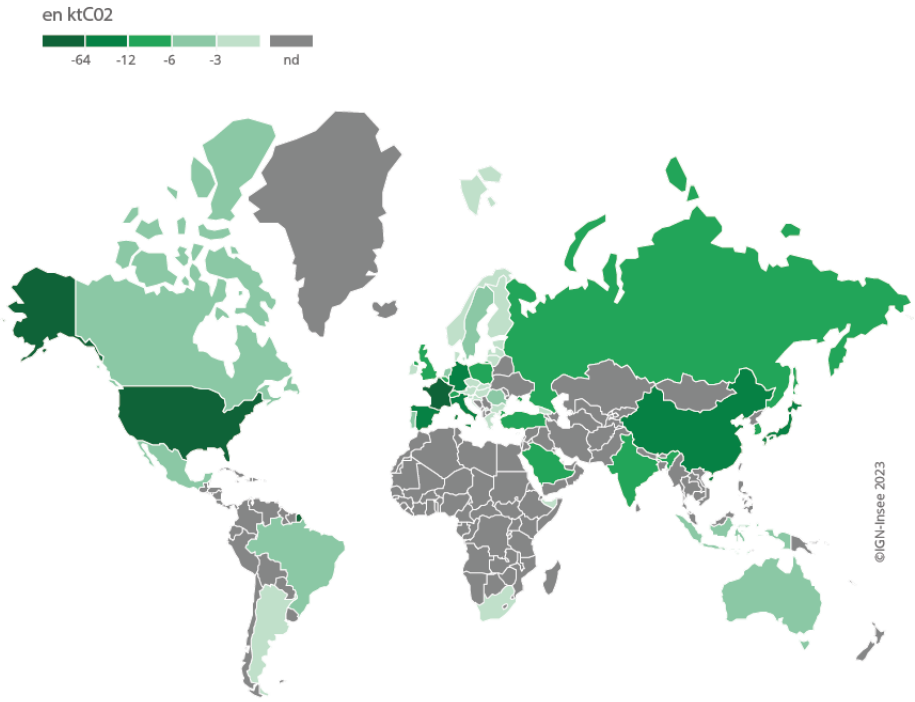
Note : Chaque ligne renseigne l'effet de l'implantation en France plutôt qu'à l'étranger d'activité dans la branche concernée correspondant à 1 Md€ de valeur ajoutée. Compte tenu des arrondis, les décompositions peuvent légèrement différer de leur agrégation. L'effet sur la valeur ajoutée peut se lire aussi comme un multiplicateur de valeur ajoutée et correspond comptablement à l'effet sur le solde extérieur. Lecture : L'implantation en France plutôt qu'à l'étranger d'activité dans la branche automobile correspondant à 1 Md€ de valeur ajoutée augmenterait les émissions de CO_2 de 330 $ktCO_2$ en France mais éviterait 900 $ktCO_2$ dans les autres pays, soit un effet net sur les émissions mondiales de CO_2 de -570 $ktCO_2$. Dans ce scénario l'empreinte CO_2 de la France se réduirait de 170 $ktCO_2$. Champ : France. Source : Eurostat, TIES FIGARO 2022, calculs des auteurs

Cette baisse des émissions mondiales est d'autant plus prononcée que l'activité augmente en France dans des branches où l'intensité en émissions de GES est nettement inférieure en France à ce qu'elle est dans le reste du monde. Ainsi, les branches équipements électriques et produits chimiques sont toutes les deux très carbonées dans le reste du monde : l'installation de ces activités en France plutôt qu'à l'étranger permet d'y éviter 1 290 et 1 800 $ktCO_2$ respectivement. Mais la production d'équipements électriques est très largement moins carbonée en France qu'à l'étranger, si bien que les émissions augmentent de seulement 170 $ktCO_2$ en France pour un établissement dans cette branche, c'est-à-dire 13 % de la baisse des émissions observée à l'étranger. C'est moins vrai pour la branche produits chimiques, pour laquelle l'augmentation sur le territoire national est de 980 $ktCO_2$, soit 54 % de la baisse à l'étranger.

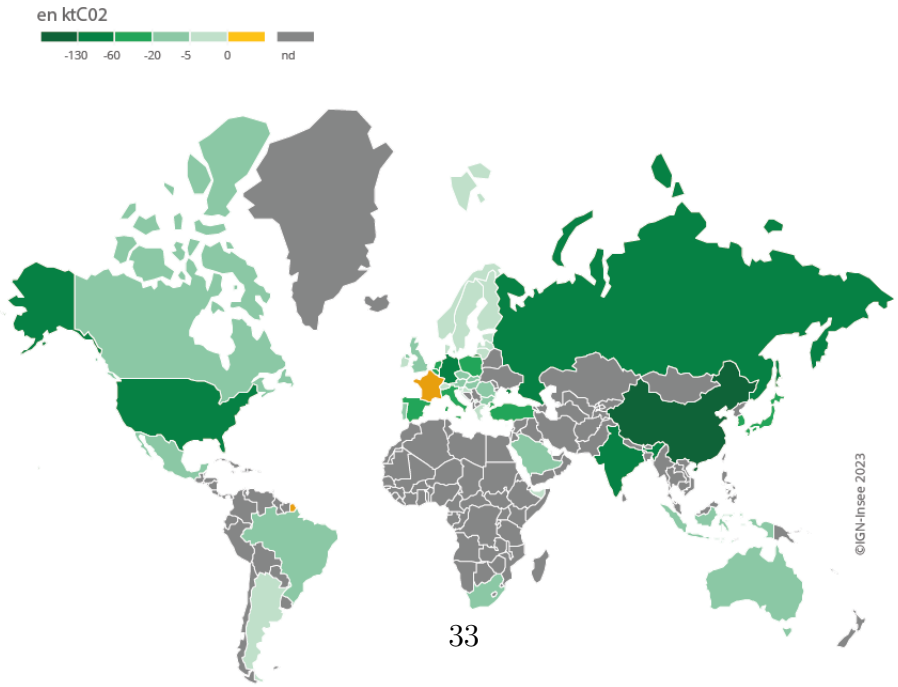
Selon les émissions engendrées par l'installation d'un nouvel établissement en France et selon que la chaîne de ses fournisseurs fasse intervenir des branches plus ou moins carbonées, le multiplicateur d'émissions sera plus ou moins élevé. Avec un établissement dans les branches manufacturières, les émissions françaises de GES augmenteraient ainsi en tout de 1,6 fois plus que celles engendrées par cet établissement, contre 1,9 fois plus dans les services marchands et 3,4 fois plus dans la construction. Cependant, si le nouvel établissement utilise des technologies moins carbonées qu'un établissement moyen produisant actuellement dans la même branche, les émissions augmenteraient moins. La hausse des émissions serait alors d'autant plus atténuée pour un établissement à l'étranger, car la production y est plus carbonée. Cela concerne surtout a priori les émissions ayant trait à cet établissement, car la décarbonation de toute la chaîne de fournisseurs déjà installés peut prendre du temps.

Le changement de structure de production mondiale modifie ainsi la répartition des émissions de GES. Puisqu'elle augmente la production française, la localisation d'activité en France plutôt qu'à l'étranger augmente les émissions de GES sur le territoire français, ce qui freine l'atteinte des objectifs nationaux de baisse d'émissions de GES, qui portent sur les inventaires nationaux. A contrario, les émissions à la production, et donc l'inventaire national, baissent dans la plupart des autres pays, ce qui facilite l'atteinte de leurs objectifs nationaux. Avec la localisation d'activité manufacturière en France plutôt qu'à l'étranger, la baisse des émissions serait particulièrement marquée en Chine (-280 $ktCO_2$), en Allemagne (-80 $ktCO_2$), en Russie, aux États-Unis et en Inde (-70 $ktCO_2$). Comme les produits français relativement peu carbonés représenteraient alors une plus grande part de la consommation de ces autres pays, l'empreinte carbone baisserait dans tous les pays (graphique 6).

GRAPHIQUE 6 – **(a) Effets de l'implantation d'activité manufacturière en France plutôt qu'à l'étranger sur l'empreinte carbone par pays, en 2019**



(b) Effets de l'implantation d'activité manufacturière en France plutôt qu'à l'étranger sur les émissions à la production par pays, en 2019



Note : Les pays de la zone « Reste du monde » ne sont pas détaillés dans la base FIGARO d'Eurostat. Ces pays sont représentés en gris sur la carte.
Lecture : L'implantation en France plutôt qu'à l'étranger d'activité manufacturière correspondant à 1 Md€ de valeur ajoutée réduirait l'empreinte carbone principalement en France (-291 $ktCO_2$), mais aussi aux États-Unis (-84 $ktCO_2$), en Allemagne (-42 $ktCO_2$) et en Chine (-38 $ktCO_2$).
Source : Eurostat, TIES FIGARO 2022, calculs des auteurs.

4 Effets de l'implantation d'une entreprise automobile en France sur les chaînes de valeur mondiales

4.1 Simulation de l'implantation d'une entreprise dans la branche automobile

Cette section approfondit l'analyse des réorganisations des chaînes de valeur après l'implantation d'activité en France en se concentrant sur la branche automobile. Dans un premier temps, nous décomposons les effets sur l'activité, l'emploi et les émissions selon qu'ils sont liés aux intrants (nationaux ou étrangers) ou à la demande finale, nationale ou étrangère. Dans un second temps, nous décrivons comment les résultats varient quand une production intérieure automobile supplémentaire remplace celle d'un pays partenaire (Chine, Allemagne, Espagne, pays hors Union européenne) plutôt que la moyenne des pays fournisseurs de la France, pondérée par le niveau des importations (dit 'scénario central', correspondant aux résultats présentés dans les sections précédentes). Ces cas de figure permettent mieux de rendre compte de chocs idiosyncratiques (géopolitique, catastrophe naturelle, etc.).

Les effets sur la valeur ajoutée et l'emploi sont proches de ceux du scénario central lors d'une substitution bilatérale avec l'Allemagne, ils sont légèrement plus faibles lors d'une substitution avec l'Espagne (-9 %) et plus élevés avec la Chine (+5 %) et les pays hors Union européenne (+4 %, tableau 4). Les émissions mondiales de CO_2 diminuent fortement dans le cas d'une substitution avec les pays hors Union européenne et avec la Chine, dont la production est plus intensive en carbone qu'en France. La substitution bilatérale avec l'Allemagne a un effet opposé conduisant à une augmentation des émissions mondiales de CO_2 du fait d'une filière automobile moins carbonée en Allemagne qu'en France.

TABLEAU 4 – **Effets de l'implantation d'une entreprise dans la branche automobile en France**

Variantes	Multiplicateur de		Emploi	Émissions	
	valeur ajoutée	production		mondiales	françaises
Scénario central	2.6	1.7	29.5	-568.9	328.7
dont intrants	1	0.7	11.3	-206	126.3
- dont intrants intérieurs	0.3	0.2	3.4	-57.6	37.8
dont demande finale	1.6	1.1	18.2	-362.8	202.3
- dont demande finale intérieure	0.6	0.4	6.7	-135.4	74.6
Substitution avec :					
- Espagne	2.4	1.6	26.8	-355.4	286.1
- Allemagne	2.6	1.7	29.9	252.9	332.9
- hors Union européenne	2.7	1.8	30.7	-1,579.5	350.8
- Chine	2.7	1.8	31	-3,133.2	358.1

Lecture : Chaque ligne renseigne l'effet de l'implantation en France plutôt qu'à l'étranger d'activité dans la branche concernée correspondant à 1 Md€ de valeur ajoutée. Multiplicateur sans unité. Emploi en milliers de personnes physiques. Émissions en $ktCO_2$. Champ : France. Source : Eurostat, TIES FIGARO 2022, calculs des auteurs

4.2 Effets de la transition vers les moteurs électriques

Le secteur automobile est actuellement dans une phase de transition vers la voiture électrique. L'Union européenne a interdit la vente de véhicules thermiques neufs à partir de 2035, tandis qu'aux États-Unis et en Chine, la transition vers la voiture électrique est soutenue par des politiques industrielles volontaristes (Inflation Reduction Act, Made in China 2025).

Pour simuler les effets de la transition vers les moteurs électriques, les coefficients techniques de la fonction de production du secteur automobile sont modifiés. La production de voitures électriques nécessite l'intégration de nouveaux composants tels que les batteries et les moteurs électriques, en remplacement des composants traditionnels. Nous substituons donc dans les consommations intermédiaires de la branche automobile une partie des composants de véhicules thermiques par des composants de véhicules électriques, ce qui se traduit par :

— Une augmentation des consommations intermédiaires de la branche automobile provenant du secteur des équipements électriques.
— Une diminution de même ampleur des consommations intermédiaires de la branche automobile provenant de la production de moteurs thermiques et des machines et équipements.

En l'absence d'informations précises pour quantifier la substitution d'un type d'intrants à un autre, nous testons différentes hypothèses, par exemple une substitution entre 1% et 30% des intrants concernés.

En pratique, trois paramètres varient dans les simulations considérées :

— L'intensité en emploi. Par exemple, un paramètre égal à 0,9 correspond à une baisse de 10% du nombre d'emplois dans la branche automobile.

— La substitution entre consommations intermédiaires. Un paramètre égal à 0,9 correspond à une baisse de coefficient technique de la branche automobile de chaque pays en produit en composants thermiques de 10%, et une hausse de 10% en composants électriques, pour chaque pays.

— La substitution entre consommations finales. Un paramètre égal à 0,9 correspond à une baisse de 10% de la demande finale en hydrocarbure, et une hausse de la consommation électrique dans chaque pays.

Le tableau 5 montre la sensibilité des résultats. Les scénarios correspondent à un jeu de paramètres. Par exemple, le scénario A retient une baisse de 20% du nombre d'emplois (paramètre de 0,8 pour l'emploi), de 60% du coefficient technique du produit en composants thermiques (paramètre de 0,4 pour les consommations intermédiaires), et de 60% pour la demande finale (paramètre de 0,4 pour la demande finale). Les effets de l'implantation d'une activité automobile en France plutôt qu'à l'étranger restent globalement proches de ceux du scénario central pour une part de ces intrants se substituant d'une catégorie à l'autre dans une fourchette assez large (de l'ordre de 0 à 15%)

TABLEAU **5 – Écarts au scénario central des différents scénarios variantés de coefficients techniques de la branche automobile en France**

Effets des scénarios	A	B	C	D	E
- sur la valeur ajoutée	261	271	221	235	252
- sur le *made in*	0,0035	0,0037	0,0034	0,0035	0,0036
- sur l'emploi	2,95	3,07	2,20	2,43	2,65
- sur l'empreinte carbone	-17	-53	-50	-51	-52
- sur les émissions en France	33	35	28	30	33
- sur les émissions mondiales	-57	-158	-132	-140	-149

Lecture : Chaque ligne renseigne l'effet des scénarios. Valeur ajoutée en millions d'Euros, emploi en dix milliers de personnes physiques, empreinte carbone et émissions en $ktCO_2$. Note : Les différents scénarios (de A à E) correspondent à des jeux de paramètres différents : Le scénario A retient un paramètre de 0,8 pour l'emploi, de 0,4 pour les consommations intermédiaires, et de 0,4 pour la demande finale. Les scénarios suivants correspondent aux triplets : B = (0,9 ;0,6 ;0,5), C = (0,9 ;0,8 ;0,7), D = (0,9 ;0,9 ;0,9), E = (0,9 ;0,95 ;0,95). Champ : France. Source : Eurostat, TIES FIGARO 2022, calculs des auteurs.

4.3 La déformation de la chaîne de valeur de l'automobile

Les résultats des simulations d'implantation en France d'une activité automobile plutôt qu'à l'étranger tiennent compte des ré-allocations du commerce international mais ne permettent pas d'identifier précisément quels maillons des chaînes de valeur sont les plus affectés. Pour quantifier les effets de propagation sur le réseau de production (sur les fournisseurs des fournisseurs par exemple, ou encore les flux entre pays tiers), nous décomposons la simulation de l'effet d'une implantation d'une activité dans la branche automobile. Il s'agit de séparer chaque maillon des chaînes de valeur, afin d'identifier ceux dont la déformation est la plus prononcée.

Cette décomposition mobilise l'analyse structurelle des chemins (Structural Path Analysis, SPA) issue de la littérature input-output (Defourny et Thorbecke, 1984). Elle décrit les chemins qui lient le premier noeud de la branche productrice d'un pays donné jusqu'au dernier, c'est-à-dire la voiture achetée par un consommateur, en passant par des noeuds intermédiaires, correspondant à chaque ajout d'intrants. L'analyse structurelle des chemins, appliquée aux tableaux internationaux des entrées-sorties, permet notamment de mesurer les contributions de chaque pays aux chaînes de valeur (annexe C).

Le principe est le suivant : la matrice inverse de Leontief est décomposée sous forme de la somme jusqu'à l'infini des puissances de A. Le SPA consiste à détailler les coefficients techniques en chemins correspondant aux étapes de la production, puis à sélectionner les chemins qui contribuent le plus à la production d'une branche. Les résultats sont présentés en différence par rapport au scénario central pour identifier les principaux pays et branches affectés par l'implantation d'une activité.

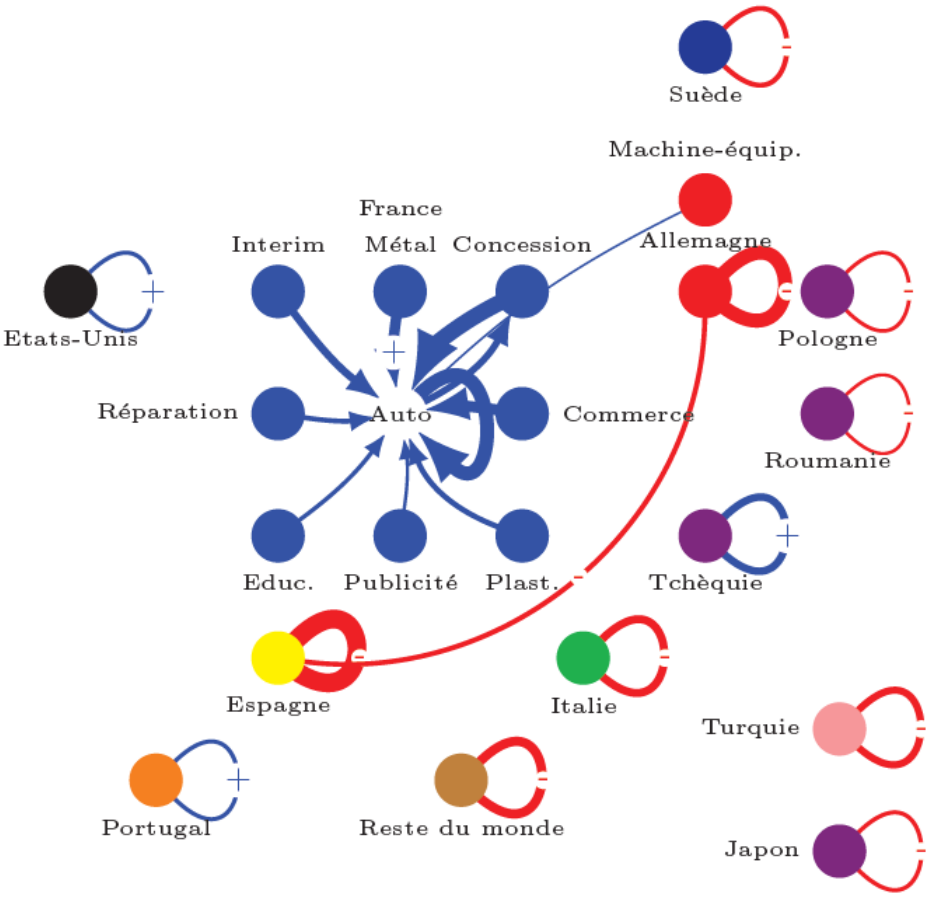
La méthode du SPA est appliquée aux effets sur la valeur ajoutée, les émissions et l'empreinte carbone de la France de l'implantation en France d'une entreprise de la branche automobile plutôt qu'à l'étranger (sans distinguer un pays de production alternatif, comme dans le scénario central étudié en section 3). Les émissions sont concentrées sur quelques branches, contrairement à la valeur ajoutée dont la répartition est plus homogène entre branches. En définitive, les pays et les branches les plus exposés dans les approches économiques et environnementales peuvent ne pas concorder.

Le graphique 7 montre les évolutions des flux de valeur ajoutée pour les maillons les plus affectés par la localisation d'un établissement automobile en France plutôt que dans le reste du monde. Il fait apparaître en premier lieu un effet positif sur la valeur ajoutée de la branche automobile en France du fait de sa forte auto-

consommation, par exemple les moteurs thermiques. Par effet d'entraînement en amont, les branches liées à l'activité de l'automobile sont aussi stimulées : notamment le commerce de gros et de détail, la fabrication de produits métalliques, les agences d'intérim, la réparation et installation de machines et d'équipements, et la fabrication de produits en caoutchouc et en plastique.

L'implantation de l'activité automobile en France se substitue à des importations vis-à-vis de nos principaux partenaires commerciaux, ce qui se traduit par une baisse de la valeur ajoutée de la branche automobile en Allemagne et en Espagne mais aussi dans une moindre mesure en Italie, en Turquie, et dans le reste du monde. En revanche, la hausse de la production automobile en France stimule aussi les branches des pays fournisseurs, par exemple en République Tchèque. Les relations au sein de la branche automobile entre l'Espagne et l'Allemagne sont affaiblies, mais le regain d'activité en France dans cette branche stimule les importations de machines et équipements allemandes.

GRAPHIQUE **7 – Effets de l'implantation d'une entreprise dans le secteur automobile en France plutôt qu'à l'étranger sur la valeur ajoutée**



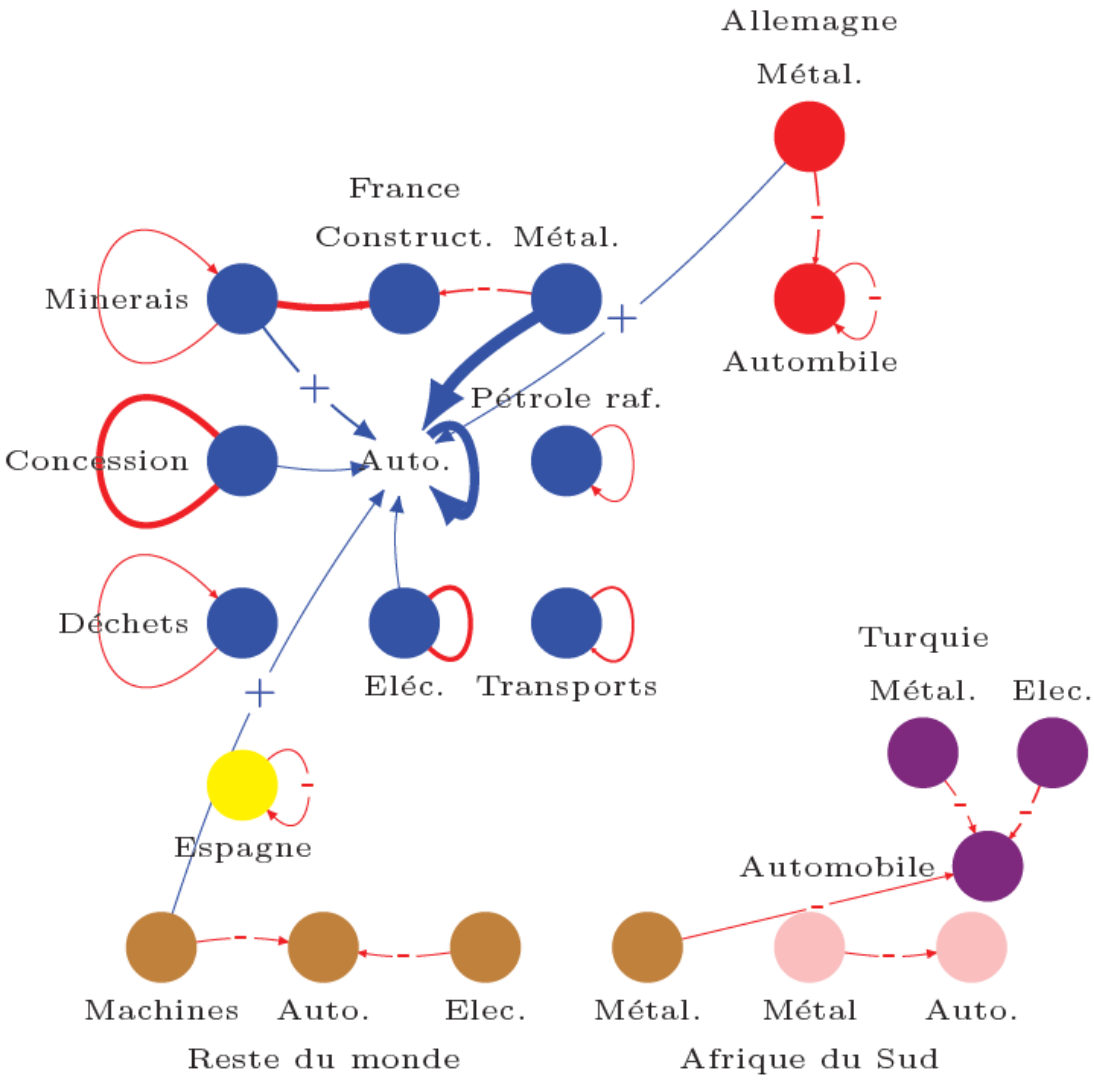
Lecture : Représentation des effets sur les chaînes de valeurs (chemins) de l'implantation d'une activité automobile en France plutôt qu'à l'étranger. Les traits bleus correspondent à un effet positif sur la valeur ajoutée, les traits rouges au contraire à un effet négatif. L'épaisseur des traits est proportionnelle à l'évolution du lien. Lorsqu'un pays est présenté sans indication de branche, il s'agit implicitement de la branche automobile qui est concernée.
Source : Eurostat, TIES FIGARO 2022, calculs des auteurs.

Les émissions de GES de la métallurgie, qui fournit la branche automobile, augmentent (graphique 8). C'est aussi le cas des émissions de la branche de fabrication des autres produits minéraux non métalliques, et de la branche commerce de gros. En revanche, les émissions sont réduites :

— en France : dans la métallurgie et la fabrication d'autres produits minéraux non métalliques qui alimentent la branche construction. Les émissions directes d'électricité/gaz et de commerce de gros, mais aussi de transport terrestre et d'assainissement. Ce repli provient pour partie de la baisse des exportations de ces produits, que ce soit à destination de consommations intermédiaire ou finale étrangères, puisqu'on fait l'hypothèse d'un plus grand recours à des consommations intérieures en contrepartie de moindres importations.
— à l'étranger : en Turquie, les émissions d'électricité/gaz, de la métallurgie et de la fabrication d'autres produits minéraux non métalliques qui fournissent la branche automobile. En Espagne, en Afrique du Sud et dans le reste du monde, les émissions de la métallurgie qui fournissent la branche automobile. C'est aussi le cas des émissions de la métallurgie du reste du monde qui fournit l'industrie automobile turque.

Si certains des effets sont intuitifs, d'autres qui transitent par des pays tiers (effets de débordement, par exemple en Turquie) sont moins prévisibles. C'est l'intérêt d'utiliser l'approche SPA associée à l'approche développée dans cet article, ce qui permet de décrire de façon détaillée la déformation des chaînes de valeur lors de l'implantation d'une entreprise du secteur automobile en France plutôt qu'un recours à des importations.

GRAPHIQUE 8 – **Effets de l'implantation d'une entreprise dans le secteur automobile en France plutôt qu'à l'étranger sur les émissions à la production**



Lecture : Représentation des effets sur les chaînes de valeurs (chemins) de l'implantation d'une activité automobile en France plutôt qu'à l'étranger. Les traits bleus correspondent à un accroissement des émissions de CO_2, les traits rouges au contraire à un effet négatif. L'épaisseur des traits est proportionnelle à l'intensité du lien. Lorsqu'un pays est présenté sans indication de branche, il s'agit implicitement de la branche automobile qui est concernée.
Source : Eurostat, TIES FIGARO 2022, calculs des auteurs.

Conclusion

Le *made in* France baisse tendanciellement depuis 1965, avec notamment la demande croissante de produits chinois par les Français depuis une vingtaine d'années. Cette tendance n'est pas propre à la France, elle est observée aussi dans les grandes économies européennes. La vulnérabilité des approvisionnements augmente dans l'industrie dans un contexte marqué par une intensification des tensions géopolitiques et commerciales.

Cette étude permet d'illustrer les effets en cascade liés à la localisation d'activité en France plutôt qu'à l'étranger, qui résultent d'une plus grande attractivité de l'industrie française :

- Des effets d'entraînement sur les autres branches de l'économie conduisant à des créations d'emplois.
- Une baisse des émissions de CO_2 au niveau mondial, puisqu'une plus grande part de la production mondiale est alors produite en France, avec un bouquet énergétique moins carboné.
- Une réduction du risque de vulnérabilité conduisant à renforcer la résilience de l'industrie.

Le choix de la branche sur laquelle faire porter une politique d'attractivité dépend des pondérations affectées à chaque objectif. Si l'objectif principal est de stimuler l'activité économique, les branches à fort potentiel de création d'emplois, comme l'automobile ou l'aéronautique, sont les plus pertinentes. Si l'objectif principal est de réduire la vulnérabilité de l'économie, les branches stratégiques, comme la défense ou la santé, sont les plus prioritaires. Si l'objectif principal est de réduire les émissions de CO_2, les branches à forte intensité énergétique, comme la métallurgie ou la chimie, sont les plus prometteuses. Selon les objectifs poursuivis, les cibles prioritaires ne sont donc pas les mêmes, aucune branche n'ayant un net avantage sur les différentes dimensions.

L'effet d'un choix de localisation en France plutôt qu'à l'étranger dans l'industrie automobile génère des effets d'entraînement dans l'industrie et plus généralement sur l'économie française. Mais cela se traduit aussi par des effets de débordement sur les autres pays, qui résultent de l'imbrication des chaînes de valeurs, comme la baisse des émissions carbone de la métallurgie allemande qui fournit le secteur automobile français, ou encore la baisse de valeur ajoutée des échanges entre l'Allemagne et l'Espagne.

Cet exercice a vocation à illustrer les mécanismes liés à la complexité des chaînes de valeur, mais ne permet pas de retracer l'ensemble des effets. Elles reposent sur

plusieurs hypothèses, notamment de stabilité des modes de production, ou de substituabilité parfaite d'un bien produit en France avec un bien produit ailleurs. En outre, la modélisation ne permet pas d'établir les conditions qui permettraient une telle substitution. Le choix d'implantation dans un pays plutôt qu'un autre est lié à un arbitrage de localisation d'activité par les entreprises, dont le choix n'est pas modélisé ici et qui dépend à la fois du contexte institutionnel et économique. Par ailleurs, les simulations ignorent la possibilité de contraintes d'approvisionnement ou de goulets d'étranglement dans les autres branches à la suite d'une variation de demande. L'investissement initial (et ses éventuels effets d'entraînement) lié à l'installation d'un nouvel établissement n'est pas pris en compte. Les flux de capitaux, entrants pour un établissement français s'installant à l'étranger et sortants pour un établissement étranger s'installant en France, ne sont pas modélisés : l'effet décrit sur le solde commercial peut se répercuter plus ou moins sur le solde courant selon la nationalité de l'entreprise concernée. La modélisation correspond à un équilibre général (de type walrassien), mais néglige les effets de bouclage macro-économique par les prix ou les revenus, qui pourraient en partie contrecarrer ou, à l'inverse, amplifier certains des effets. Cette modélisation ne renseigne pas non plus les effets en matière de finances publiques ou de bien-être de ces modifications de localisation de la production.

Références

Acemoglu, D., Carvalho, V. M., Ozdaglar, A. et Tahbaz-Salehi, A. (2012). The network origins of aggregate fluctuations. *Econometrica*, 80(5):1977–2016.

Arjona, R., Connell, W. et Herghelegiu, C. (2023). An enhanced methodology to monitor the eu's strategic dependencies and vulnerabilities. *European Commission WP2023/14*.

Arkolakis, C., Costinot, A. et Rodríguez-Clare, A. (2012). New trade models, same old gains ? *American Economic Review*, 102(1):94–130.

Bachmann, R., Baqaee, D., Bayer, C., Kuhn, M., Löschel, A., Moll, B., Peichl, A., Pittel, K. et Schularick, M. (2022). What if ? the economic effects for germany of a stop of energy imports from russia. *CESifo EconPol Policy Report 36*.

Baldwin, R., Freeman, R. et Theodorakopoulos, A. (2023). Hidden exposure : measuring us supply chain reliance. *Bank of England Working Paper No. 1052*.

Baqaee, D. et Farhi, E. (2021). Keynesian production networks and the covid-19 crisis : A simple benchmark. *AEA Papers and Proceedings*, 111:272–276.

Baqaee, D., Moll, B., Landais, C. et Martin, P. (2022). The economic consequences of a stop of energy imports from russia. *Focus CAE*, 84.

Baqaee, D. R. et Farhi, E. (2019). The macroeconomic impact of microeconomic shocks : Beyond hulten's theorem. *Econometrica*, 87(4):1155–1203.

Berthou, A., Carluccio, J. et Gaulier, G. (2020). Les chaînes de valeur internationales à l'épreuve de la covid-19. *Banque de France, Bloc-Notes Eco*.

Bonneau, C. et Nakaa, M. (2020). Vulnérabilité des approvisionnements français et européens. *Trésor-Eco*, (274):3.

Bourgeois, A. et Briand, A. (2019a). Le modèle Avionic : la modélisation input/output des comptes nationaux. *Document de Travail Insee n° G2019/02*.

Bourgeois, A. et Briand, A. (2019b). Le « made in France» : 81% de la consommation totale des ménages, mais 36% seulement de celle des biens manufacturés. *Insee Première - 1756*.

Carvalho, V. M., Nirei, M., Saito, Y. U. et Tahbaz-Salehi, A. (2021). Supply chain disruptions : Evidence from the great east japan earthquake. *The Quarterly Journal of Economics*, 136(2):1255–1321.

Defourny, J. et Thorbecke, E. (1984). Structural path analysis and multiplier decomposition within a social accounting matrix framework. *The Economic Journal*, 94(373):111–136.

Dietzenbacher, E. et Lahr, M. L. (2013). Expanding extractions. *Economic Systems Research*, 25(3):341–360.

Dietzenbacher, E., van Burken, B. et Kondo, Y. (2019). Hypothetical extractions from a global perspective. *Economic Systems Research*, 31(4):505–519.

Evenett, S., Jakubik, A., Martín, F. et Ruta, M. (2024). The return of industrial policy in data. *IMF Working Paper No. 2024/001*.

Foster-McGregor, N. et Stehrer, R. (2013). Value added content of trade : A comprehensive approach. *Economics Letters*, 120(2):354–357.

Gabaix, X. (2011). The granular origins of aggregate fluctuations. *Econometrica*, 79(3):733–772.

Gerschel, E., Martinez, A. et Mejean, I. (2020). Propagation des chocs dans les chaînes de valeur internationales : le cas du coronavirus. *Notes IPP n°53*.

Hirschman, A. O. (1958). Interdependence and industrialization. *The strategy of economic development*, pages 98–119.

Hulten, C. R. (1978). Growth accounting with intermediate inputs. *The Review of Economic Studies*, 45(3):511–518.

Hummels, D., Ishii, J. et Yi, K.-M. (2001). The nature and growth of vertical specialization in world trade. *Journal of international Economics*, 54(1):75–96.

Izquierdo, M., Moral-Benito, E., Illanes, E. P. et Quintana, J. (2022). The propagation of worldwide sector-specific shocks. *Documentos de trabajo del Banco de España*, (13):1–29.

Jaravel, X. et Méjean, I. (2020). Quelle stratégie de résilience dans la mondialisation ? *Les notes du conseil d'analyse économique*, (10):1–12.

Johnson, R. C. et Noguera, G. (2012). Proximity and production fragmentation. *American Economic Review*, 102(3):407–411.

Kalantzis, Y. et Thubin, C. (2017). The causes of deindustrialisation in france. *Banque de France, Bloc-Notes Eco*, 16(11).

Lafrogne-Joussier, R., Martin, J. et Mejean, I. (2023). Supply shocks in supply chains : Evidence from the early lockdown in china. *IMF economic review*, 71(1):170–215.

Langot, F. et Tripier, F. (2022). Le coût d'un embargo sur les énergies russes pour les économies européennes. *Note de l'Observatoire Macro n° 2022-2*.

Leontief, W. (1986). *Input-output economics*. Oxford University Press.

Martin, J., Mejean, I. et Parenti, M. (2023). Relationship stickiness, international trade, and economic uncertainty. *Review of Economics and Statistics*, pages 1–45.

Nicholson, J. et Noonan, R. (2014). What is made in america ? *Economics and Statistics Administration Issue Brief*, (04-14).

Pak, M. et Poissonnier, A. (2016). Accounting for technology, trade and final consumption in employment : an input-output decomposition. *INSEE Working Papers g2016-11*.

Peters, G. P. et Hertwich, E. G. (2006a). Pollution embodied in trade : The norwegian case. *Global Environmental Change*, 16(4):379–387.

Peters, G. P. et Hertwich, E. G. (2006b). Structural analysis of international trade : Environmental impacts of norway. *Economic Systems Research*, 18(2): 155–181.

Remond-Tiedrez, I. et Rueda-Cantuche, J. M. (2019). Eu inter-country supply, use and input-output tables : Full international and global accounts for research in input-output analysis. *Eurostat Statistical Working Paper*.

Sonis, M., Hewings, G. J. et Sulistyowati, S. (1997). Block structural path analysis : applications to structural changes in the indonesian economy. *Economic Systems Research*, 9(3):265–280.

Timmer, M. P., Dietzenbacher, E., Los, B., Stehrer, R. et De Vries, G. J. (2015). An illustrated user guide to the world input–output database : the case of global automotive production. *Review of International Economics*, 23(3):575–605.

Vicard, V. et Wibaux, P. (2023). Eu strategic dependencies : A long view. *CEPII Policy Brief no41*.

Wiedmann, T. et Minx, J. (2008). A definition of 'carbon footprint'. *Ecological economics research trends*, 1(2008):1–11.

Woltjer, P., Gouma, R. et Timmer, M. P. (2021). Long-run world input-output database : Version 1.0 sources and methods.

Yamano, N. (2016). Oecd inter-country input–output model and policy implications. *In Uncovering value added in trade : New approaches to analyzing global value chains*, pages 47–59.

ANNEXES

A Mesure directe de la vulnérabilité

La mesure de vulnérabilité présentée dans la section 2 repose sur les contenus importés de la demande finale. Toutefois, l'approche directe mobilisée usuellement dans la littérature décrit la concentration des consommations intermédiaires importées, ce qui renseigne davantage sur la vulnérabilité du côté de l'offre que du côté de la demande. Jaravel et Méjean (2020) s'appuient sur un indicateur de Herfindahl des importations de consommations intermédiaires, à partir de données détaillées des douanes. De même, Arjona *et al.* (2023) proposent un indicateur de vulnérabilité à partir de données de la base BACI.

Nous reproduisons à titre de robustesse ce calcul de vulnérabilité à partir d'un TIES. Nous mesurons la concentration des intrants importés sur le croisement de la branche et du pays de provenance. Dans la base FIGARO, nous disposons pour chacune des 64 branches de l'économie d'une ventilation par pays de provenance. Nous pouvons ainsi déterminer l'indicateur de Herfindahl sur cette structure de provenance des importations de chaque branche :

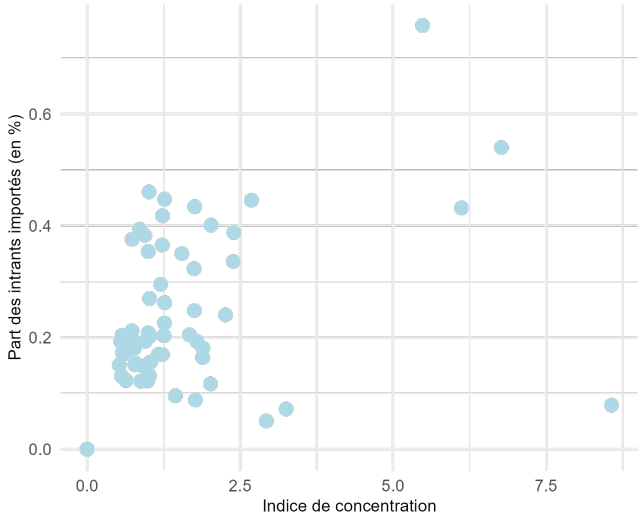
$$H_j = \sum_{(i \neq j,k)} \left(\frac{CI_{(i,k),j}}{\sum_{(i' \neq j,k')} CI_{(i',k'),j}} \right)^2 \tag{8}$$

avec $CI_{(i,k),j}$ la consommation intermédiaire de la branche j française en produit k du pays i. Quand H_j est proche de 0, les consommations intermédiaires de la branche j sont diversifiées sur de nombreuses branches et de nombreux pays. Au contraire, quand il est proche de 1, elles sont fortement concentrées.

En France, les intrants sont les plus concentrés dans les branches industrielles (graphique A). Les branches « raffinage », textile-habillement, et les autres matériels de transport importent une grande part de leurs intrants, et ceux importés sont plus fortement concentrés que ceux des autres branches. La branche des services financiers apparaît comme fortement concentrée en termes de provenance des intrants, en revanche la part de ses intrants importés est faible.

Le calcul de l'indice de Herfindahl sur un TIES présente la limite de l'adhérence au niveau de nomenclature des comptes nationaux : à titre d'exemple, les semi-conducteurs sont agrégés avec d'autres produits et on détermine un effet moyen qui

Graphique **A – Parts des intrants importés dans les intrants et indice de concentration, en France, en 2019**



Source : Eurostat, TIES FIGARO 2022, calculs des auteurs

limite la portée réelle de la dépendance à un intrant. Toutefois, il présente l'intérêt de pouvoir calculer l'indice Herfindahl simultanément pour différents pays et les comparer.

B Données et cadre comptable de la modélisation

Dans cette étude, trois tableaux internationaux des entrées-sorties sont mobilisés : Long run WIOD (Woltjer *et al.*, 2021), WIOD (Timmer *et al.*, 2015) et FIGARO (Remond-Tiedrez et Rueda-Cantuche, 2019).

Les données sont exprimées en prix courants (en milliards d'euros) et couvrent la période 1965-2019. Les données sur l'emploi portent sur le champ de la comptabilité nationale et sont produites par l'INSEE et collectées par Eurostat (Bourgeois et Briand, 2019a).

Les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont issues de l'extension environnementale de FIGARO. Dans ces données, seul le CO_2 est retenu parmi les gaz à effet de serre. En 2019, l'empreinte carbone française est composée à 74 % de dioxyde de carbone (CO_2), 20 % de méthane et 6 % de protoxyde d'azote.

Le TIES FIGARO d'Eurostat dispose d'une décomposition en 64 branches pour 45 pays dont un « reste du monde ». Ce dernier correspond à l'ensemble des pays qui ne sont pas présents dans la base de données et ont été regroupés dans un agrégat unique (Remond-Tiedrez et Rueda-Cantuche, 2019).

Long-run WIOD couvre la période 1965-2000 avec un détail en 23 branches en naf Rev.1 pour 25 pays. WIOD couvre la période 2000-2014 avec un détail en 56 branches en naf Rev.2 pour 44 pays. Enfin, FIGARO couvre la période 2010-2020 avec un détail de 64 branches en NAF Rev2. Les niveaux d'agrégation entre les trois TIES sont différents. Ainsi, nous procédons à des rétropolations lorsque les périodes de recouvrement sont problématiques. Afin de vérifier les choix opérés pour les rétropolations, nous avons recours à la base TIES ICIO de l'OCDE (Yamano, 2016) qui couvre la période 1995-2018.

Un tableau international des entrées-sorties est construit en réconciliant les tableaux des entrées-sorties d'un ensemble de pays. Le tableau B fournit un exemple simplifié de TIES dans le cas de deux pays.

TABLEAU **B – Représentation simplifiée d'un TIES à 2 pays**

	Banches acheteuses														
Production par branche	Consommations intermédiaires (CI)										Demande finale (D)				
	Pays A						Pays B								
	Pays A						Pays B				Pays A			Pays B		
	s1	s2	...	...	s56		s1	s2	...	...	s56	Conso finale	FBCF	Exportations	Conso finale	FBCF	Exportations
s1																	
s2																	
...																	
s1																	
s2																	
...																	
Impôts net des subventions																	
Valeur ajoutée																	
Production (P)																	

Notes : le quadrant nord- ouest représente les liens intersectoriels des consommations intermédiaires par les secteurs i=1,2,...,56. Le quadrant nord-est représente les consommations finales. Le quadrant sud-est représente le compte de production. Le PIB mondial est égal à la somme de la demande finale ou la somme de la valeur ajoutée des branches et des impôts nets des subventions.

C Mise en oeuvre de la *Structural Path Analysis*

La mise en oeuvre de la structural path analysis (SPA) nécessite un élagage des chemins et une optimisation spécifique puisque leur nombre est infini. La méthode proposée par Peters et Hertwich (2006a) n'a pu être appliquée que partiellement sur les données d'un tableau des entrées-sorties national. L'utilisation d'un TIES nécessite de trouver une solution qui convienne à la fois à l'analyse en valeur ajoutée et pour les émissions de CO_2.

Pour mettre en oeuvre la SPA, on associe un vecteur *stressor* à la production P sous forme d'un ratio $\hat{Stressor} \times \hat{P}^{-1}$, où la matrice diagonale qui a pour diagonale les éléments du vecteur x est notée $\hat{x}$, et on pré multiplie à gauche les deux termes de l'équation de Leontief (Leontief, 1986) :

$$\hat{Stressor} \times \hat{P}^{-1} \times P = \hat{Stressor} \times \hat{P}^{-1} \times L \times D \tag{9}$$

avec D la demande finale de l'économie et $L = (I - A)^{-1}$. Le vecteur *Stressor* est de même dimension $(n \times p)$ que la production.

On décompose la matrice de Leontief L avec les puissances de A :

$$Stressor = \hat{Stressor} \times \hat{P}^{-1} \times (I + A + A^2 + A^3 + ... + A^{\infty}) \times D \tag{10}$$

Soit en renommant $F = \hat{Stressor} \times \hat{P}^{-1}$ on obtient :

$$Stressor = FID + FAD + FA^2D + FA^3D...FA^{\infty}D \tag{11}$$

où FID correspond à l'effet direct du *Stressor* associé à la production P, et FA^nD correspond à l'effet de la n^{ime} puissance de A. Les effets les plus importants sont concentrés sur les premiers tours. Au-delà, le nombre de chemins possibles atteint aussi les limites d'une machine. L'enjeu de la mise en oeuvre pratique du SPA consiste donc à élaguer l'arbre des possibilités afin de ne conserver que les chemins les plus contributeurs.

Pour prendre la mesure du caractère exponentiel du nombre de chemins à identifier, il faut considérer que chaque produit matriciel conserve le détail des additions réalisées par les produits matriciels de A. Le produit AA correspond au produit cartésien de A avec elle-même, et les tours suivants ajoutent un produit cartésien supplémentaire. Ainsi, la formulation suivante des chemins est préférée : pour un chemin de longueur 3, une chaîne débutant par une émission liée à une production d'un pays × branche (i_0, k_0) et qui transite par les pays x branches (i_1, k_1) puis (i_2, k_2) puis (i_3, k_3) avant d'être associée à une consommation finale en i_4 s'écrira :

$$Path_{(i_0,k_0)\mapsto(i_1,k_1)\mapsto(i_2,k_2)\mapsto(i_3,k_3)\mapsto i_4} = f_{(i_0,k_0),(i_0,k_0)} \times a_{(i_0,k_0),(i_1,k_1)} \times a_{(i_1,k_1),(i_2,k_2)} \times a_{(i_2,k_2),(i_3,k_3)} \times D_{(i_3,k_3),i_4} \quad (12)$$

Le chemin de l'effet direct correspondrait à $f_{(i_0,k_0),(i_0,k_0)} D_{(i_0,k_0),i_4}$. L'équation 12 décrit la chaîne de valeur depuis son nœud initial, un produit k_0 du pays i_0 jusqu'à la consommation d'un produit k_3 dans un pays i_4 donné. Il s'agit par exemple des chemins qui partent de la production d'acier chinois, intégrée dans la consommation d'automobile par les ménages français, en passant par des branches et pays intermédiaires. Le lien entre l'approche "production" (émission) et l'approche "consommation" (empreinte) apparaît explicitement. Si l'on somme les chemins suivant le début de la chaîne de valeur, on obtient l'approche "production" alors que si l'on somme par la fin de la chaîne, on obtient l'approche "consommation" des émissions de CO_2.

Pour déterminer les chemins, deux approches sont testées :
— Une approche sous forme de réseaux mathématiques (Peters et Hertwich, 2006a), qui s'appuie sur un algorithme récursif, mais dont les tests montrent la limitation en pratique (saturation rapide des capacités mémoire).
— Une approche directe, qui est retenue et qui consiste à réaliser des produits cartésiens par produit matriciel tout en optimisant le filtrage des chemins à retenir à chacune des sept étapes du SPA.

La mise en œuvre de la SPA s'appuie sur un paramétrage empirique qui optimise la représentativité des chemins en fonction de la capacité logicielle disponible.

L'empreinte carbone est fondée sur un vecteur stressor d'émissions $f = \hat{Emission} \times \hat{Production}^{-1}$. L'équation s'écrit donc :

$$\begin{aligned} Empreinte &= \hat{Emission} \times \hat{Production}^{-1} * (I - A)^{-1} * D \\ &= fD + fAD + fA^2D + \dots \end{aligned}$$

Pour le SPA, on souhaite garder le plus de chemins significatifs possibles à chaque rang. Les chemins des rangs 0 et 1 (fD et fAD) peuvent être exhaustivement déterminés. Qui plus est, ce sont généralement les chemins avec le plus de force (puisque les chemins de rang supérieur mettent en jeu des multiplications des coefficients techniques, qui sont inférieurs à 1 et parfois très faibles).

En revanche, à partir du rang 2, des optimisations sont nécessaires, et deux méthodes ont été testées :

— Utiliser une représentation sous forme de réseau et des algorithmes adaptés (Peters et Hertwich, 2006b). Cette méthode n'a été que partiellement mise en œuvre par ce dernier pour des raisons de capacité mémoire. Nous retrouvons le même problème dans notre cas : les données sont plus volumineuses, et les limites identifiées sont plus prégnantes.
— Une méthode "directe" qui consiste, en s'appuyant sur des produits cartésiens réalisés à partir de bases de données, de calculer l'ensemble des chemins en réalisant la même décomposition que celle du produit matriciel classique. Mais les produits cartésiens ne peuvent dépasser certains limites (par exemple 10^{31} en R), il est donc nécessaire de recourir à de l'optimisation pour filtrer au mieux les chemins les plus contributeurs.

C'est cette seconde option que nous mettons en œuvre dans ce travail. On sélectionne les f, les y et les $a_{(i_m,k_m),(i_n,k_n)}$ les plus élevés. Au début de la chaîne de valeur, $f_{(i_0,k_0),(i_0,k_0)} \times a_{(i_0,k_0),(i_1,k_1)}$ correspond à l'utilisation du produit k_0 du producteur i_0 par la branche k_1 du pays i_1, et la fin de la chaîne de valeur $a_{(i_2,k_2),(i_3,k_3)} \times D_{(i_3,k_3),i_4}$ correspond au contenu en produit k_2 du pays i_2 intégré dans le produit k_3 venant du pays i_3 dans la demande finale de i_4.

L'idéal serait de pouvoir exclure les chemins dont la force est inférieure à un seuil que nous fixerions en arbitrant couverture de l'ensemble des chemins et capacités de calculs (la 'force' correspond à l'intensité du chemin, par exemple à $f_{(i_0,k_0),(i_0,k_0)} \times a_{(i_0,k_0),(i_1,k_1)} \times a_{(i_1,k_1),(i_2,k_2)} \times a_{(i_2,k_2),(i_3,k_3)} \times D_{(i_3,k_3),i_4}$). Ce n'est pas possible car cela supposerait d'avoir calculé tous les chemins, ce qui est justement impossible. Pour obtenir notre sélection de chemins de rang 2, nous analysons séparément les débuts et fins de la chaîne de valeur :

— les débuts de chaîne tels que :

$$abs(f_{(i_0,k_0),(i_0,k_0)} \times a_{(i_0,k_0),(i_1,k_1)}) > seuil/max(a_{(i_2,k_2),(i_3,k_3)} \times D_{(i_3,k_3),i_4})$$

— les fins de chaîne telles que : $abs(AD) > seuil/max(fA)$

Le rang 3 et les suivants font aussi l'objet d'optimisations similaires successives : nous retenons les terminaisons qui ont le plus de chance de faire partie d'un chemin de rang 3 ou au-delà et dont la force dépasse le seuil S fixé. Nous décomposons les débuts et fins de chemins avec $fAA * AD$ pour le rang 3 ou $fAAA * AD$ pour le rang 4. L'enjeu est alors de filtrer les composantes de fAA et les AD dont le produit a le plus de chances d'être inférieur au seuil S fixé. Pour cela on procède en deux étapes :

— On optimise le début de la chaîne fAA pour éviter de retenir trop de possibilités de chemins : on sélectionne les branches dont AD est supérieur à la

moyenne des AD (plus fort potentiel lorsque l'on fera $fAA * AD$) et on fait le produit cartésien de fA (déjà filtré à l'étape précédente) avec A pour les branches dont la force est susceptible d'être supérieure au seuil. On définit à ce stade un second seuil, défini empiriquement en fonction des capacités mémoire (maximum de données que l'on peut retenir dans cette étape du fait des croisements ultérieurs). En pratique, il faut que la taille de fAA ne dépasse pas celle de fA dans le cas du rang 2, c'est pourquoi un filtrage empirique est nécessaire à cette étape.

— On réalise le même calcul que pour le rang 2 mais avec fAA et AD.

Pour le rang 4, on procède de même en optimisant le début de chaîne $fAAA$ dont on fait ensuite le produit cartésien avec AD. Et ainsi de suite pour les rangs supérieurs.

Il est donc nécessaire d'introduire de manière empirique des filtres spécifiques pour les chemins des rangs 3 et au-delà. Ces filtres spécifiques dépendent à la fois de la base TIES utilisée, mais aussi des capacités logicielles. L'empreinte en valeur ajoutée n'a pas le même seuil que l'empreinte carbone. Le nombre de rangs nécessaire à prendre en compte pour atteindre une bonne couverture de l'empreinte dépend du vecteur stressor utilisé. Un stressor d'émissions dont les montants élevés sont concentrés nécessite de disposer de rangs plus lointains que l'empreinte en valeur ajoutée où les montants sont homogènes entre les branches.

Pour analyser les chemins de la valeur ajoutée et des émissions, Peters et Hertwich (2006a) indiquent que les sept premiers tours sont suffisants. Le tableau C, qui décompose la valeur ajoutée et les émissions en fonction du rang correspondant aux puissances de A, confirme ce résultat. La sélection des chemins réduit de 7 points le taux de couverture de la valeur ajoutée, et de 15 points celui des émissions. Au total, 93% des montants de valeur ajoutée et 83% des montants d'émissions de CO_2 sont couverts par les chemins sélectionnés après sept tours.

TABLEAU **C – Contribution des chemins par rangs**

Rangs	**Valeur ajoutée SPA**	**Valeur ajoutée théoriques**	**Émissions SPA**	**Émissions théoriques**
0	57,0%	57,0%	24,7%	24,7%
1	19,9%	19,9%	24,7%	24,7%
2	10,3%	10,6%	18,1%	18,3%
3	4,0%	5,7%	9,7%	12,3%
4	1,1%	3,1%	3,8%	7,8%
5	0,3%	1,7%	1,3%	4,8%
6	0,1%	0,9%	0,4%	2,9%
7	0,0%	0,5%	0,1%	1,7%
0-7	**92,6%**	**99,4%**	**82,8%**	**97,4%**

Liste des documents de travail récents de la Direction des Études et Synthèses Économiques*

2024/24 G. BARATTE, L. FONTAGNE, R. LAFROGNE-JOUSSIER

Reorganizing global supplychains: Who, What, How and Where

2025

* L'ensemble des documents est disponible sur le site Insee.fr et sur Repec.