Identification des filières économiques à partir des modèles entrées-sorties : l'exemple de la filière bois en France

Identifying a production-chain from input-output models: A case study of the wood production chain in France

Jean-Jacques Malfait et Jean-Christophe Martin

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/rei/6564>

DOI : 10.4000/rei.6564

ISSN : 1773-0198

Éditeur

De Boeck Supérieur

Édition imprimée

Date de publication : 15 juin 2017

Pagination : 69-100

ISBN : 9782807391420

ISSN : 0154-3229

Référence électronique

Jean-Jacques Malfait et Jean-Christophe Martin, « Identification des filières économiques à partir des modèles entrées-sorties : l'exemple de la filière bois en France », *Revue d'économie industrielle* [En ligne], 158 | 2e trimestre 2017, mis en ligne le 15 juin 2019, consulté le 02 juin 2022. URL : <http://journals.openedition.org/rei/6564> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/rei.6564>

IDENTIFICATION DES FILIÈRES ÉCONOMIQUES À PARTIR DES MODÈLES ENTRÉES-SORTIES : L'EXEMPLE DE LA FILIÈRE BOIS EN FRANCE

Jean-Jacques Malfait, GREThA, Université de Bordeaux
Jean-Christophe Martin, Vertigo Lab (Bordeaux) et laboratoire AMURE

Mots clés : Analyse entrées-sorties, filière bois.

Keywords: Input-Output Analysis, Wood sector.

INTRODUCTION*

La compréhension des circuits de transformation des produits a toujours été au centre des préoccupations des acteurs économiques. Lorsqu'elle induit l'affectation d'une ressource naturelle, l'approche technique s'impose souvent par sa capacité à suivre les différents stades de transformation de la ressource jusqu'à la consommation finale.

* Cette recherche a bénéficié du soutien financier de la région Aquitaine dans le cadre du contrat de recherche numéro 2007-1204002 sur la « Durabilité du système de production forêt-bois d'Aquitaine dans un environnement changeant ». Elle a été réalisée en partenariat avec le FCBA (institut technologique Forêt Cellulose Bois Construction Ameublement), Paris.

Ces approches techniques conduisent les économistes à confronter la pertinence de ces résultats par l'étude des relations d'interdépendance entre les différentes activités économiques. Il s'agit de connaître les différentes destinations de la ressource à travers les achats et ventes des produits intermédiaires entre branches d'activités.

Cette approche est au cœur du concept de *filière économique* développé par des économistes français travaillant en économie industrielle¹. Rainelli (1991) définit une *filière* comme une suite d'opérations conduisant une matière première à un produit fini. Monfort (1983) caractérise la *filière* comme un ensemble de branches d'activités ayant des relations d'achats et de ventes fortes lorsqu'elles sont dans la même filière, faibles si elles sont dans deux filières distinctes.

La question des données disponibles pour l'étude des filières va être essentielle. On peut difficilement envisager d'aller directement chercher des données microéconomiques auprès des entreprises. On doit donc nécessairement utiliser les données de l'INSEE, c'est-à-dire les données provenant des tableaux entrées-sorties basés sur une approche par branche. Cela ne signifie pas forcément de faire automatiquement de l'analyse entrées-sorties.

Lainesse et Poussart (2005) donnent un aperçu des différentes techniques qui ont été développées pour identifier les filières. Parmi les principales, on peut citer l'analyse en composantes principales et l'analyse factorielle (Czamanski, 1974 ; Rey et Mattheis, 1997), les analyses basées sur les outils de classification (Caber et al., 1985), la théorie des graphes (Slater, 1977 ; Haunkes, 1999) et enfin l'analyse basée sur les tableaux entrées-sorties (Dietzenbacher et al., 2005 ; Sanchez-Choliz et Duarte, 2003), sans oublier le travail pionnier de Lantner (1974) qui combine les deux approches.

Les approches utilisant l'analyse entrées-sorties dans l'étude des filières ont été fortement développées ces dernières années. Elles ont d'abord révélé leur pertinence dans l'étude des effets d'interdépendance entre les différentes branches d'activités d'une économie en intégrant aussi bien les effets en amont que les effets en aval. Ensuite, les développements méthodologiques dans la construction des tableaux entrées-sorties ont

1 Principalement de l'Université de Nice.

rendu plus opérationnels les résultats de ces analyses. Concernant le dernier point, Eurostat a, par exemple, développé une méthodologie visant à construire des tableaux entrées-sorties symétriques pour l'ensemble de ses États membres (Eurostat, 2008). Dans cette lignée, différentes initiatives ont été mises en œuvre pour construire des tableaux entrées-sorties multirégionaux à l'échelle globale². Nous pouvons ainsi citer le projet EORA (Lenzen *et al.*, 2013) ou le projet WIOD (Dietzenbacher *et al.*, 2013). L'élaboration de ces tableaux entrées-sorties multirégionaux a facilité en particulier les études de chaînes de valeur d'un produit à l'échelle internationale (Timmer *et al.*, 2014 ; Ye et Voigt, 2014).

En France, les travaux d'identification des filières ont longtemps été portés par des chercheurs en économie industrielle de l'Université de Nice. Les recherches qu'ils ont développées s'appuient sur les tableaux entrées-sorties. Il s'agissait de trouver une méthodologie permettant de sélectionner un ensemble de branches d'activités qui ont d'importantes intensités d'échanges (ventes/achats) entre elles. Par exemple, Monfort et Dutailly (1983) ont identifié 19 filières de production pour la France. Un certain nombre de recherches ont été menées par la suite afin de développer une méthode de sélection d'un ensemble de branches d'activités formant une filière (Auray, 1984 ; Torre, 1986 ; Torre, 1988). Après 1990, on constate cependant le moindre intérêt porté par les chercheurs français pour les études de filières basées sur l'analyse entrées-sorties. Actuellement, une partie des recherches à l'échelle internationale s'est concentrée sur de nouvelles méthodes d'identification des filières en se basant cependant toujours sur des analyses entrées-sorties (Dieztenbacher *et al.*, 2005 ; Dieztenbacher et Romero, 2007 ; Oosterhaven et Bouwmeester, 2013).

Dans cette perspective, l'objectif de cet article sera de contribuer à la clarification des méthodes d'identification des filières à partir des modèles entrées-sorties. D'abord, on mettra en évidence l'impossibilité théorique d'une utilisation simultanée du modèle de Leontief et de Ghosh (de Mesnard, 2009) par la construction d'indicateurs synthétiques pour l'identification des filières. On explicitera quels peuvent être alors les critères d'utilisation des coefficients d'achats-ventes, que ce soit pour la détermination des branches constitutives de la filière ou pour celle de la structure même de la filière. Nous remettrons ensuite en cause la méthode de

² Dans cette approche, les nations sont considérées comme des régions.

propagation moyenne au profit d'une propagation modale pour apprécier la structure des filières. Nous nous proposons enfin de vérifier la cohérence de la démarche par une application empirique basée sur l'étude de la filière bois à une échelle nationale (France). Certains points méthodologiques seront approfondis à l'occasion de l'étude empirique.

1. MÉTHODOLOGIE DE DÉTERMINATION D'UNE FILIÈRE À PARTIR D'UNE ANALYSE ENTRÉES-SORTIES

Montrons tout d'abord l'intérêt et les conditions d'utilisation des différents modèles entrées-sorties dans la construction des filières. À l'aune de ces conclusions, nous exposerons la méthodologie permettant de sélectionner les branches formant une filière et nous présenterons enfin la méthode pour déterminer la structure de la filière.

1.1. Intérêt des différents modèles entrées-sorties pour la construction des filières

Comme indiqué précédemment, les branches formant une filière sont déterminées par de fortes intensités d'échanges commerciaux (fournisseurs/clients) entre elles. Cela signifie que les ventes des branches fournisseuses incorporées dans la filière sont induites par un certain nombre de branches acheteuses et, inversement, les dépenses de ces branches acheteuses sont aussi déterminées par ces branches fournisseuses. Dans le premier cas, ce sont les coefficients de vente utilisés par le modèle Ghosh qui doivent être utilisés, tandis que dans le second ce sont les coefficients d'achats du modèle de Leontief. D'où l'incitation, que l'on retrouve dans la littérature, d'utiliser à la fois les modèles de Ghosh et de Leontief pour identifier des filières (Dietzenbacher et Romero, 2007 ; Dietzenbacher *et al.*, 2005). La question est de savoir s'il est vraiment possible d'utiliser simultanément les deux modèles afin de construire des indicateurs synthétiques.

Pour les lecteurs non familiers de ces modèles, on pourra se reporter à la présentation rapide donnée en annexe 1. Pour une présentation plus détaillée des modèles entrées-sorties, voir Miller et Blair (2009).

La relation entre les deux modèles est donnée dans les équations (A.9) et (A.10) qui permettent de passer de la matrice des coefficients techniques à la matrice des coefficients de débouchés et réciproquement (cf. annexe 1). L'équation (A.9) montre que la stabilité jointe des matrices des coefficients techniques et des coefficients de vente n'est vérifiée que dans le cas où la structure productive est stable. Cette relation implique en effet une stabilité jointe des matrices inverses de Leontief et de Ghosh, comme indiqué par l'équation (A.10). Comment déterminer alors si un modèle est plus légitime que l'autre ? Par exemple, si on constate empiriquement une plus grande stabilité des coefficients techniques par rapport aux coefficients de débouchés, alors l'utilisation du modèle de Leontief est plus légitime que le modèle de Ghosh et vice-versa, si les coefficients de débouchés sont plus stables que les coefficients techniques. Diverses études ont montré que les coefficients techniques étaient aussi stables que les coefficients de ventes (Augustinovics, 1970 ; Ehret, 1970 ; Giarratini, 1981 ; Bon, 1986 ; de Mesnard 1997). Il en a été déduit que le modèle de Ghosh était aussi légitime que le modèle de Leontief. Cependant, comme le précise Oosterhaven (1988), la stabilité jointe de ces deux types de coefficients est plus expliquée *par la stabilité productive que par la stabilité des processus de production ou de la structure des ventes*. Il conclut que les deux modèles donnent des résultats similaires *dans le seul cas où la croissance de la production est identique entre les branches d'activités*. Cette stabilité jointe impose que la structure productive reste stable. Or la structure productive peut très bien être modifiée par un changement de la demande finale dans le modèle de Leontief, impliquant une modification des coefficients de vente et un changement dans la matrice inverse de Ghosh et réciproquement. En conclusion, les deux modèles sont antagonistes : ils ne peuvent être utilisés simultanément (Chen et Rose, 1986 ; Dieztenbacher, 1989 ; Miller, 1989 ; Rose et Allison, 1989).

Plus spécifiquement, le modèle de Ghosh a fait l'objet d'importantes controverses. Oosterhaven (1988) a montré que le modèle de Ghosh ne peut être utilisé pour des études d'impacts, car il suppose que les intrants sont parfaitement substituables, ce qui est un non-sens, puisqu'il contredit ainsi l'hypothèse fondamentale du modèle de Leontief de stabilité des coefficients techniques. L'auteur en conclut que le modèle ne peut évaluer les effets causals, à savoir les impacts économiques auxquels on peut s'attendre en aval de la chaîne de valeur suite à une modification de la valeur ajoutée³.

3 Cependant, l'auteur précise que ce modèle peut être utilisé à des fins descriptives.

Dietzenbacher (1997) affirme, de son côté, que le modèle de Ghosh peut être interprété comme un modèle prix, du fait qu'il est équivalent au modèle de prix de Leontief. Le modèle évaluerait l'impact d'un accroissement du coût enregistré dans la valeur ajoutée (par exemple une augmentation du coût du travail) sur la valeur de la production des branches se trouvant en aval (en supposant les quantités stables). Mais en réalité, de Mesnard (2009) démontre, contrairement à ce que Dietzenbacher (1997) affirme, que le modèle de Ghosh ne permet pas de séparer les prix et les quantités, ce que permet de faire le modèle de Leontief. Il n'est donc pas possible de dériver des indices de prix à partir du modèle de Ghosh. de Mesnard (2009) en conclut que le modèle de Ghosh, tel que présenté par Dietzenbacher, n'a pas de fondement axiomatique. En outre, il montre que l'équation (A.8) (cf. annexe 1) du modèle de Ghosh en valeur est en réalité l'équation du modèle de Ghosh en terme physique⁴. Le modèle de Ghosh présente donc un intérêt limité. Mais le modèle de Leontief lui non plus n'est pas exempt de critiques. de Mesnard (2016) montre ainsi que le modèle de Leontief en valeur, c'est-à-dire le modèle usuellement utilisé, repose lui-même sur une hypothèse critiquable : la matrice des coefficients de travail (les quantités de travail directement et indirectement incorporées par unité produite) est supposée stable dans le temps, le modèle étant en réalité bipériodique.

Au regard de ces différents éléments, les deux modèles de Leontief et Ghosh, s'il n'est pas possible de les combiner, restent utiles comme outils simples et opérationnels pour construire des indicateurs permettant de déterminer des filières⁵, le modèle de Leontief, à travers les coefficients d'achats, servant pour évaluer les effets en amont et le modèle de Ghosh, à travers les coefficients de ventes, servant pour évaluer les effets en aval. Les deux modèles *doivent donc être utilisés en parallèle*, pour permettre de mesurer l'importance des effets en amont et en aval d'une branche par rapport aux autres branches de la filière.

Déterminons comment utiliser les coefficients d'achats-ventes des deux modèles pour sélectionner les branches formant une filière, puis la structure interne de la filière.

4 Car on suppose implicitement que le prix unitaire reste identique pour chacun des produits de la branche.

5 À la condition de passer sur les difficultés posées par l'usage de valeurs au lieu de quantités physiques.

1.2. Sélection des branches formant une filière

Si, d'un point de vue théorique, on peut concevoir d'analyser l'ensemble des interrelations produits-branches, en pratique, dès que l'on décompose les activités économiques en une nomenclature fine, l'analyse systématique des interrelations engendrées par l'ensemble des coefficients d'achats et de ventes entre eux devient très complexe. La recherche systématique de tous les produits d'entrée des filières constitutives d'une économie complète déborde de fait le cadre de cet article⁶. La constitution d'une filière en passant par la détermination du produit d'entrée de la filière va faciliter l'analyse des matrices de coefficients.

Le plus souvent, les filières à caractère technique induisent la transformation en stades successifs d'un produit brut vers des produits finis. On pourra assez aisément isoler le produit qui sera considéré comme *produit d'entrée de la filière*, produit souvent lié à des activités d'extraction d'une ressource. Les branches de la filière seront identifiées ensuite en fonction des fortes liaisons commerciales avec ce *produit d'entrée (I)*, sur la base des opérations d'achats et de ventes établies à partir des modèles de Leontief et de Ghosh. La matrice des coefficients d'achats se lira comme étant les *achats de produits, ordonnés en ligne, selon une nomenclature donnée*. Ces achats seront faits par les *différentes branches d'activités*, en colonnes, correspondant à chaque produit. Le raisonnement est le même pour les coefficients de ventes. On pourra donc observer ensuite l'intensité de diffusion du produit *I* entre les différentes branches.

Le produit *I* sera caractérisé par une *absence significative d'achats et de ventes de la branche correspondante pour des produits situés en amont*. A contrario, elle devra avoir des échanges en aval avec au moins une autre branche. À chaque stade de transformation, chaque branche devra utiliser le produit *I* et ceci de façon significative, voire privilégiée. Par rapport aux coefficients d'achats, cela signifie que le coefficient d'achats du produit *I* par la branche *j* devra être considéré comme significatif ou dominant. Dans le

6 On pourra se référer, par exemple, à Martin (2010) qui présente un cadre méthodologique permettant d'identifier les produits d'entrée des filières en utilisant les indices d'Hirschmann-Rasmussen. Ces indices ont le mérite de sélectionner les branches qui ont d'importants effets d'entraînement en aval et peu d'effets d'entraînement en amont à l'intérieur d'une économie.

cas contraire, cela signifierait que la branche appartient de fait à plusieurs filières ou à aucune en particulier. Pour les coefficients de ventes, le critère est de même type sachant que le niveau général d'activités peut être plus ou moins important selon les branches d'activités. Au fur et à mesure que les produits sont transformés, ces critères vont devenir moins prégnants, à l'instar des activités de services qui vont échanger avec de nombreuses filières de façon plus ou moins significative.

La filière sera donc constituée des différentes branches j ayant de **fortes relations d'achat direct et indirect avec le produit I** , sachant que ce produit I aura en retour de **fortes relations de vente directe et indirecte avec les branches j** . Les fortes relations d'achats sont évaluées au travers des éléments (les coefficients) de la matrice inverse de Leontief b_{ij} (cf. annexe 1) indiquant les achats directs et indirects du produit I nécessaires à la production d'une unité monétaire de la branche j . De la même façon, on déterminera les branches ayant de fortes intensités de vente directe et indirecte avec le produit I au travers des coefficients de ventes d_{ij} de la matrice de Ghosh (cf. annexe 1). L'analyse directe de la valeur des coefficients d'achats-ventes est déjà très probante. Elle permet d'isoler les principales branches d'activités concernées. Cependant, il faut établir des seuils à partir desquels on considérera que les coefficients sont suffisamment importants pour être retenus comme significatifs. Le passage par une répartition par centiles des coefficients facilite cette sélection.

Considérons les coefficients d'achats obtenus via la matrice inverse de Leontief. On répartit ceux-ci en fonction du centile d'appartenance. On trie les différentes valeurs des éléments de la matrice inverse de Leontief b_{ij} selon l'ordre croissant et on les répartit en 100 parts égales. Q_x représentera les $(100-x)$ % des valeurs b_{ij} les plus élevées. Par exemple, Q_{90} représentera les 10 % des valeurs b_{ij} les plus élevées, la détermination du centile fixe la valeur du seuil retenu : $\alpha = Q_x$ où le centile x est à trouver.

Cette notion de seuil, que doivent dépasser les coefficients, a été introduite par nombre d'auteurs (Titze et al., 2011 ; Dieztenbacher et al., 2005 ; Peeters et al., 2001).

En déterminant la valeur de ce seuil, il sera possible, pour faciliter l'analyse, de construire une matrice S repérant les branches j ayant de fortes relations d'intensité d'achat spécifiquement avec chaque produit i . Cette

matrice pourra se décliner sous plusieurs formes dont une simplificatrice telle que :

$$S'_{ij} = \begin{cases} 1 \text{ si } b_{ij} \geq \alpha \\ 0 \text{ si } b_{ij} < \alpha \end{cases} \quad (1)$$

Il suffit de renouveler l'opération pour les coefficients de ventes obtenus avec la matrice inverse de Ghosh en déterminant le seuil β avec $\beta = Q_x$ où x est le centile à trouver. De la même façon, la matrice $\mathbf{T}$ permet de repérer les branches j ayant de fortes relations d'intensité de ventes avec chaque produit i . Les valeurs de la matrice simplificatrice $\mathbf{T}'$ seront calculées comme suit : $T'_{ij} = 1$ si $d_{ij} \geq \beta$ et $T'_{ij} = 0$ dans le cas contraire.

La codification binaire des coefficients facilite un premier repérage rapide des interrelations entre branches permettant d'appréhender la filière d'activité.

L'analyse simultanée des valeurs des coefficients en eux-mêmes restera cependant nécessaire ensuite pour mesurer les degrés d'intensité des échanges entre produits et branches d'activités.

Le tableau 1 suivant indique dans le quadrant sud-est du tableau les branches qui seront retenues comme constitutives de la filière.

Tableau 1. Typologie des branches selon leur intensité d'achat et de vente avec le produit I

	$b_{ij} < \alpha$	$b_{ij} > \alpha$
$d_{ij} < \beta$	Les branches j ont à la fois une faible intensité d'achat et une faible intensité de vente avec le produit I	Les branches j ont une forte intensité d'achat, mais une faible intensité de vente avec le produit I
$d_{ij} > \beta$	Les branches j ont une faible intensité d'achat, mais une forte intensité de vente avec le produit I	Les branches j font partie de la filière : elles ont à la fois de fortes intensités d'achat et de vente avec le produit I

Au fur et à mesure que le produit initial ou le plus amont se transforme, la part de ce produit initial tend à diminuer dans le produit transformé. Autrement dit, le produit initial pourra se trouver incorporé dans le produit aval, mais à égalité ou pour une part plus faible avec un autre produit

amont appartenant à une autre filière. Une réflexion au cas par cas sur l'appartenance de ces branches aval à la filière sera donc nécessaire, sachant qu'une part de subjectivité restera dans le fait de maintenir une branche dans une filière ou d'admettre qu'elle peut appartenir à plusieurs filières se réunissant en aval. Une analyse complémentaire plus approfondie de ces résultats permettra d'interpréter le rôle des branches dominantes de la filière et de déterminer celles aux limites de la filière, que ce soit pour les intégrer ou les exclure.

1.3. Détermination de la structure de la filière

La deuxième étape du traitement des relations entre branches va permettre de déterminer le nombre d'étapes intermédiaires de transformation du produit entre les branches de la filière. Commençons par les relations d'achats en utilisant la matrice des coefficients techniques et la matrice inverse de Leontief. Nous avons montré que l'équation (A.4⁷) permettait de décomposer la production en différents stades, à savoir le nombre de branches où doit passer le produit i pour rejoindre la branche j . La décomposition de la matrice inverse de Leontief tient compte à la fois des effets directs et des effets indirects. Or une étude interindustrielle implique de ne retenir que les effets indirects. Pour cela, il suffit de soustraire dans la matrice inverse de Leontief (B) les effets directs représentés par la matrice identité (I)⁸.

À partir de l'équation (A.4), il est possible de calculer la part du produit i allant à la branche j pour la couche k (avec $k = 1 \dots +\infty$) comme indiqué dans l'équation :

$$\mu_{ij}^k = \frac{a_{ij}^k}{b_{ij} - \delta_{ij}} \quad (2)$$

où a_{ij}^k représente les éléments de la matrice des coefficients techniques élevée à la puissance k ($\mathbf{A}^k$), b_{ij} les éléments de la matrice inverse de Leontief (B), δ_{ij} est le symbole de Kronecker où $\delta_{ij} = 1$ si $i = j$, 0 sinon. Dietzenbacher et al. (2005) ont démontré que le calcul de la part du produit i allant à la

7 Voir annexe 1.

8 Soit la matrice $\mathbf{B}-\mathbf{I}$.

branche j pour la couche k est identique selon que l'on parte de l'optique des achats en utilisant la matrice des coefficients techniques et la matrice inverse de Leontief ou que l'on parte de l'optique des ventes en utilisant la matrice des débouchés et la matrice inverse de Ghosh. Ainsi, μ_{ij}^k peut être également calculé en partant de l'équation (A.8) :

$$\mu_{ij}^k = \frac{c_{ij}^k}{d_{ij} - \delta_{ij}} \quad (3)$$

Les équations (2) et (3) donnent strictement les mêmes résultats.

Il s'agit ensuite de déterminer le nombre de couches k nécessaire afin que le produit i rejoigne la branche j . Dieztenbacher *et al.* (2005) ont retenu le concept de propagation moyenne. Ainsi, le nombre moyen de couches pour que le produit i rejoigne la production j est calculé par l'équation :

$$\bar{k} = \sum_{k=0}^{\infty} k \cdot \mu_{ij}^k \quad (4)$$

Cependant, ce calcul peut poser problème en conduisant à des incohérences. Le nombre de couches est estimé à partir de la moyenne. Or celle-ci tient compte des valeurs extrêmes pouvant conduire à des résultats trompeurs. Prenons un exemple simple. Supposons que 60 % du produit i va à la branche j par la couche 1, 30 % par la couche 2 et 20 % par la couche 3 et ainsi de suite. Ainsi, la méthode de propagation moyenne indique que le produit i rejoint la branche en moyenne par la couche 2. Or la couche 2 ne représente que 30 % des échanges entre le produit i et la branche j .

Le mode paraît être un indicateur plus approprié que la moyenne, car il indique la couche connaissant la plus forte relation d'échange entre le produit i et la branche j . Dans la méthode de propagation modale, on retiendra le nombre de couches (noté k^*) où la part du produit i allant à la branche j est la plus élevée.

$$k^* = \max_k (\mu_{ij}^k) \quad (5)$$

Si les conditions théoriques de détermination et d'utilisation des coefficients d'achats-ventes sont bien cernées au terme de cette analyse

théorique, il est nécessaire de s'assurer de la pertinence de leur utilisation effective dans un cas empirique de détermination de filière et d'analyse de ses échanges économiques. Dans la partie suivante, nous allons tester la pertinence des outils méthodologiques qui viennent d'être présentés via la détermination de la filière bois française

2. APPLICATION À L'ANALYSE D'UNE FILIÈRE : LA FILIÈRE BOIS FRANÇAISE

On utilise les coefficients d'achats-ventes du Tableau Entrées-Sorties (TES) de la France fourni en 2007 par l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques (INSEE). L'élaboration d'un TES symétrique est nécessaire pour mener des analyses entrées-sorties. Le TES de l'INSEE est rendu symétrique en retenant l'hypothèse de technologie identique basée sur les branches d'activités pour obtenir un TES « Produit x Produit » (Miller et Blair, 2009). En effet, l'hypothèse de technologie identique basée sur les branches d'activités a l'avantage d'éviter le problème d'apparition des coefficients techniques négatifs (de Mesnard, 2011). Le TES utilisé est décomposé en 118 branches⁹.

2.1. Détermination de la composition et de la structure d'une filière

La décomposition opérationnelle du TES symétrique est de **101 produits-branches** correspondant à plus de 10 000 coefficients d'achats et de ventes. On recherche le **produit I** spécifique qui se trouve à **l'origine du processus de transformation**. On parlera du produit le plus en amont de la filière.

9 Correspondant à la Nomenclature Agrégée (NA) en 129 branches associée à la nomenclature des produits et activités (NAF Rev.2). Cette nomenclature (2008) a remplacé la Nomenclature Économique de Synthèse (NES 114) associée à la Nomenclature d'Activités Française en 700 branches (NAF 700). Les modifications entre les deux nomenclatures jouent à la marge et sont sans effet sur les branches de la filière bois.

La sélection des branches à partir de l'intensité relative des échanges d'un produit l de référence.

Partons de la connaissance technico-économique de la filière bois¹⁰ caractérisée par un cycle de transformation des produits ligneux. Dans l'exemple étudié, le **produit des activités sylvicoles** (branche référencée A02Z) est celui qui est **le plus en amont de la filière**¹¹. Repérons ce produit (en ligne) dans les matrices **S** et **T** et analysons la structure des coefficients d'achats-ventes (en colonnes). Une simple représentation graphique des coefficients d'achats (ordonnée) et de ventes (abscisse) suffit à visualiser les coefficients principaux de la filière.

Graphique 1. Intensité d'échanges selon les optiques d'achats et de ventes avec les produits de la sylviculture pour la France

Les coefficients d'achats-ventes des branches *sylviculture et exploitation forestière* (A02Z) et ceux du *travail du bois et fabrication d'articles en bois* (C16Z) dominent très largement les autres coefficients. Occultons ces deux branches et observons dans le graphique suivant le rôle des autres branches.

¹⁰ La filière bois française est une filière bien documentée en travaux technico-économiques. On se réfère ici au document du SESSI, « **Le bois en chiffres** », série des chiffres clés, 2008.

¹¹ Cela a été confirmé par les indices d'Hirschmann-Rasmussen calculés par Martin (2010). Ces indices montrent que la sylviculture a d'importants effets d'entraînement en aval, mais peu d'effets d'entraînement en amont.

Graphique 2. Intensité d'échanges selon les optiques d'achats et de ventes avec les produits de la sylviculture pour la France, sans la sylviculture et le travail du bois

Les branches *fabrication de pâte à papiers et de papiers, d'articles en papiers-cartons, de meubles*, avec leur rôle limité à la vente pour les branches *construction et commerce*, apparaissent bien comme branches d'activités de la filière, à côté des deux branches principales. Les autres coefficients sont concentrés autour de l'origine. Le passage par l'ordonnancement des coefficients en centiles permet de mieux isoler les coefficients pertinents en limitant l'effet occultant de ces deux branches.

Les coefficients sont représentés dans le graphique 3 en fonction de leur appartenance à un centile donné. Outre les deux branches principales, la *fabrication de meubles (C41/C31Z)* appartient également au centile 90. Deux autres apparaissent dans le centile 89 : la *fabrication de pâte à papiers, de papiers et de cartons (C17A)* et la *fabrication d'articles en papiers ou en cartons (C17B)*. Pour deux autres branches, *construction (H0/FZ0)* et *commerce (GZ)*, les coefficients d'achats sont faibles, seuls les coefficients de ventes sont nettement significatifs.

Graphique 3. Intensité d'échanges selon les optiques d'achats et de ventes avec les produits de la sylviculture pour la France, représentation par centiles

Remarquons que les coefficients relatifs à la branche sylviculture reflètent les importants échanges directs internes à la branche, ce qui explique son rôle central dans la filière. Le centile 89 appliqué aux binômes de coefficients d'achats et de ventes permet d'isoler avec certitude **cinq branches principales pour la filière**, sylviculture, travail du bois, fabrication de pâtes à papiers, fabrication de papiers-cartons et fabrication de meubles, **deux autres branches**, la construction et le commerce se caractérisant uniquement par de fortes relations directes et indirectes de ventes avec les produits de la sylviculture. Le tableau 2 résume les résultats observés selon les seuils α et β (voisins de 0,018) correspondant au centile 89 pour les coefficients b_{ij} (achats) et d_{ij} (ventes).

Tableau 2. Typologie des branches selon leur intensité d'échange avec les produits de la sylviculture pour la France

	$b_{ij} < \alpha$	$b_{ij} > \alpha$
$d_{ij} < \beta$	94 autres branches	
$d_{ij} > \beta$	FZ0, GZ	A02Z, C16Z, C31Z, C17A, C17B

Le centile correspondant aux seuils α et β des coefficients d'échanges retenus pour l'appartenance à une filière pourra varier à la marge. Le centile 89 semble bien adapté dans le cas de la filière bois en France.

Approfondissons maintenant l'étude de la structure interactive entre branches au sein de cette filière.

La détermination de la structure de la filière

On décompose la matrice de Leontief par couches successives¹² pour révéler les niveaux de relations d'achats-ventes des différentes branches de la filière entre elles. Nous allons confronter les résultats obtenus selon les deux méthodes d'évaluation de la propagation, moyenne ou modale, exposées dans la partie méthodologique.

Envisageons d'abord le cas de la propagation modale. Dans le tableau suivant, la lecture en ligne permet d'indiquer les intensités d'échange *en aval de la branche*. Dans la première ligne, la branche *sylviculture (A02Z)* a de fortes intensités d'échange en aval avec les différentes branches. Réciproquement, la lecture en colonne indique les intensités d'échanges *en amont de la branche*. Nous avons incorporé dans le tableau le **nombre de rangs** qui exprime le fait que, par exemple, la *sylviculture* échange directement ses produits à la *branche travail du bois (C16Z-rang 1)*, alors qu'elle vend ses produits à la *branche fabrication de meubles (C31Z-rang 2)* par l'intermédiaire d'une autre branche.

Tableau 3. Intensités d'échanges entre les branches de la filière bois dans le cas de la France : propagation modale

TES France 2007	A02Z	C31Z	C16Z	C17A	C17B	H0Z	GZ
A02Z	I	2	I	I	I	2	I
C31Z		I					
C16Z		I	I			I	
C17A				I	I		
C17B				I	I		
H0Z						I	
GZ							I

À partir des indications de ce tableau, il est possible de représenter sous forme de schéma la structure des échanges des branches de la filière bois dans le cas de la France.

¹² On a déjà signalé que la décomposition de la matrice de Ghosh conduirait aux mêmes résultats.

Schéma 1. Schéma de représentation de la structure d'échanges de la filière bois de la France : propagation modale

Ce schéma synthétise les trois principales destinations directes des produits de la sylviculture (A02Z), pour l'essentiel le travail du bois (C16Z), secondairement la fabrication de pâte à papiers (C17A) et la fabrication d'articles en papiers-cartons (C17B). L'épaisseur des traits indique l'intensité des échanges. Des produits de la sylviculture sont de façon marginale directement commercialisés (GZ). Ces résultats sont tout à fait conformes à la définition classique de la filière bois française.

Observons quels auraient été les résultats en utilisant la propagation moyenne des relations d'achats-ventes entre branches de la filière. Le tableau comparable indique une modification de rang en ligne entre la sylviculture (A02Z) et quatre branches C17A, C17B, H0Z et GZ. Il en est de même pour la branche C16Z, travail du bois avec H0Z, la branche construction.

Tableau 4. Intensités d'échanges entre les branches de la filière bois dans le cas de la France : propagation moyenne

TES France 2007	A02Z	C31Z	C16Z	C17A	C17B	H0Z	GZ
A02Z	I	2	I	2	2	3	2
C31Z		I					
C16Z		I	I			2	
C17A				I	I		
C17B				I	I		
H0Z						I	
GZ							I

La visualisation des échanges correspondants est donnée dans le schéma ci-dessous

Schéma 2. Schéma de représentation de la structure d'échanges de la filière bois de la France : propagation moyenne

On constate que le tableau de passage ne permet plus de déterminer comment les produits de la sylviculture alimentent les branches papetières C17A et C17B. Il manque également une branche de passage de la branche travail du bois C16Z à la branche construction H0Z, pour la relier en rang 3 à la branche sylviculture A02Z. C'est aussi le cas pour la branche commerce (GZ).

L'explication est à trouver dans le calcul de la moyenne. Par exemple, alors que 55 % des échanges s'effectuent directement entre la sylviculture (A02Z) et la fabrication de pâtes à papiers (C17A), soit un rang 1, la prise en compte des échanges via d'autres branches (29 % par une branche intermédiaire (rang 2), 11 % par deux branches intermédiaires (rang 3), ...) conduit à déterminer un rang moyen de valeur 2. Mais de fait, il est évident qu'il n'y a pas de branche réelle qui permet des échanges intermédiaires importants entre la sylviculture et la fabrication de pâtes à papiers. La propagation modale évite donc l'apparition de ce type de biais en repérant les flux principaux d'échange entre branches et en rendant lisible le circuit des échanges économiques.

Notons cependant que cette détermination des rangs n'apporte pas toute la richesse à laquelle on pourrait s'attendre, car la décomposition des

activités économiques dont on dispose n'est pas assez fine. Par exemple, des branches qui apparaissent en premier rang peuvent comprendre des activités *de première et de deuxième transformation du bois*, impliquant des relations économiques croisées très fortes entre elles. Ceci concerne, par exemple, la branche *travail du bois* (C16Z) qui comprend aussi bien le *sciage du bois* et la *fabrication de panneaux en bois* (1^{re} transformation) que la *fabrication de charpentes et de menuiserie et emballages en bois* (2^e transformation).

Nous sommes arrivés au terme de l'analyse structurelle de la filière bois. Cependant, nous allons montrer que l'analyse des valeurs intrinsèques des coefficients peut s'avérer encore plus riche pour la compréhension des interactions économiques entre branches d'activités.

2.2. L'analyse approfondie des échanges d'une filière au sein de l'économie française, via les valeurs des binômes des coefficients d'achats-ventes

Montrons d'abord comment peut être confirmé le choix du **produit d'entrée** d'une filière à l'aide des coefficients d'achats-ventes. Dans notre exemple, le produit de la **branche sylviculture** (A02Z) doit être le **produit le plus en amont** de la filière bois. Pour cela, il suffit de vérifier que la branche sylviculture n'est pas elle-même acheteuse, de façon importante, d'un autre produit en amont. Dans la matrice **S**, on ne note que des achats de faible importance à la branche **agriculture** (A01Z). Au niveau des ventes faites à la sylviculture, aucune branche n'émerge au centile 89. Le produit de la **branche sylviculture** (A02Z) est bien le produit d'entrée de la filière.

Pour les branches *directement acheteuses* du produit d'entrée de la filière, on doit ensuite s'assurer que le produit est bien l'intrant principal de l'activité de transformation de la branche ou a minima que *la liaison est forte avec la branche amont*. On étend ainsi l'analyse aux coefficients d'achats-ventes des autres branches d'activités, hors filière analysée. On analyse les interactions entre filières et particulièrement celles situées aux limites de la filière. Dans notre exemple, la branche **travail du bois** (C16Z) utilise de façon privilégiée la ressource ligneuse dans des activités de sciage. Elle se place bien au **1^{er} rang de la transformation** de la ressource. Le coefficient d'achat avec la sylviculture fait partie des coefficients les plus élevés (centile 99). Les autres achats de la branche concernent tous des activités

de services. Seules ces activités concourent de façon significative à l'activité principale de transformation du produit. Ces résultats s'interprètent comme l'existence d'une liaison « monospécifique » avec la sylviculture. Autre branche d'activité, la **fabrication de pâtes à papiers et papiers** (C17A) a une position moins centrale dans la filière que ne le laisserait penser une simple analyse technico-économique. En effet, elle n'a pas de coefficients d'achats-ventes très importants avec la sylviculture. Si les activités de cette branche sont très dépendantes techniquement de la ressource ligneuse, les achats qui en résultent ne représentent en fait qu'une part limitée dans la totalité des intrants de ces industries. L'analyse des coefficients d'achats nous apprend même que les produits issus de **l'industrie chimique** (C20.1) et les **fournitures énergétiques** (D35) ont une place plus importante. Pour les coefficients de ventes, les produits de la sylviculture restent malgré tout importants et surtout supérieurs à ceux des quelques autres branches réalisant des ventes vers elle. Les indicateurs économiques d'échange nous apprennent donc que la *dépendance économique à la ressource ligneuse* est très nettement inférieure à celle de la branche travail du bois¹³. L'analyse économique de la première étape du processus de transformation de la ressource est donc bien explicitée, via les coefficients d'achats-ventes, avec la mise en évidence de la position en retrait des échanges économiques des industries papetières.

L'analyse de la phase de transformation suivante du produit par **les branches de 2^e rang** de la transformation inclut la branche **fabrication de meubles** (C31Z) qui réalise l'essentiel de ces échanges via la branche travail du bois (coefficient d'achats appartenant au centile 99), même si elle a des échanges directs avec le produit sylvicole. Ceci est bien sûr totalement cohérent avec le processus de transformation de la ressource naturelle, on relève bien le passage par une branche intermédiaire dans la lecture des échanges entre branches de la filière. Mais on note aussi des achats à d'autres filières de production comme la **fabrication de tissus naturels ou artificiels et celle des matières plastiques** (C13Z). En ce qui concerne les

¹³ Notons cependant, pour nuancer ce résultat, que la branche **fabrication de pâtes à papiers et papiers** (C17A) incorpore en réalité deux sous-branches correspondant à deux stades de production successifs, la *fabrication de pâtes à papiers* (C17.11) et la *fabrication de papiers et de cartons* (C17.12), ce qui complique l'analyse directe du lien économique avec le produit sylvicole, sans compter qu'une grande partie des pâtes à papier et de papier-carton est importée en France.

coefficients de ventes, on retrouve la branche *travail du bois* et les mêmes produits complémentaires. La branche *fabrication de meubles* s'insère donc bien dans la filière bois. Cependant, son statut de branche de 2^e transformation, intégrant d'autres types de produits, induit de fait des relations d'échanges importantes avec d'autres filières. Le schéma 3 montre également que la branche ***fabrication d'articles en papiers-cartons*** (C17B) a un très fort coefficient d'achat (centile 99) avec la ***fabrication de pâtes à papiers et de papiers*** dont nous venons d'analyser les échanges. Il est, comme pour la branche *fabrication de meubles*, révélateur d'un positionnement en 2^e rang de transformation de ces activités. Cependant, si on ajoute que d'autres produits manufacturés sont achetés à ***l'industrie chimique*** (C20.1), on peut nuancer le passage intermédiaire avec la *fabrication de pâtes à papiers et papiers*. En fait, le lien direct avec les produits transformés semble s'estomper du fait d'échanges intenses avec des branches relevant des industries chimiques indiquant un processus de transformation plus complexe.

Les branches situées plus en aval de la filière vont être caractérisées par un taux de transformation important du produit d'entrée de la filière. Dans notre exemple, la branche ***construction*** (H0/FZ0) achète essentiellement des ***matériaux de construction*** (F12-B08Z) à l'extérieur de la filière bois et elle intègre à un degré moindre des produits issus de la branche ***travail du bois***, à côté de ceux de la branche ***produits métalliques transformés*** (C25A). Par contre, les ventes des ***produits de la sylviculture*** sont très significatives (centile 98). Ceci induit que la branche construction est un débouché important pour la sylviculture. De façon plus générale, si la branche construction est un débouché important pour près de 70 branches, dont les 2/3 sont des ***branches manufacturières***, la branche ***travail du bois*** fait partie des ***7 produits*** dont les coefficients de ventes appartiennent au centile 99. Elle est juste dépassée par les branches ayant trait à la *fourniture de produits de construction, de matériaux métalliques* et une branche *autres matériaux d'extraction*. Ce résultat a l'intérêt de mettre en évidence, de façon objective, l'importance de certaines branches dans une filière, importance souvent difficile à cerner. Notons que si, dans cet exemple de filière, le lien avec la filière bois est donc bien avéré en tant que branche de 2^e transformation, il faut retenir que d'autres analyses de filières montreraient sûrement que la branche construction pourrait être une filière à part entière (par exemple fortement liée à la filière extraction de matériaux).

De façon plus générale, rappelons que pour toutes les filières, les branches de 2^e transformation vont avoir des liens avec la branche commerce, les activités financières ou plus généralement avec d'autres activités de services.

On voit à travers cette utilisation des coefficients d'achats-ventes que cette analyse des échanges économiques permet une étude beaucoup plus approfondie des interrelations avec les branches d'autres filières. Prenons l'exemple des activités agricoles (A01Z). Cette branche a des liens d'échange relativement importants avec la sylviculture, mais il est évident qu'il existe une filière agricole à part entière et que la même méthode appliquée à ce cas induirait que les produits agricoles sont les produits les plus amont de la filière agricole. On pourra introduire le terme d'« **activités associées** » à la filière, que ce soit en intensité d'achats ou de ventes. Il en sera de même pour les activités de la chimie, de l'énergie ou de la fourniture de matériaux.

Par contre, la question peut être considérée comme différente pour des activités comme, par exemple, ***l'édition, l'imprimerie et la reproduction*** (C18Z). Si les coefficients d'achats et de ventes sont notables avec les deux branches papetières (C17A – C17B), cette branche a aussi des liens importants avec la ***parachimie*** (C20.2), ce qui est relativement logique. On ne peut pas établir de lien fort direct avec les produits sylvicoles, mais compte tenu des coefficients significatifs la reliant aux branches papetières, on peut la représenter dans ce schéma en limite de filière. Cette branche pourrait dépendre d'une filière principale comme la filière chimique mais être dans une forme de « *relation secondaire avec la filière bois* ».

Attardons-nous enfin un instant sur le cas des branches dont les activités sont éloignées de la sylviculture et dont les coefficients de vente apparaissent comme relativement élevés. Prenons pour exemple le cas de ***l'industrie automobile*** (D0/C29). Historiquement, les produits ligneux représentaient une part non négligeable dans le processus de fabrication. Ces produits peuvent encore être utilisés à la marge dans certaines fabrications particulières. Mais une analyse de l'ensemble des coefficients d'achats-ventes de cette branche éclaire le problème sous un angle différent. Les seuls coefficients d'achats importants sont liés à des produits issus de la chimie (plastiques), de l'industrie des métaux, de l'électricité... Si l'on analyse les coefficients de ventes, on constate que l'industrie automobile est le débouché de plus des 2/3 des produits manufacturés et que parmi ces coefficients ***celui***

Schéma 3. Schéma de représentation étendue des échanges de la filière bois en France

Source : TES France 2007

de la sylviculture est parmi les plus faibles. La conclusion qui s'impose est que si l'industrie automobile se caractérise par des échanges très importants avec toutes les activités de transformation comme dans le cas de la branche construction, contrairement à elle, elle appartient de toute évidence à une autre filière industrielle. Cela montre que la simple référence aux coefficients relatifs à un produit I est une étape qui doit être complétée par une mise en perspective de l'ensemble des coefficients d'échanges significatifs des matrices S et T . Le schéma 3 visualise l'ensemble des échanges économiques des branches d'activité autour de la filière bois en France. L'épaisseur des traits y indique l'intensité des échanges.

Cette analyse empirique confirme l'intérêt de la démarche théorique utilisée au travers de coefficients d'achats-ventes via les matrices de Leontief et de Ghosh pour l'analyse des filières technico-économiques. On retrouve une structure de filière cohérente et robuste, enrichie des relations avec l'ensemble des autres activités économiques, qui ouvre le champ de l'analyse approfondie des interrelations entre branches d'activités.

CONCLUSION

Cette étude a été l'occasion de mieux comprendre la méthodologie de construction des ensembles de branches à fortes interactions d'échanges économiques. La démarche théorique utilisée pour l'analyse des filières économiques au travers des coefficients d'achats-ventes, obtenus à partir des matrices de Leontief et de Ghosh, s'avère pertinente. Bien sûr, des limites apparaissent dans la démonstration empirique, compte tenu du niveau de décomposition trop faible des activités économiques dans la comptabilité nationale.

Dans un premier temps, nous avons clarifié l'utilisation des modèles input-output dans la construction d'une filière. Nous avons montré que, s'il n'est pas possible de combiner les modèles de Ghosh et de Leontief pour construire des indicateurs synthétiques pour identifier des filières, ces modèles pouvaient être utilisés simultanément afin de déterminer les intensités d'achats et de ventes. En effet, leur utilisation à des fins d'analyse n'implique pas une modification de la structure productive contrairement à des études d'impacts ou de simulation.

La détermination des branches d'une filière repose sur la valeur des binômes achats-ventes des coefficients d'échanges. Le choix d'un seuil d'échange significatif entre branches ne dépend pas d'une référence théorique. Le choix de la répartition par quantiles de l'ensemble des valeurs facilite la détermination du niveau d'intensité des échanges que l'on va juger significatif. L'approche en termes de produit le plus amont de la filière montre également son efficacité, compte tenu de la grande taille des matrices de coefficients rendant difficile leur analyse.

La décomposition des matrices de Leontief et de Ghosh permet aussi de déterminer les différentes étapes de transformation du produit, à savoir le nombre de branches par lequel doit passer le produit, en se focalisant sur les effets indirects.

Nous avons également démontré et vérifié, sur notre exemple empirique, que l'utilisation de la moyenne, afin de déterminer la distance économique entre deux branches d'une même filière (méthode de propagation moyenne), n'est pas un bon indicateur pour analyser la structure de la filière, car elle est sujette aux valeurs extrêmes. La valeur modale semble plus appropriée pour calculer la distance économique entre deux branches d'activités d'une même filière (méthode de propagation modale).

Enfin, l'analyse des échanges entre branches via les coefficients d'achats-ventes permet l'étude des échanges des branches de la filière avec les autres branches externes dès le stade de la première transformation. Cette analyse permet de comprendre comment des branches, appartenant à d'autres filières, participent de façon significative par leurs produits aux différentes étapes de transformation des produits de la filière. Une représentation schématique de ces échanges approfondis synthétise les résultats de l'analyse de la filière bois. Il est important de noter que ces études descriptives sont le plus souvent une première étape permettant de développer par la suite des scénarios de prospective pour la filière.

BIBLIOGRAPHIE

- AUGUSTINOVICS, M. A. (1970), « Methods of international and intertemporal comparison of structure », in A. P. Carter, A. Brody, *Contributions to input-output analysis*, Amsterdam, North Holland.
- AURAY, J.-P. (1984), « Filière de production et structures prétopologiques », *Cahiers de l'ACE*, n° 1.
- BON, R. (1986), « Comparative stability analysis of demand-side and supply-side input-output models », *International Journal of Forecasting*, vol. 2, n° 2, pp. 231-235.
- CABER, B., CONTRERAS, D., MIRAVETE, E. J. (1991), « Aggregation in Input-Output Tables: How to Select the Best Cluster Linkage », *Economic Systems Research*, vol. 3, n° 2, pp. 99-110.
- CHEN, C.-Y., ROSE, A. (1986), « The joint stability of input-output production and allocation coefficients », *Modeling and Simulation*, vol. 17, pp. 251-255.
- CZAMANSKI, S. (1974), *Study of Clustering of Industries*, Halifax, Dalhousie University.
- DIETZENBACHER, E. (1989), « On the Relationship between the Supply-Driven and Demand-Driven Input-Output Models », *Environment and Planning A*, vol. 21, n° 11, pp. 1533-1539.
- DIETZENBACHER, E. (1997), « In Vindication of the Ghosh Model: A Reinterpretation as a Price Model », *Journal of Regional Science*, vol. 37, n° 4, pp. 629-651.
- DIETZENBACHER, E., ROMERO, I., BOSMA, N. S. (2005), « Using average propagation lengths to identify production chains in the andalusian economy », *Estudios de Economía Aplicada*, vol. 23, n° 2, pp. 405-422.
- DIETZENBACHER, E., ROMERO, I. (2007), « Production Chains in an Interregional Framework: Identification by Means of Average Propagation Lengths », *International Regional Science Review*, vol. 30, n° 4, pp. 362-383.
- DIETZENBACHER, E., LOS, B., STEHRER, R., TIMMER, M.P., DE VRIES, G.J., (2013), « The Construction of World Input-Output Tables in the WIOD Project », *Economic Systems Research*, vol. 25, n° 1, pp. 71-98.
- EHRET, H., (1970), *Die Anwentbarkeit von Input-Output Modellen als Prognose Instrument*, Berlin, Dunkler & Humblot.
- EUROSTAT (2008), *Eurostat Manual of Supply, Use and Input-Output Tables*, Eurostat methodologies and working papers.
- GIARRATANI, F. (1981), « A supply-constrained interindustry model: Forecasting performance and an evaluation », in W. Buhr, P. Friedrich, *Regional development under stagnation*, Baden-Baden, Nomos Verlag.
- GRUVER, G. W. (1989), « On the plausibility of the supply-driven input-output model: a theoretical basis for input coefficient change », *Journal of Regional Science*, vol. 29, n° 3, pp. 441-450.
- HAUKNES, J. (1999), « Norwegian Input-Output Clusters and Innovation Patterns », in T. Roelandt, P. den Hertog (eds), *Boosting Innovation: The Cluster Approach*. Paris, Organisation for Economic Cooperation and Development.
- LAINESSE, L., POUSSART, B. (2005), *Méthode de repérage des filières industrielles sur le territoire québécois basée sur les tableaux d'entrées-sorties*, Direction des statistiques économiques et sociales, Institut de la statistique du Québec.

- LANTNER, R. (1974) *Théorie de la dominance économique*, Paris, Dunod.
- LENZEN, M., MORAN, D., KANEMOTO, K., GESCHKE, A., (2013), « Building Eora: A Global Multi-regional Input-Output Database at High Country and Sector Resolution », *Economic Systems Research*, vol. 25, n° 1, pp. 20-49.
- MARTIN, J.-C. (2010), *Impacts économiques d'une politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour la région Aquitaine*, thèse, Université Montesquieu Bordeaux IV.
- de MESNARD, L. (1997) « A biproportional filter to compare technical and allocation coefficients variations », *Journal of Regional Science*, vol. 37, pp. 541-564.
- de MESNARD, L. (2009), « Is the Ghosh model interesting? », *Journal of Regional Science*, vol. 49, n° 2, pp. 361-372.
- de MESNARD, L. (2011), « Negatives in symmetric input-output tables: the impossible quest for the Holy Grail », *The Annals of Regional Science*, vol. 46, n° 2, pp. 427-454.
- de MESNARD, L. (2016), « Price consistency in the Leontief model », *Cahiers d'économie politique/Papers in Political Economy*, vol. 71, n° 2, pp. 181-201.
- MILLER, R. E. (1989), « Stability of Supply Coefficients and Consistency of Supply-Driven and Demand-Driven Input-Output Models: A Comment », *Environment and Planning A*, vol. 21, n° 8, pp. 1113-1120.
- MILLER, R. E., BLAIR, P. D. (2009), *input-output analysis: foundations and extensions*, Cambridge, Cambridge University Press.
- MONFORT, J.-A. (1983), « À la recherche des filières de production », *Économie et statistique*, vol. 151, n° 1, pp. 3-12.
- MONFORT, J.-A., DUTAILLY, J.-C. (1983), « Les filières de production », *Archives et Documents (INSEE)*, vol. 67, pp. 1-193.
- OOSTERHAVEN, J. (1988), « On the plausibility of the supply-driven input-output model », *Journal of Regional Science*, vol. 28, n° 2, pp. 203-271.
- OOSTERHAVEN, J. (1989), « The supply-driven input-output model: a new interpretation but still implausible », *Journal of Regional Science*, vol. 29, n° 3, pp. 459-465.
- OOSTERHAVEN, J., BOUWMEESTER, M. C. (2013), « The Average Propagation Length: Conflicting Macro, Intra-industry, and Interindustry Conclusions », *International Regional Science Review*, vol. 36, n° 4, pp. 481-491.
- PEETERS, L., TIRI, M., BERWERT, A. (2001), « Identification of techno-economic clusters using input-output data: application to Flanders and Switzerland », in P. D. Hertog, S. Remøe, *Innovative Clusters: Drivers of National Innovation Systems* (pp. 251-268), OECD.
- RAINELLI, M. (1991), « Les filières de production », in Arena, Benzoni et al., *Traité d'économie industrielle* (pp. 222-226), Paris, Economica.
- REY, S., MATTHEIS, D. (2000), *Identifying Regional Industrial Clusters in California*. Volume I: Conceptual Design; Volume II: Methods Handbook; Volume III: Technical Documentation of Statewide Industry Clusters, Prepared for the California Employment Development Department, San Diego State University.
- ROSE, A. (1995), « Input-output economics and computable general equilibrium models », *Structural Change and Economic Dynamics*, vol. 6, n° 3, pp. 295-304.
- ROSE, A., ALLISON, T. (1989), « On the plausibility of the supply-driven input-output model: empirical evidence on joint stability », *Journal of Regional Science*, vol. 29, n° 3, pp. 451-458.

- SANCHEZ-CHOLIZ, J., DUARTE, R. (2003), « Production chains and linkage indicators », *Economic Systems Research*, vol. 15, n° 4, pp. 481-494.
- SLATER, P. B. (1977), « The Determination of Functionally Integrated Industries in the United States Using a 1967 Interindustry Flow Table », *Empirical Economics*, vol. 2, n° 1, pp. 1-19.
- TIMMER M. P., ERUMBAN, A. A., LOS, B., STEHRER, R., DE VRIES, G. J. (2014), « Slicing Up Global Value Chains », *Journal of Economic Perspectives*, vol. 28, n° 2, pp. 99-118.
- TITZE, M., BRACHERT, M., KUBIS, A. (2011), « The identification of regional industrial clusters using qualitative input-output analysis », *Regional Studies*, vol. 45, n° 1, pp. 89-102.
- TORRE, A. (1986), « Le problème des priorités industrielles et la détermination des industries motrices », *Mondes en développement*, vol. 14, n° 56, pp. 123-144.
- TORRE, A. (1988), « Une approche industrielle des déstructurations internes des processus de production », *Revue d'économie régionale et urbaine*, n° 3, pp. 413-430.
- WEST, G. R. (1995), « Comparison of Input-Output, Input-Output Econometric and Computable General Equilibrium Impact Models at the Regional Level », *Economic Systems Research*, vol. 7, n° 2, pp. 209-227.
- YE, M., VOIGT, S. (2014), « The Global Value Chains in BRICS Countries », *Fudan Journal of the Humanities and Social Sciences*, vol. 7, n° 3, pp. 411-420.

ANNEXE 1. Description des modèles de Leontief et de Ghosh

Le modèle de Leontief ou modèle orienté demande

Le modèle orienté demande (modèle de Leontief) vise à déterminer le montant de production totale (directe et indirecte) suite à la demande finale d'une unité monétaire d'un produit. Il part de l'équilibre emploi-ressource des produits décrit par l'équation :

$$\mathbf{X} = \mathbf{Z} \cdot \mathbf{i} + \mathbf{Y} \quad (\text{A.1})$$

où $\mathbf{X}$ est le vecteur ($n \times 1$) de production en valeur des branches, $\mathbf{Z}$ la matrice ($n \times n$) des consommations intermédiaires en valeur, $\mathbf{i}$ le vecteur ($n \times 1$) composé du chiffre 1 et $\mathbf{Y}$ le vecteur ($n \times 1$) de la demande finale en valeur, n représentant le nombre de produits et de branches dans l'économie.

Le modèle suppose que les coefficients techniques, définis comme la part des inputs nécessaires à la production, sont stables. Ces coefficients sont indiqués dans la matrice $\mathbf{A}$ ($n \times n$) calculée comme suit :

$$\mathbf{A} = \mathbf{Z} \cdot \mathbf{X}^{-1} \quad (\text{A.2})$$

En intégrant (A.2) dans (A.1), et après transformation, nous obtenons $\mathbf{X} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{X} + \mathbf{Y}$ d'où on tire :

$$\mathbf{X} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{Y} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{Y} \quad (\text{A.3})$$

où $\mathbf{B} \equiv (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ représente la matrice inverse de Leontief et $\mathbf{I}$ la matrice identité. Nous notons par b_{ij} les éléments de la matrice inverse de Leontief $\mathbf{B}$. Ils indiquent le montant de la production de la branche j suite à la demande d'une unité monétaire pour le produit i .

En outre, la matrice inverse de Leontief peut être décomposée en suite de puissances comme indiqué dans l'équation ci-dessous :

$$\mathbf{B} = \sum_{k=0}^{\infty} \mathbf{A}^k = \mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \mathbf{A}^3 + \dots \quad (\text{A.4})$$

Les différents termes de la décomposition en suite de puissances peuvent s'interpréter comme l'ensemble des stades de transformation en amont de la chaîne d'approvisionnement de valeur d'un produit. La puissance k donne des informations sur le nombre de stades intermédiaires de production entre une branche et celle qui fabrique le produit final (branche finale). Par exemple, quand $k = 1$, les coefficients du produit matriciel $\mathbf{A} \cdot \Delta \mathbf{Y}$ indiquent l'effet sur la valeur de la production des branches fournissant directement des produits intermédiaires à la branche finale dont la valeur de la demande finale s'est modifiée. Pour $k = 2$, les coefficients du produit matriciel $\mathbf{A}^2 \Delta \mathbf{Y}$ indiquent l'effet d'une modification de la demande finale sur les branches fournisseuses de 2^e rang (à savoir les fournisseurs des fournisseurs). Et ainsi de suite en remontant en amont dans la chaîne de valeur.

Le modèle de Leontief simple a suscité des critiques surtout au regard des modèles plus sophistiqués, à l'instar du modèle d'équilibre général calculable. West (1995) résume les principales critiques adressées aux hypothèses du modèle : stabilité des coefficients techniques, linéarité du modèle, rendement d'échelle constant, absence de contrainte sur l'offre. Malgré ces différentes limites, le modèle de Leontief reste un outil de modélisation économique essentiel (Rose 1995 ; West, 1995).

Le modèle orienté offre est le pendant du modèle orienté demande.

Le modèle de Ghosh ou le modèle orienté offre

Le modèle orienté offre (modèle de Ghosh) vise à déterminer le montant de production totale (directe et indirecte) suite à l'extraction d'une ressource primaire d'une valeur équivalente à une unité monétaire. Ce modèle part de la définition de la production selon l'optique de l'offre :

$$\mathbf{X}' = \mathbf{i}' \cdot \mathbf{Z} + \mathbf{V}' \quad (\text{A.5})$$

où $\mathbf{V}$ représente le vecteur ($n \times 1$) de la valeur ajoutée, également appelé le vecteur des inputs primaires (travail, capital, extraction des ressources primaires, etc.). L'apostrophe indique la transposée d'un vecteur ou d'une matrice.

Le modèle suppose que les coefficients de débouchés, définis comme la part des produits vendus aux différentes branches d'activités, sont stables. Ces coefficients sont indiqués dans la matrice $\mathbf{C}$ ($n \times n$) calculée comme suit :

$$\mathbf{C} = \hat{\mathbf{X}}^{-1} \cdot \mathbf{Z} \quad (\text{A.6})$$

L'accent circonflexe représente une matrice diagonale. En intégrant (A.6) dans (A.5) et, après transformation, nous obtenons $\mathbf{X}' \cdot \mathbf{B} + \mathbf{V}' = \mathbf{V}'$, d'où on tire :

$$\mathbf{X}' = \mathbf{V}' \cdot (\mathbf{I} - \mathbf{C})^{-1} = \mathbf{V}' \cdot \mathbf{D} \quad (\text{A.7})$$

où $\mathbf{D} = (\mathbf{I} - \mathbf{C})^{-1}$ représente la matrice inverse de Ghosh et d_{ij} les éléments de la matrice inverse de Ghosh. Ils indiquent le montant de la production de la branche i suite à la création de valeur ajoutée de la branche j .

De la même manière que le modèle de Leontief, la matrice inverse de Ghosh peut être décomposée en suite de puissances comme indiqué dans l'équation ci-dessous :

$$\mathbf{D} = \sum_{k=0}^{\infty} \mathbf{C}^k = \mathbf{I} + \mathbf{C} + \mathbf{C}^2 + \mathbf{C}^3 + \dots \quad (\text{A.8})$$

Les différents termes de la décomposition en suite de puissances peuvent s'interpréter comme l'ensemble des stades en aval de la chaîne d'approvisionnement de valeur d'un produit. La puissance k donne des informations sur le nombre de stades intermédiaires de production entre une branche en aval et celle qui crée de la valeur ajoutée en amont (branche initiale). Par exemple, quand $k = 1$, les coefficients du produit matriciel $\Delta \mathbf{V}' \cdot \mathbf{C}$ indiquent l'effet sur la valeur de la production des branches achetant directement des produits intermédiaires à la branche initiale dont la valeur ajoutée s'est modifiée. Pour $k = 2$, les coefficients du produit matriciel $\Delta \mathbf{V}' \cdot \mathbf{C}^2$ indiquent les effets sur les branches acheteuses de 2^e rang (les branches qui achètent des produits à des branches qui achètent à leur tour à la branche initiale). Et ainsi de suite en descendant en aval dans la chaîne de valeur.

Le modèle de Ghosh a été fortement critiqué du fait de l'hypothèse de stabilité des coefficients de vente impliquant une parfaite substitution

des inputs (Gruver, 1989 ; Oosterhaven, 1988 ; Oosterhaven, 1989 ; Rose et Allison, 1989). Elle n'est donc pas en cohérence avec l'hypothèse de stabilité des processus de production de Leontief.

On peut montrer qu'il existe une relation entre les deux modèles sous des conditions formelles très restrictives.

La relation entre les deux modèles

Les équations (A.2) et (A.6) peuvent être reliées, indiquant un lien entre la matrice des coefficients techniques **A** et la matrice des débouchés **C** selon l'équation :

$$\mathbf{A} = \hat{\mathbf{X}} \cdot \mathbf{C} \cdot \hat{\mathbf{X}}^{-1} \quad (\text{A.9})$$

À partir de l'équation (A.9), il est possible de démontrer l'existence d'une relation entre la matrice inverse de Leontief et la matrice inverse de Ghosh à travers l'équation ci-dessous :

$$\mathbf{B} = \hat{\mathbf{X}} \cdot \mathbf{D} \cdot \hat{\mathbf{X}}^{-1} \quad (\text{A.10})$$

Les équations (A.9) et (A.10) déterminent les conditions de la stabilité jointe des matrices inverses de Ghosh et Leontief. Les deux matrices sont stables dans le cas, et seulement dans le cas, où la structure productive reste stable (à savoir que le ratio $\frac{x_i}{x_j}$ est stable, avec $i \neq j$).