

L'analyse entrée-sortie et ses applications environnementales

Une introduction

Loris André

Paris School of Economics

February 3, 2023

Objectifs

- ▶ Acquérir le vocabulaire de l'analyse entrée-sortie

Objectifs

- ▶ Acquérir le vocabulaire de l'analyse entrée-sortie
- ▶ Comprendre les raisonnements derrière l'identité de Leontief

Objectifs

- ▶ Acquérir le vocabulaire de l'analyse entrée-sortie
- ▶ Comprendre les raisonnements derrière l'identité de Leontief
- ▶ Mener des calculs simples d'impacts de chocs de demande finale ou de chocs d'offre

Objectifs

- ▶ Acquérir le vocabulaire de l'analyse entrée-sortie
- ▶ Comprendre les raisonnements derrière l'identité de Leontief
- ▶ Mener des calculs simples d'impacts de chocs de demande finale ou de chocs d'offre
- ▶ Apprendre à manipuler les extensions (environnementales) des tables entrées-sorties

Plan

Un historique de l'analyse entrée-sortie

Plan

Un historique de l'analyse entrée-sortie

La table entrée-sortie

Plan

Un historique de l'analyse entrée-sortie

La table entrée-sortie

L'analyse entrée-sortie

Plan

Un historique de l'analyse entrée-sortie

La table entrée-sortie

L'analyse entrée-sortie

Les extensions (environnementales)

Plan

Un historique de l'analyse entrée-sortie

La table entrée-sortie

L'analyse entrée-sortie

Les extensions (environnementales)

Les origines de l'analyse entrée-sortie

Le Tableau économique de Quesnay (1758)

1762

638

TABLEAU ÉCONOMIQUE.

Fournis par l'agriculture, prairies, pâturages, forêts, mines, pêche, &c. En grains, bœillons, viandes, bois, bruliaux, matières premières des marchandises de main d'œuvre, &c. Debit réciproque d'une classe de dépense à l'autre qui distribue le revenu de 600 liv. de part & d'autre, ce qui donne 300 liv. de chaque côté : outre les avances qui sont conservées. Le Propriétaire subside par les 600 liv. qu'il dépense. Les 300 livres distribués à chaque classe de dépense peuvent y nourrir un homme dans l'une & dans l'autre : ainsi 600 livres de revenu peuvent faire subsister trois hommes chefs de famille. Sur ce pied 600 millions de revenu peuvent faire subsister 3 millions de familles estimées à 3 personnes, sans le subside, par famille. Les frais de la classe des dépenses productives qui résistent suffi chaque année, & dont environ la moitié est en salaire pour le travail d'homme, ajoutent 300 millions qui peuvent faire subsister encore un million de chefs de famille à 300 liv. chacun. Ainsi ces 900 millions qui naissent annuellement des biens fonds, pourroient faire subsister 12 millions de personnes dans leur âge, conformément à cet ordre de circulation & de distribution des revenus annuels. Par circulation on entend ici les achats payés par le revenu, & la distribution qui partage le revenu entre les hommes par le paiement des achats de la première main, abstraction faite du commerce qui multiplie les ventes & les achats. Sans multiplier les choses, & qui n'est qu'un fardeau de dépenses litérales.

DEPENSES PRODUCTIVES.	DEPENSES DU REVENU. (Troupe cultivée, le paragone aux Dépenses productives & aux dépenses litérales.)	DEPENSES LITÉRALES.
Avances annuelles.	Revenu.	Avances annuelles.
600 produisent.....	600	300
Productions.....	300	300
300 reproduisent net.....	300	300
150 reproduisent net.....	150	150
75 reproduisent net.....	75	75
37-10 reproduisent net.....	37-10	37-10
18-15 reproduisent net.....	18-15	18-15
9-7-6 reproduisent net.....	9-7-6	9-7-6
4-13-9 reproduisent net.....	4-13-9	4-13-9
2-6-10 reproduisent net.....	2-6-10	2-6-10
1-3-5 reproduisent net.....	1-3-5	1-3-5
0-11-8 reproduisent net.....	0-11-8	0-11-8
0-5-10 reproduisent net.....	0-5-10	0-5-10
0-2-11 reproduisent net.....	0-2-11	0-2-11
0-1-5 reproduisent net.....	0-1-5	0-1-5
* * *		
REPRODUIT total.....600 de revenu & les frais annuels d'agriculture de 600 livres que la Terre restitue. Ainsi la reproduction est de 1200 livres.		

En marchandises de l'œuvre, logement, menus, intérêts d'argent, meliques, frais de cocce, denrées étrangères. Les achats réciproques d'une classe de dépense à l'autre tribue le revenu de 600. Les deux classes dépendent en partie sur elles-mêmes en partie réciproquement sur l'autre. La circulation port liv. à cette colonnet, si il faut retrair les 300 avances annuelles, re 300 liv. pour le salain. L'impôt qui doit être porté à cette classe, & sur le revenu qui s'obtient les dépenses reproduit & vient se perdre dans cette-ci, à la réserve de rendre dans la circulation il resulte dans le ordre que le revenu, distribue de même aux classes. Mais il est au préjudice du revenu propriétaires, ou des cultivateurs, ou de gens sur la consom Dans les deux dernier est destructif, parce qu'il mine d'autant la répartition; si en est de même qu'il en passe à l'étranger retour, & de ce qui arrive par les fortunes naires des traitans & de la perception & de dépenses; car ces par l'impôt déournés et bés par l'épargne aux dépenses productives, ou par les avances des cultivateurs érigent la reproduction d'autant de pertes sur les propriétés détruitent enfin la main revenue qui s'obtient lequel ne doit porter le propriétaire, & ses dépenses reproductives il ruine le Cultivateur Propriétaire, & l'État.

Les origines de l'analyse entrée-sortie

Le Tableau économique de Quesnay (1758)

- ▶ Quesnay cherche à établir “un tableau fondamental de l'ordre économique pour y représenter les dépenses et les produits sous un aspect facile à saisir”

Les origines de l'analyse entrée-sortie

Le Tableau économique de Quesnay (1758)

- ▶ Quesnay cherche à établir “un tableau fondamental de l'ordre oeconomique pour y représenter les dépenses et les produits sous un aspect facile à saisir”
- ▶ Avec l'objectif de permettre de “juger clairement des arrangements et des dérangements que le gouvernement peut y causer”

Les origines de l'analyse entrée-sortie

“Quantitative Input and Output Relations” de Leontief en 1936 [2]

Table 5. - Quantitative Input and Output Relations in the Economic System of the United States
(unit: million dollars)

DISTRIBUTION OF OUTPUTS <small>UNITED BY CLASSES LISTED AT TOP OF TABLE</small>	DISTRIBUTION OF INPUT BY CLASSES LISTED AT LEFT OF TABLE																																		
	Agriculture	Four and grain mill products	Canning and preserving	Wheat and bakery products	Meats, fishes, and other	Liquors, wines, and liquors	Textile manufactures	Printing and mail printing	Other food manufactures	Other consumer goods	Chemicals	Other non-ferrous metal	Iron and steel mill products	Other metal mill products	Non-ferrous metal	Other non-ferrous metal																			
1. Agriculture	500	170	200	4	96	32	200	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
2. Four and grain mill products	100	200																																	
3. Canning and preserving																																			
4. Wheat and bakery products																																			
5. Meats, fishes, and other	21	24	30	11	8	30	110																												
6. Liquors, wines, and liquors																																			
7. Textile manufactures																																			
8. Printing and mail printing	19	30					204	17																											
9. Rubber, leather, etc.																																			
10. Other food manufactures																																			
11. Iron and steel																																			
12. Non-ferrous metal																																			
13. Automobiles																																			
14. Other non-ferrous metal	40	10	10	11	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
15. Non-ferrous metal																																			
16. Iron, brass, copper, etc., mill																																			
17. Non-metal minerals																																			
18. Petroleum and natural gas																																			
19. Textile mill products	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
20. Coal	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
21. Coke	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
22. Manufactured gas																																			
23. Electric utilities																																			
24. Chemicals	330																																		
25. Rubber and leather products																																			
26. Other wood products	206																																		
27. Paper and wood pulp																																			
28. Other paper products																																			
29. Printing and publishing																																			
30. News and clubs	41																																		
31. Clothing																																			
32. Other textile products	6																																		
33. Leather, furs, etc.																																			
34. Leather shoes																																			
35. Other leather products	75																																		
36. Rubber manufactures																																			
37. Industries n.e.s.	21																																		
38. Construction																																			
39. Transportation (except railroads)	24	82																																	
40. Imports	85	21	61	460	86	106	253	23	25	36																									
41. Exports and salaries	1000	87	91	227	73	113	128	85	180	85	82	735	4035	877	445	72	17	400	189	118	975	50	70	152	497	73	482	171	106						
42. Total and entrepreneurial surplus	4000	76	24	51	25	52	86	41	42	44	4	31	201	207	7	42	34	156	78	440	130	22	14	281	285	184	101	76							
43. Total surplus	3980	170	100	200	100	24	147	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
44. Net total surplus	1000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

...Aujourd'hui

L'amélioration de la puissance de calcul s'accompagne d'une granularisation des tableaux

Aujourd'hui, les tables entrées-sorties multirégionales peuvent contenir jusqu'à 200 pays et 200 secteurs économiques !

L'analyse entrée-sortie et ses applications environnementales

Un historique de l'analyse entrée-sortie

La table entrée-sortie

L'analyse entrée-sortie

Les extensions (environnementales)

La table entrée-sortie

Un ouvrage de référence : le Miller & Blair (2009) [3]

		PRODUCERS AS CONSUMERS								FINAL DEMAND			
		Agric.	Mining	Const.	Manuf.	Trade	Transp.	Services	Other	Personal Consumption Expenditures	Gross Private Domestic Investment	Govt. Purchases of Goods & Services	Net Exports of Goods & Services
PRODUCERS	Agriculture												
	Mining												
	Construction												
	Manufacturing												
	Trade												
	Transportation												
	Services												
	Other Industry												
VALUE ADDED	Employees	Employee compensation								GROSS DOMESTIC PRODUCT			
	Business Owners and Capital	Profit-type income and capital consumption allowances											
	Government	Indirect business taxes											

Source: <http://digamo.free.fr/io2009.pdf>

La table entrée-sortie

Une structure inter-régionale

		Intermediate use at basic prices	Final Demand			Output at basic prices					
		ctry 1 x indy 1 [...] ctry 71 x indy 45	Country 1	[...]	Country 67						
			IRCE MPGSH GGFC GRFC INVMT DPAIBR		IRCE MPGSH GGFC GRFC INVMT DPAIBR						
Country 1	Industry 1	(Z)	(FD)	[...]	(FD)	(X)					
	... Industry 45										
Country 2	Industry 1										
	... Industry 45										
...											
Country 71	Industry 1										
	... Industry 45										
Taxes less subsidies on intermediate and final products	paid by country 1						(TLS)	[TLS]	[...]	[TLS]	
	paid by country 2										
	[...]										
	paid by country 67										
Value added at basic prices							(VA)				
Output at basic prices							(X)				

Source: métadonnées ICIO 2018 fournies par l'OCDE

La table entrée-sortie

Vocabulaire et notations

- ▶ N = nombre de secteurs économiques (nombre d'industries multiplié par le nombre de régions)
- ▶ Z = matrice de transaction
- ▶ f = matrice de demande finale
- ▶ v = matrice de valeur ajoutée
- ▶ X = vecteur de production (\triangle la somme de ses éléments est différente du PIB)

La table entrée-sortie

Une double lecture

Le vecteur gris X répertorie les productions totales de chaque secteur. Il est de même dimension que f et peut s'exprimer comme la somme l'ensemble des demandes (les demandes finales et les productions intermédiaires) :

$$X_i = \sum_{j=0}^N z_{ij} + f_i$$

où z_{ij} est la quantité de bien produite par le secteur i à destination du secteur j .

Matriciellement,

$$X = Z1_N + f$$

où 1_N est un vecteur contenant seulement des "1" de taille N .

La table entrée-sortie

Une double lecture

La production du secteur de la colonne j correspond à la somme de ses intrants et de la valeur ajoutée qu'il produit :

$$X_j = \sum_{i=0}^N z_{ij} + v_j$$

où z_{ij} est la quantité de bien produite par le secteur i à destination du secteur j .

Matriciellement,

$$X = Z^T \mathbf{1}_N + v$$

où $\mathbf{1}_N$ est un vecteur contenant seulement des "1" de taille N .

L'analyse entrée-sortie et ses applications environnementales

Un historique de l'analyse entrée-sortie

La table entrée-sortie

L'analyse entrée-sortie

Les extensions (environnementales)

L'analyse entrée-sortie

Leontief : lier la production à la demande finale

Le bien j utilise une proportion a_{ij} (coefficients techniques) de l'intrant i dans sa production :

$$X_j = \frac{1}{a_{ij}} \times z_{ij}$$

de telle sorte que $Z1_N = AX$. On obtient alors :

$$X = AX + f$$

$$X = (I - A)^{-1}f = Lf$$

L est appelée matrice de Leontief.

L'analyse entrée-sortie

Leontief : lier la production à la demande finale

Question

Que se passe-t-il si la demande finale chute, pour l'ensemble de l'économie ? pour un secteur spécifique ?

L'analyse entrée-sortie

Leontief : lier la production à la demande finale

Une formule simple pour obtenir la baisse de production induite par une variation de la demande finale :

$$X - X^* = L(f - f^*) = \underbrace{(f - f^*)}_{\text{direct effect}} + \underbrace{A(f - f^*) + A^2(f - f^*) + \dots}_{\text{indirect effect}}$$

L'analyse entrée-sortie

Un exemple numérique

		To Processing Sectors		Final Demand (f_i)	Total Output (x_i)
		1	2		
From	1	150	500	350	1000
Processing Sectors	2	200	100	1700	2000
Payments Sector		650	1400	1100	3150
Total Outlays (x_i)		1000	2000	3150	6150

Source: Miller & Blair (2009)

L'analyse entrée-sortie

Un exemple numérique

	Sector 1 (Agriculture)	Sector 2 (Manufacturing)
Sector 1 (Agriculture)	.15	.25
Sector 2 (Manufacturing)	.20	.05

Source: Miller & Blair (2009)

L'analyse entrée-sortie

Un exemple numérique

Si la demande finale pour la production agricole devait augmenter à 600\$ l'année prochaine et que celle pour les produits manufacturés devait diminuer à 1500\$ - par exemple, en raison de changements dans les dépenses publiques, les goûts des consommateurs, etc. - quelle quantité de production totale des deux secteurs serait nécessaire pour répondre à cette nouvelle demande ?

L'analyse entrée-sortie

Un exemple numérique

$$\mathbf{x}^{new} = \mathbf{L}\mathbf{f}^{new} = \begin{bmatrix} 1.2541 & .3300 \\ .2640 & 1.1221 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 600 \\ 1500 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1247.52 \\ 1841.58 \end{bmatrix}$$

Source: Miller & Blair (2009)

L'analyse entrée-sortie

Un exemple numérique

Round	0	1	2	3	4	5	6	7	8 + 9 + 10 + 11	Lf ¹
Sec. 1	600	465.00	118.50	43.46	13.73	4.60	1.50	0.50	0.24	1247.52
Sec. 2	1500	195.00	102.75	28.84	10.13	3.25	1.08	0.35	0.17	1841.58
<i>Cumulative Total</i>										
Sec. 1		1065.00	1183.50	1226.96	1240.64	1245.29				1247.52
Sec. 2		1695.00	1797.75	1826.59	1836.72	1839.97				1841.58
<i>Percent of Total Effect Captured</i>										
Sec. 1		85.40	94.90	98.40	99.50	99.80				1247.52
Sec. 2		92.00	97.60	99.20	99.70	99.90				1841.58

Source: Miller & Blair (2009)

L'analyse entrée-sortie

Leontief : lier la production à la demande finale

Une formule simple pour obtenir la baisse de production induite par une variation de la demande finale :

$$X - X^* = L(f - f^*) = \underbrace{(f - f^*)}_{\text{direct effect}} + \underbrace{A(f - f^*) + A^2(f - f^*) + \dots}_{\text{indirect effect}}$$

Une fonction de production sous-jacente :

$$X_j = \min \left(\frac{x_{1j}}{a_{1j}}; \dots; \frac{x_{Nj}}{a_{Nj}} \right)$$

L'analyse entrée-sortie

Les limites de la méthode de Leontief

- ▶ Que se passe-t-il si les travailleurs d'un secteur ne peuvent plus fournir leur force de travail ?

L'analyse entrée-sortie

Ghosh : lier la production à la valeur ajoutée [1]

Le bien i alloue une proportion b_{ij} (coefficients de vente) à la production du secteur j :

$$X_i = \frac{1}{b_{ij}} \times z_{ij}$$

de telle sorte que $Z = \hat{X}B$. On obtient alors :

$$X^T = v^T (I - B)^{-1} = v^T G$$

G est appelée matrice de Leontief.

L'analyse entrée-sortie

Les limites des méthodes de Leontief et Ghosh

- ▶ Que se passe-t-il lorsqu'un secteur arrête de fournir des intrants ?

L'analyse entrée-sortie

Les méthodes d'extraction hypothétique (Section 12.2.6 [3])

“The objective of the hypothetical extraction approach is to quantify how much the total output of an n -sector economy would change (decrease) if a particular sector, say the j th, were removed from that economy.” Miller & Blair

les histoires de fonctions de productions sous jacentes elles apparaissent surtout dans ce contexte d'extraction hypothétique

L'analyse entrée-sortie

Les méthodes d'extraction hypothétique (Section 12.2.6 [3])

Estimer les “backward linkages”

Imaginons qu'un secteur soit retiré de l'économie *en tant que demandeur d'intrant*. On cherche à estimer l'impact sur l'ensemble de l'économie.

L'analyse entrée-sortie

Les méthodes d'extraction hypothétique (Section 12.2.6 [3])

Estimer les “backward linkages”

Imaginons qu'un secteur soit retiré de l'économie *en tant que demandeur d'intrant*. On cherche à estimer l'impact sur l'ensemble de l'économie.

Dans quelle perspective se place-t-on ? Leontief ou Ghosh ?

L'analyse entrée-sortie

Les méthodes d'extraction hypothétique (Section 12.2.6 [3])

Estimer les “backward linkages”

C'est un choc de demande donc on utilise la matrice de Leontief pour calculer “l'output” de la nouvelle économie. Cependant, il est nécessaire de la modifier, en la calculant à partir d'une matrice de transaction Z dans laquelle les coefficients de la colonne du secteur j ont été annulés (ou de manière plus générale, abaissés dans les mêmes proportions).

L'analyse entrée-sortie et ses applications environnementales

Un historique de l'analyse entrée-sortie

La table entrée-sortie

L'analyse entrée-sortie

Les extensions (environnementales)

Les extensions (environnementales) - Section 2.3 [3]

Notons $e' = (e_1, \dots, e_N)$ le vecteur des impacts environnementaux des N secteurs économiques.

Les extensions (environnementales) - Section 2.3 [3]

Notons $e' = (e_1, \dots, e_N)$ le vecteur des impacts environnementaux des N secteurs économiques. On peut en déduire un vecteur d'intensité environnementale :

$$e'_c = \left(\frac{e_1}{x_1^{\text{pre}}}, \dots, \frac{e_N}{x_N^{\text{pre}}} \right)$$

Les extensions (environnementales) - Section 2.3 [3]

Notons $e' = (e_1, \dots, e_N)$ le vecteur des impacts environnementaux des N secteurs économiques. On peut en déduire un vecteur d'intensité environnementale :

$$e'_c = \left(\frac{e_1}{x_1^{\text{pre}}}, \dots, \frac{e_N}{x_N^{\text{pre}}} \right)$$

On peut alors obtenir les impacts environnementaux après un choc de demande finale, par exemple :

$$\epsilon = \hat{e}_c L f^{\text{new}}$$

La semaine prochaine

- ▶ Retour sur les questions éventuelles
- ▶ Présentation des 4 papiers
- ▶ Exemple de codes Python : “Quelles conséquences des sanctions à l'encontre de la Russie ?”

Bibliographie

- [1] A. Ghosh. Input-output approach in an allocation system. *Economica*, 25(97):58–64, 1958.
- [2] W. W. Leontief. Quantitative input and output relations in the economic systems of the united states. *The review of economic statistics*, pages 105–125, 1936.
- [3] R. E. Miller and P. D. Blair. *Input-output analysis: foundations and extensions*. Cambridge university press, 2009.