

# 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

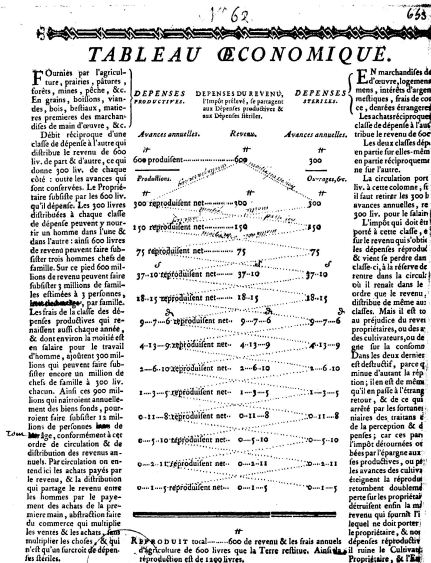
La table entrée-sortie

L'analyse entrée-sortie

Les extensions (environnementales)

# Les origines de l'analyse entrée-sortie

## Le Tableau économique de Quesnay (1758)



# 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”

# 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”

“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: million dollars

DISTRIBUTION OF OUTLAYS BY TYPE OF CLASSES LISTED AT TOP OF TABLE	DISTRIBUTION OF OUTPUT OF CLASSES LISTED AT TOP OF TABLE																			
	Output of products										Output of services									
	Agriculture	Food and grain mill products	Grain and processing	Meat and poultry products	Meat and poultry products	Meat and poultry products	Meat and poultry products	Meat and poultry products	Meat and poultry products	Meat and poultry products	Meat and poultry products	Meat and poultry products	Meat and poultry products	Meat and poultry products	Meat and poultry products	Meat and poultry products	Meat and poultry products	Meat and poultry products	Meat and poultry products	Meat and poultry products
1. Agriculture	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2. Food and grain mill products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3. Grain and processing	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
8. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
9. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
11. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
12. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
13. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
14. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
15. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
16. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
17. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
18. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
19. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
21. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
22. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
23. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
24. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
25. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
26. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
27. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
28. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
29. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
30. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
31. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
32. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
33. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
34. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
35. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
36. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
37. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
38. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
39. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
40. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
41. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
42. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
43. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
44. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
45. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
46. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
47. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
48. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
49. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
50. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
51. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
52. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
53. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
54. Meat and poultry products	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		

All use subject to <https://about.jstor.org/terms>

# ...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	NPISH	GGFC	GFCF	INVNT	DPAIBR		IRCE	NPISH	GGFC	GFCF	INVNT	DPAIBR	
Country 1	Industry 1 ... Industry 45	(Z)	(FD)					[...]	(FD)					(X)		
Country 2	Industry 1 ... Industry 45															
...																
Country 71	Industry 1 ... Industry 45															
Taxes less subsidies on intermediate and final products	paid by country 1 paid by country 2 [...] paid by country 67	(TLS)	(TLS)					[...]	(TLS)							
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,

$$X = Z^T 1_N + v$$

où  $1_N$  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 <sup>1</sup>
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.