

Jean Arrous

Une initiation à l'économie *avec* **Leontief**



**Un outil pour la transition
écologique et énergétique**

Jean Arrous

Une initiation
à l'économie
avec **Leontief**

Pour toute information sur notre fonds et les nouveautés dans
votre domaine de spécialisation, consultez notre site web :
www.deboecksuperieur.com

© De Boeck Supérieur s.a., 2024
Rue du Bosquet, 7 – B-1348 Louvain-la-Neuve

1^{re} édition

Tous droits réservés pour tous pays.

Il est interdit, sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, de reproduire (notamment par photocopie) partiellement ou totalement le présent ouvrage, de le stocker dans une banque de données ou de le communiquer au public, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit.

Dépôt légal :

Bibliothèque nationale, Paris : septembre 2024

Bibliothèque royale de Belgique, Bruxelles :

2024/13647/138

ISBN 978-2-8073-6442-4

À mes parents, ils sont tous les deux dans ce texte.
À ma mère, avec cet ouvrage, j'accomplis la « promesse de l'aube »
qu'elle n'a pu tenir pour elle-même.
À mon père, résistant, il vous aurait dit qu'il n'avait fait que son devoir.
À Souni, ma compagne de longue date, partie pour un éternel voyage
avant que cet ouvrage ne voie le jour.
À la mémoire de Jean-Paul Fitoussi, qui a su me dire
qu'il ne doutait pas de moi, ce qui n'était pas mon cas.
À Moïse Sidiropoulos, dont les remarques m'ont incité
à ne pas abandonner le sillon de l'analyse input-output.
À Ragip Ege, lecteur plus que perspicace, pour ses remarques aussi brèves que décisives.
À mes enfants, Manue et les siens, Julien et les siens
(merci à toi pour les graphiques et les tableaux !) et à leur maman.
À Pauline Monclin, responsable éditoriale, qui m'a accompagné
avec clairvoyance dans l'objectif de cet ouvrage et le choix de son titre.
À Mireille Raskin, éditrice, pour la qualité de son œuvre d'édition.

Sommaire

Préambule	7
Chapitre 1 : Leontief et l'invention de l'analyse input-output	17
Chapitre 2 : L'analyse input-output, une approche technologique de l'économie : présentation générale	37
Chapitre 3 : L'analyse de la production : qui produit quoi ?	57
Chapitre 4 : La détermination des prix et de la répartition : qui reçoit quoi ?	83
Chapitre 5 : La pollution, la lutte antipollution et son financement	115
Chapitre 6 : L'intensité énergétique des biens	137
Conclusion : L'analyse input-output, un bilan	153
Postface : Le modèle de base de l'analyse input-output, et après ?	159
Bibliographie	163
Table des matières	169

Préambule

« Lorsque je travaillais sur l'input-output, je travaillais aussi sur d'autres sujets. Je publiais de nombreuses choses qui étaient mieux acceptées. J'ai publié un article purement mathématique qui liait quelques problèmes de structure de consommation. C'était un problème mathématique de "séparabilité". Ainsi, j'avais une position solide au sein de la communauté économique. On pensait que je faisais, par ailleurs, des choses bien sottes comme l'input-output, mais que chacun pouvait avoir ses petits amusements. »

WASSILY LEONTIEF, 1984

L'objet de cet ouvrage est d'initier à l'économie en se fondant sur une **approche technologique, l'analyse input-output** de Leontief (1905-1999). La spécificité de cette analyse est en effet de prendre en compte les conditions de production dans les différentes branches du système productif : agriculture, automobile, sidérurgie, chimie, services... Leontief en a posé les bases dans un article de 1936 où apparaissent pour la première fois les termes *input* et *output*, et il a reçu le prix Nobel en 1973 « pour ses travaux en input-output ».

Cette approche technologique présente un intérêt supplémentaire car elle est en mesure de prendre également en compte la **pollution** produite ainsi que l'**énergie** utilisée à l'occasion de la production. En notre époque inquiète où se pose la question de la survie même de l'humanité, l'analyse input-output devient ainsi un outil des transitions écologique et énergétique qui font aujourd'hui l'objet de travaux considérables publiés dans de multiples revues.

1. UNE ANALYSE FONDÉE SUR LES CONDITIONS TECHNOLOGIQUES DE LA PRODUCTION

Chacune des branches du système productif achète aux autres branches – ce sont ses consommations intermédiaires, ses **inputs** – ; elle vend

également sa production, son **output**, aux autres – ce sont ses emplois intermédiaires. La production d'une voiture nécessite ainsi de l'acier, des pneus, du verre, de l'électricité... L'acier en question a lui-même été produit à partir d'autres inputs, et ainsi de suite. L'analyse en termes d'input a un miroir en termes d'output : l'achat d'acier pour produire une voiture est également la vente d'acier à l'industrie automobile. On voit ainsi en quoi il s'agit d'une approche technologique de l'économie, centrée sur **l'interdépendance des branches du système productif**.

J'ajoute à ce qui précède que l'automobile est produite à l'aide de travail, le **travail direct**. Mais cette même production exige également du **travail indirect**, celui nécessaire pour produire l'acier, les pneus, le verre... La somme du travail direct et du travail indirect définit la **valeur-travail** des biens. De la même manière, de la **pollution directe** est émise à l'occasion de la production, une pollution que l'activité antipollution cherche à réduire. Mais intervient également la **pollution indirecte** : la construction automobile peut en soi être peu polluante, elle peut devenir indirectement très polluante – sa **valeur-pollution** devenir très élevée – si la production de pneus est extrêmement polluante. Le même raisonnement vaut également pour l'énergie : à l'**énergie directe** – sous la forme d'électricité, de pétrole ou de gaz – il convient d'ajouter l'**énergie indirecte**, celle contenue dans les différents inputs nécessaires à la fabrication de l'automobile. Le bilan global – la **valeur-énergie** –, peut être beaucoup plus élevé que celui du contenu direct en énergie.

En prenant en compte les données technologiques et l'interdépendance des branches du système productif, l'analyse input-output parvient à calculer ces différentes valeurs, et c'est là sa véritable spécificité : **calculer le contenu, direct et indirect, en travail, en pollution, en énergie**, des différents biens produits et calculer également les effets directs et indirects de certaines mesures de politique économique.

Dès sa thèse de doctorat de 1928, Leontief affirmait que les approches technologique et économique n'étaient pas « mutuellement exclusives : elles partagent une relation intime, puisque nous devons **connaître le cadre technologique objectif avant de pouvoir commencer à construire une théorie du système économique** » (Leontief, 1991, p. 182)¹. L'analyse input-output qu'il va inventer correspond au plein développement de ce projet.

1. Toutes les références complètes sont à retrouver dans la bibliographie en fin d'ouvrage.

De 1931 à 1936, Leontief a ainsi effectué un travail considérable de **collecte de données** sur l'économie américaine. En même temps que cette approche empirique, il a cherché à prendre en compte théoriquement l'interdépendance des branches en élaborant un modèle fondé sur l'**hypothèse dite de linéarité : l'utilisation des différents inputs par une branche est supposée proportionnelle à l'output de cette branche**. Augmenter de 5 % la production d'automobiles nécessite une même augmentation en pourcentage des différents inputs (acier, pneus, verre...) de cette branche d'activité. Cette même hypothèse s'applique également à la **pollution** : l'émission de pollution est supposée proportionnelle à la production de chaque branche. C'est également le cas pour la **lutte antipollution** : l'activité de la branche correspondante est proportionnelle au montant de pollution éliminée. Il en va de même pour **l'utilisation d'énergie** : cette dernière est supposée proportionnelle à l'activité de chacune des branches productrices.

2. LE MODÈLE DE BASE DE L'ANALYSE INPUT-OUTPUT

Entre 1936 et aujourd'hui, l'analyse input-output s'est considérablement développée au travers de nombreux domaines spécialisés qui sont le résultat d'autant de « stratégies de recherche » : analyse dynamique, analyse de multiplicateurs, comptabilité sociale et démographique, commerce extérieur et économie internationale, économie régionale et inter-régionale, analyse structurelle, modèles de prix... Ces multiples domaines ont donné lieu à un nombre considérable de publications. Trois spécialistes de cette analyse – H. Kurz, E. Dietzenbacher et M. Lahr – ont ainsi publié en 1998 une véritable encyclopédie sur l'état de l'analyse input-output : cet ouvrage regroupe un ensemble de 85 articles déjà publiés, sous la forme de trois volumes de près de 1 500 pages au total ! Dans la préface de leur ouvrage, ces auteurs considèrent que « le champ de l'analyse input-output s'est tellement développé et a été subdivisé en des branches spécialisées si nombreuses qu'il serait difficile, si ce n'est impossible, à une seule personne de le maîtriser dans son intégralité » (Kurz, Dietzenbacher & Lahr, 1998, vol. I, p. xiv).

Devant une telle impossibilité et dans le cadre d'un ouvrage aux dimensions plus réduites, j'ai dû effectuer un certain nombre de choix. En premier lieu, j'ai opté pour la **présentation théorique de cette analyse**. Ce faisant, je n'oublie pas que Leontief concevait notre discipline comme une science empirique. Il considérait qu'il y a « une méthode d'analyse qu'on appelle input-output, et qui contient une formulation théorique et des données. Je n'ai jamais publié de formules théoriques sans présenter les données.

C'est une position pédagogique. Il n'y a aucune raison pour qu'on ne publie pas les deux. J'ai toujours essayé d'accoutumer mon public à cette nécessité ». Plus loin, il ajoute : « Si l'on veut construire un pont pour traverser une rivière, il ne sert à rien de n'en construire que la moitié » (Leontief, 1984, p. 96).

En dépit de cet avertissement de Leontief auquel je souscris pleinement, j'ai opté pour une moitié du pont, celle de la présentation théorique. Il s'agit en fait d'exposer le « **modèle de base** » de l'analyse input-output, qui dispose d'un avantage considérable : du fait de l'hypothèse de linéarité, il est possible de présenter séparément l'analyse en termes physiques – les échanges physiques de biens – et l'analyse en termes monétaires – la détermination des prix. En effet, du fait de cette hypothèse, si l'on modifie les quantités produites, rien n'est changé dans les proportions des différents inputs et les conditions de production et, de là, dans la détermination du prix des biens. L'essentiel de cet ouvrage est fondé sur cette séparation.

En deuxième lieu, d'une façon qui peut sembler étonnante, **Leontief n'a jamais présenté l'analyse input-output sous la forme d'un manuel** comme Samuelson, son ancien étudiant, a pu le faire avec son *Economics*, publié à des millions d'exemplaires à travers le monde. Les ouvrages que Leontief a publiés sont en fait chacun une collection d'articles. Il reconnaissait lui-même qu'il n'avait pas rédigé un véritable manuel d'input-output : il lui semblait préférable que le lecteur aille d'article en article, et soit « en mesure de parvenir à une compréhension plus profonde de l'approche input-output – pas seulement comme une **théorie formelle** mais également comme **stratégie de recherche** – que ce qu'il aurait pu acquérir en progressant sans effort à travers la douce présentation du sujet par un manuel » (Leontief, 1986, p. ix).

En relation directe avec cette affirmation de Leontief, je considère que cet ouvrage se développe en deux temps. Le premier est celui de la « théorie formelle » exposée dans les quatre premiers chapitres, dont l'objet est de présenter une initiation au modèle de base de l'analyse input-output. Le second temps expose dans les deux derniers chapitres les résultats de « stratégies de recherche » portant, d'une part, sur la pollution et la lutte antipollution et, d'autre part, sur l'énergie.

J'ajoute à cela qu'il existe un certain nombre d'ouvrages d'analyse input-output, mais ils sont en langue anglaise et ceux dont je dispose ne sont pas toujours faciles d'accès, c'est le moins que l'on puisse dire. De plus,

il n'existe pas, en français, de textes d'initiation à l'analyse input-output et cette analyse n'apparaît pas non plus dans les « grands manuels » d'économie.

En troisième lieu, l'analyse input-output parvient à présenter des données d'ordre macroéconomique à partir de l'activité des différentes branches de production. **Je vais opter pour l'étude de l'économie au niveau national**, ce qui fut le point de vue adopté par Leontief dès ses premiers travaux. Cette étude aboutit notamment à **l'élaboration des tableaux input-output qui sont les tableaux des entrées-sorties de la comptabilité nationale française**. Cette dernière comporte en effet deux tableaux de synthèse, le « tableau économique d'ensemble » qui est la juxtaposition des comptes des différents secteurs institutionnels – entreprises, ménages, extérieur – tandis que le tableau des entrées-sorties porte sur l'activité des branches. Pour cette dernière raison, l'analyse input-output fait partie intégrante des **modèles macroéconomiques** développés dans les ministères de l'Économie de nombreux pays ainsi que dans des organismes de recherche.

3. VALEUR-TRAVAIL, PRIX DES BIENS ET RÉPARTITION DES REVENUS

Venons-en maintenant aux questions auxquelles le modèle de base de l'analyse input-output apporte une réponse. Les différentes branches échangent entre elles des **quantités physiques** de biens : avec quels outils prendre en compte ces échanges entre les branches ? Les différents biens s'échangent en fait en fonction d'un **prix** : comment les prix des biens sont-ils déterminés à ce niveau global d'analyse ? La production ne va pas sans utiliser du **travail** : comment ce dernier est-il intégré dans l'analyse ? À l'occasion de la production, des **revenus** sont distribués : quelle variable détermine la répartition entre **salaires** et **profits** ? Comment sont construits les tableaux input-output ? À cela s'ajoutent les questions portant sur la pollution et l'énergie : comment l'analyse input-output prend-elle en compte **pollution, lutte antipollution et intensité énergétique des biens** ?

La réponse à ces questions permettra de présenter les **principaux résultats** du modèle de base de l'analyse input-output. Ils sont obtenus à l'aide de **trois ensembles de variables : les données technologiques de la production des branches, la quantité de travail disponible dans l'économie et la marge de profit**. À l'aide des deux premières, on construit la **frontière des possibilités de production** : elle indique l'ensemble des quantités physiques qu'il est possible de produire à l'aide du travail disponible. À l'aide de la première et de la troisième variable, on construit la **frontière des prix**

des facteurs, de façon plus explicite la **frontière du conflit entre salaires réels et marge de profit**. À elles deux, ces frontières résument une large part du fonctionnement de l'économie. À cela s'ajoute le traitement de la pollution et de l'antipollution dont le **niveau toléré de pollution** constitue une variable déterminante de la transition écologique. De la même manière, **l'intensité énergétique des biens** constitue une variable clé de la transition énergétique.

Une précision supplémentaire concernant ces résultats : à un instant donné, le fonctionnement de l'économie est représenté par un point de la frontière des possibilités de production qui relève d'un **choix de société** quant au contenu des emplois finals, et non de l'analyse économique stricto sensu. C'est également le cas pour le point choisi sur la frontière des prix des facteurs, il est déterminé par le **rapport de forces entre salariés et capitalistes**, dont découle la valeur de la marge de profit. Quant au traitement des transitions écologique et énergétique, certaines des données à prendre en compte ne relèvent pas de la seule analyse économique, mais de **choix politiques** quant aux normes de pollution et à l'utilisation de l'énergie. L'explication du fonctionnement de l'activité économique ne s'arrête donc pas aux frontières de l'économie, une certaine forme de pluridisciplinarité s'impose pour parvenir à une telle explication.

Je présenterai de deux façons successives les différents résultats du modèle de base : la première (*cf.* chapitre 2) se limite à l'exposé de ces résultats, la seconde (*cf.* chapitres 3 et 4) comporte leur démonstration. Dans ce second cas, il s'agira, par exemple, de déterminer l'équation des deux frontières en fonction des trois ensembles de variables qui viennent d'être mentionnés. Par définition, cette seconde façon sera plus technique et, pour les besoins de la démonstration, aura recours aux mathématiques, et notamment au calcul matriciel. Une **matrice** est un tableau de nombres, comportant lignes et colonnes en nombre quelconque, elle est donc particulièrement pertinente pour représenter les inputs et les outputs de la production des différents biens. J'exposerai au fil du texte, et non dans un chapitre à part, les éléments de ce calcul nécessaires à cette démonstration. La compréhension en est largement facilitée du fait que le calcul matriciel, par la nature même des matrices, comporte des applications numériques.

4. LE PLAN DE L'OUVRAGE

Le **plan** de cet ouvrage découle de ce qui précède, à l'exception du premier chapitre qui décrit le parcours de vie de Leontief et les différentes

brriques théoriques qui l'ont conduit, en une dizaine d'années, à inventer l'analyse input-output. Des éléments théoriques certes, mais également des **résultats empiriques** essentiels. Dès 1937, Leontief présente ainsi le premier tableau input-output calculable de tous les temps, puis, en 1944, un tableau – en dix branches, comme le précédent – décrivant la relation numérique entre demande finale et production totale des différents biens (**Chapitre 1 : Leontief et l'invention de l'analyse input-output**).

Je présente ensuite de façon systématique les concepts du modèle de base de l'analyse input-output qui permettent d'aboutir aux résultats qui viennent d'être exposés. **En termes physiques**, ce sont la matrice technologique et la matrice inverse de Leontief, les deux premiers concepts pivots de l'analyse input-output. Viennent ensuite la matrice des entrées-travail, le tableau des échanges interindustriels, la frontière des possibilités de production et la valeur-travail. **En termes monétaires**, ce sont la matrice augmentée de Leontief – le troisième concept pivot de cette analyse –, la frontière des prix des facteurs, le tableau input-output et la répartition du revenu national (**Chapitre 2 : L'analyse input-output, une approche technologique de l'économie : présentation générale**).

Les deux chapitres qui suivent constituent la démonstration de l'ensemble des résultats exposés dans le deuxième chapitre. Cette démonstration revient à établir les **trois équations fondamentales** du modèle de base. Elles se présentent sous la forme d'**équations matricielles** qui présentent l'avantage de pouvoir résoudre les calculs extrêmement complexes nécessaires à l'obtention des résultats, complexité qui découle de l'interdépendance des activités à l'intérieur du système productif.

Après la présentation des opérations élémentaires du calcul matriciel, cette démonstration commence par l'écriture matricielle des **deux premières équations fondamentales** de l'analyse input-output. La première décrit l'égalité entre la production totale des différents biens et la somme de leurs emplois intermédiaires et de leurs emplois finals. La deuxième traduit le passage inverse des emplois finals à la production totale. On voit tout l'intérêt de cette équation pour la politique économique : la relance de l'industrie automobile, qui se traduit par l'augmentation de l'une des composantes de la demande finale, va avoir une incidence sur l'ensemble des composantes de la production totale. En associant à la connaissance de cette dernière les données relatives aux **entrées-travail** de la production des différents biens, on est en mesure de déterminer l'incidence sur l'**emploi**. L'écriture de cette deuxième équation utilise la **matrice inverse de Leontief**, dont on

déduit la **valeur-travail** des biens. L'équation de la frontière des possibilités de production est alors obtenue en associant à cette deuxième équation la **quantité totale de travail disponible dans l'économie**. La présentation est ensuite illustrée dans le cas d'une économie à deux biens, d'abord en termes algébriques, ensuite en termes numériques, illustration qui permet de construire le **tableau des échanges interindustriels (Chapitre 3 : L'analyse de la production : qui produit quoi ?)**.

La **troisième équation fondamentale** détermine les prix d'équilibre des différents biens à partir des données technologiques et de la marge de profit. Les résultats de ce calcul sont obtenus à l'aide de la **matrice augmentée de Leontief**. Dans le cas d'une économie à deux biens, de la connaissance de ces prix, je déduis l'équation de la frontière des prix des facteurs ainsi que le **tableau input-output**. Ce tableau permet de suivre les évolutions de la **répartition du revenu national** en fonction de celle de la marge de profit. Sont ensuite exposés les étonnants **théorèmes de Perron-Frobenius** qui sous-tendent l'ensemble des résultats du modèle de base de l'analyse input-output (**Chapitre 4 : La détermination des prix et de la répartition : qui reçoit quoi ?**).

J'en viens alors à la question de la pollution, de l'antipollution et de son financement. Elle relève d'une « stratégie de recherche » dans la mesure où la **pollution** représente un bien négatif qui diminue le bien-être des consommateurs et nécessite donc un traitement spécifique qui n'est pas celui du modèle de base. Après avoir vu comment Leontief a réussi à résoudre ce problème, la pollution et la lutte antipollution sont traitées en deux temps. Le premier relève de l'analyse en termes physiques et détermine la **valeur-pollution**, la pollution directe et indirecte, émise par unité d'emplois finals des différents biens. Ce premier temps développe **deux cas de normes de niveau toléré de pollution** et présente les résultats en termes de tableaux d'échanges interindustriels. Le second temps relève de l'analyse en termes monétaires et porte sur le financement de la lutte antipollution : il développe **trois modalités de ce financement** dont on déduit le tableau input-output correspondant. Selon que l'on fait financer la lutte antipollution par les ménages ou par les entreprises, l'enjeu n'est pas le même en termes de politique économique et d'acceptation de cette politique (**Chapitre 5 : La pollution, la lutte antipollution et son financement**).

Dans la perspective de la **transition énergétique**, l'ouvrage s'achève sur la « stratégie de recherche » en matière d'énergie : il s'agit alors de

déterminer la **valeur-énergie** des biens, leur intensité énergétique, montant total d'énergie requis pour obtenir une unité d'un bien donné en demande finale. On est ainsi en mesure de comparer les biens en termes de leur intensité énergétique. La transformation de l'énergie primaire – celle du pétrole brut, par exemple – en énergie secondaire – celle du pétrole raffiné et de l'électricité – pose la question de la conservation de l'énergie. Pour terminer, je rendrai compte du récent ouvrage de Jean-Baptiste Fressoz, *Sans transition : une nouvelle histoire de l'énergie*. Je traduirai les développements de son ouvrage en termes d'analyse input-output et ferai le point sur les perspectives actuelles des transitions écologique et énergétique (**Chapitre 6 : L'intensité énergétique des biens**).

Une analyse économique pour répondre aux enjeux majeurs de la vie économique actuelle



Cet ouvrage initie les étudiants (Licence d'économie, CPGE, IAE) aux travaux de **Wassily Leontief**, prix Nobel d'économie 1973, sur **l'analyse input-output**.

Cette analyse décrit l'interdépendance des activités économiques à partir de ses différentes branches (l'automobile, la sidérurgie, la chimie, la pharmacie). Ainsi, pour produire une voiture, il faut de l'acier, des pneus, du verre, du plastique ; il faut également du travail. De plus, pour produire de l'acier, on utilise d'autres inputs comme le fer, l'électricité... et, au travail directement utilisé par le constructeur automobile, s'ajoute le travail, indirect, nécessaire à la fabrication de l'acier, des pneus, du verre, du plastique.

La spécificité de cette analyse est donc de prendre en compte les données technologiques de la production dans les différentes branches du système productif, données complétées aujourd'hui par l'émission de **pollution** et la consommation d'**énergie**.

Cette analyse conduit à déterminer la **valeur-travail**, le contenu en travail, direct et indirect, des différents biens et services produits, et cela vaut également pour la **valeur-pollution** et la **valeur-énergie** des biens.

Professeur honoraire de sciences économiques à l'université de Strasbourg, Jean Arrous est notamment l'auteur des ouvrages *Introduction à l'économie politique* (Daloz, 1994) et *Les théories de la croissance* (Seuil, Collection Points, 1999).

21,90 €

ISBN : 978-2-8073-6442-4



deboeck **B**
SUPÉRIEUR

www.deboecksuperieur.com