

79.2



**LA CIRCULARITE COMME ASPECT PARTICULIER  
DE L'ARTICULATION INTERSECTORIELLE  
UNE APPROCHE STRUCTURALE**

Michel MAREE et Jacques DEFOURNY

**CIRCULARITY AS A SPECIAL ASPECT  
OF INTERDEPENDENCE AMONG SECTORS  
A STRUCTURAL APPROACH**

*The traditional input-output analysis is a relatively poor instrument to measure the phenomena of interdependence among sectors. These phenomena are expressed in circuits which can be better analysed thanks to the structural approach introduced by R. Lantner and J. Gazon, and based on the concept of the transmission of economic influence. Within the framework of this approach, particularly the concepts of structural circularity and feed-back, we have tried to develop appropriate measures of the interdependence among sectors (circuits of length greater than one) and also of their self sufficiency as it is expressed in a special kind of circuits, i.e. these of length one.*

**LA CIRCULARIDAD COMO ASPECTO ESPECIAL  
DE LA INTERDEPENDENCIA ENTRE LOS SECTORES  
UN ENFOQUE ESTRUCTURAL**

*El análisis tradicional de input-output es un instrumento relativamente pobre para medir los fenómenos de interdependencia entre sectores. Estos fenómenos se expresan en circuitos que pueden analizarse mejor gracias al enfoque estructural introducido por R. Lantner y J. Gazon, y que se basa en el concepto de la transmisión de la influencia económica. En el marco de este enfoque, especialmente el concepto de circularidad estructural y de retroacción, hemos intentado desarrollar las medidas apropiadas.*

*das de la interdependencia entre sectores (circuitos de longitud superior a la unidad) y tambien su auto-suficiencia tal come se expresa en un tipo especial de circuitos, como p.e. los de longitud igual a la unidad.*

## Introduction

Dans l'ensemble des critères utilisés pour définir une économie sous-développée, on retrouve fréquemment, parmi d'autres, le concept de désarticulation. C'est F. Perroux qui, en 1958, employa le premier l'expression «économie désarticulée», en proposant «trois outils d'analyse pour l'étude du sous-développement induit» ([11])<sup>1</sup>. Après lui, de nombreux auteurs, parmi lesquels R. Gendarme([5], chap. 2), G. Leduc ([9], pp. 141 à 146) et J.M. Albertini ([1], pp. 49 à 91) ont repris ce concept en lui donnant des significations parfois assez différentes. On remarque cependant que celui-ci est toujours censé recouvrir des réalités très larges : l'absence de liaisons entre diverses entités économiques, l'existence entre celles-ci de disparités de toutes sortes, le manque de complémentarité entre secteurs hétérogènes, etc...

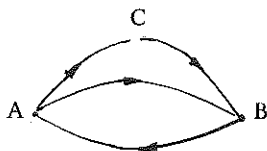
Toutefois, deux auteurs ont précisé le concept, de telle manière qu'il soit possible de le confronter aux faits, du moins dans une certaine mesure. En effet, J. Freyssinet affirme que «les économies sous-développées sont désarticulées, ce qui signifie que, par nature, les échanges interindustriels y sont très faibles» ([3], p. 328). De son côté, P. Hugon écrit : «les pays sous-développés peuvent être définis comme des économies où la matrice Léontief reste vide. (...) Le Cameroun est, à l'instar des autres pays sous-développés, une économie désarticulée, les échanges interindustriels sont très faibles»([7], p. 71). Comprise dans ce sens, la désarticulation ou, de manière positive, l'articulation, doit pouvoir être saisie à travers les flux de biens et services transitant entre les secteurs de l'économie.

C'est cette voie que nous avons suivie dans une étude de l'articulation interindustrielle pour quelques économies sous-développées ([2]). Nous y avons distingué, entre deux secteurs A et B, une articulation directe et une articulation globale. La première est traduite par le flux de biens et services de A vers B et par le flux de B vers A, tels qu'ils apparaissent dans le Tableau des Echanges Intermédiaires. Quant à l'articulation globale, elle consi-

1. Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

dère en plus de l'articulation directe, les différentes formes d'articulation indirecte entre A et B (par exemple sur le schéma ci-dessous, l'articulation indirecte due aux flux de A vers C et de C vers B), ainsi que le rôle (que nous précisons plus loin) joué par la circularité de la structure, c'est-à-dire par les phénomènes de circuits (par exemple, les circuits ACBA et ABA). On a donc :

articulation globale = articulation directe  
 + articulation indirecte  
 + circularité



La mesure de ces deux types d'articulation intersectorielle se fonde sur l'analyse input-output traditionnelle : les coefficients directs expriment l'articulation directe tandis que l'articulation globale est calculée à partir de la forme réduite du modèle. Mais alors que l'analyse input-output permet seulement de déterminer l'impact *final* d'une variation de la production de A sur la production de B et vice-versa, l'approche structurale récemment élaborée par R. Lantner ([8]) et J. Gazon ([4]) fournit des outils pour saisir le mécanisme de la «boîte noire» entre la variation initiale d'une variable et ses effets finals. Ce mécanisme résulte de l'interdépendance des secteurs. Autrement dit, cette approche autorise une quantification des phénomènes susdits d'articulation indirecte et de circularité.

Dans la science économique, le structuralisme s'applique, non pas à la réalité économique et sociale, mais à un *modèle* censé décrire de manière schématique cette réalité. Celui-ci est généralement constitué d'un système d'équations, où la variation d'une grandeur dépend d'une ou plusieurs autres. A ce mécanisme d'interaction entre des variables, correspond le concept d'influence économique. Précisément, l'approche structurale vise à appréhender la transmission de l'influence dans la structure qui résulte de la spécification du modèle, celle-ci étant supposée donnée. Alors que la forme réduite de ce modèle se limite à en donner la solution, c'est-à-dire à exprimer certaines variables (dites endogènes) en fonction d'autres (dites exogènes), l'analyse structurale recherche en plus une explication de cette solution, qui tienne compte de la configuration du réseau de relations dans la structure. Cette explication est fournie par l'étude de la transmission de l'influence, des «impulsions» (grandeurs exogènes) aux «réponses» (grandeurs endogènes).

La formalisation mathématique introduite par R. Lantner et J. Gazon permet l'application de leur approche à tout système d'équations linéaires et en particulier au modèle input-output. Dans cet article, nous nous limiterons à montrer l'intérêt de l'approche structurale pour l'appréhension de la circularité d'une structure, c'est-à-dire d'un aspect particulier de l'articulation intersectorielle généralement perçue de façon assez intuitive et de toute façon difficile à cerner complètement. Ainsi, notre propos sera de présenter les éléments de base de cette démarche et de donner à partir de ceux-ci une formulation rigoureuse de la notion de circularité. En guise d'application, nous mesurerons cette dernière dans sept structures économiques sous-développées pour lesquelles nous disposons de matrices input-output suffisamment fiables, et accessoirement dans deux structures nationales de la C.E.E. Enfin, en nous plaçant au niveau des pôles, nous tenterons de saisir dans quelle mesure chacun d'eux est impliqué dans les circuits de la structure.

## Section I

### Les fondements théoriques

Dans cette section, nous commencerons par présenter en toute généralité les principaux éléments de base de la méthode structurale. Nous les appliquerons ensuite au modèle input-output, de manière à préciser les notions fondamentales qui nous seront nécessaires pour l'approche du concept de circularité.

#### 1.- CONCEPTS DE BASE DE L'ANALYSE STRUCTURALE<sup>2</sup>

##### a) La structure

Selon J. Gazon ([4], p. 37), «la structure (formelle) est un *triplet* comprenant un *support* appelé support de la structure, une *relation*, appelée relation structurale et une *application* (...)» qui caractérise chaque couple de la relation. La structure ainsi définie s'assimile donc au triplet :

$$S^* = \{M, R^*, H^*\},$$

où :

1) M est le support ; on a bien entendu :

$M = \{1, \dots, m\}$ , ensemble des éléments ou pôles de la structure.

L'identification des éléments dépend de la structure étudiée.

2. Dans cette partie, nous nous inspirons directement des travaux de J. Gazon ([4], chap. 1).

2)  $R^*$  est la relation ; il s'agit d'une relation binaire dans l'ensemble  $M$ , qui définit les couples d'éléments entre lesquels existent des liaisons.

3)  $H^*$  est l'application ; elle associe à chaque couple de la relation  $R^*$  un nombre réel :

$$H^* : \{(i,j) \in M^2 : iR^*j\} \rightarrow \mathbb{R} : (i,j) \rightarrow H^*(i,j) = h^*_{ji},$$

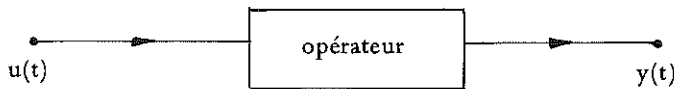
où  $R$  est l'ensemble des réels.

### b) L'influence économique<sup>3</sup>

A chaque élément de la structure, on associe une grandeur économique appelée *variable économique* du pôle considéré. Ces variables sont des fonctions du temps et chaque lien qui s'établit entre elles peut s'interpréter de la manière suivante. Etant donné deux grandeurs économiques  $u(t)$  et  $y(t)$ , chacune associée à un pôle, l'expression :

$$y(t) = f[u(t)]$$

signifie que  $u(t)$  influence  $y(t)$ . Ainsi, la transmission de l'influence apparaît comme l'action d'un opérateur agissant sur une fonction d'entrée  $u(t)$ , appelée *impulsion*, et fournissant une fonction de sortie  $y(t)$ , appelée *réponse*.



Dans une structure donnée, certains éléments peuvent se distinguer par le fait qu'ils ne sont jamais influencés par d'autres pôles ; ils sont uniquement transmetteurs d'influence : ce sont les *sources d'impulsion*. Les autres pôles sont nécessairement des *récepteurs*<sup>4</sup>. On appelle *impulsion initiale* et *fonction réponse*, la grandeur économique associée respectivement à une source d'impulsion et à un récepteur ; notons qu'un récepteur peut influencer d'autres récepteurs : en pareil cas, sa réponse peut aussi s'interpréter comme une impulsion que nous qualifierons d'*induite*.

3. Le fondement théorique de ce concept trouve sa source dans la théorie des systèmes.

4. Un pôle qui n'est ni source d'impulsion ni récepteur est dit *isolé*. Les structures économiques étudiées ici excluent de tels pôles.

La distinction entre sources et récepteurs partitionne le support  $M$  en deux sous-ensembles,  $N^o$  et  $N$  :

- $N^o$  est l'ensemble des sources d'impulsion ;
- $N$  est l'ensemble des récepteurs.

Surtout, elle permet de définir les deux structures suivantes :

1)  $S^o = \{M, R^o, H^o\}$ , appelée *structure d'impulsion*. Elle est dite structure partielle de  $S^*$ , car tout en ayant le même support  $M$ , les couples considérés par  $R^o$  sont une partie seulement de ceux considérés par  $R^*$  :  $R^o \subset R^*$ . L'application  $H^o$  s'écrit :

$$H^o : \{(i,j) \in M^2 : iR^o j\} \rightarrow R : (i,j) \rightarrow H^o(i,j) = h_{i,j}^o$$

2)  $S = \{N, R, H\}$ , appelée *structure de la réponse*. Elle est dite sous-structure partielle de  $S^*$  (sous-structure parce que  $N \subset M$ , et partielle parce que  $R \subset R^*$ ). L'application  $H$  s'écrit :

$$H : \{(i,j) \in N^2 : iR j\} \rightarrow R : (i,j) \rightarrow H(i,j) = h_{ij}$$

Formulons une hypothèse importante : l'impulsion est *exogène* au modèle de la transmission de l'influence ([4], p. 45). Cela signifie que les impulsions initiales associées aux sources d'impulsion ne résultent pas de la variation ou du niveau des autres grandeurs : au contraire, leurs variations sont cause première de la transmission de l'influence. Cela assure l'ouverture du modèle, et implique que les fonctions réponses associées aux récepteurs soient *endogènes* : elles résultent de la variation ou du niveau des impulsions initiales.

### c) Le graphe d'influence

Le graphe d'influence permet d'appréhender le cheminement de l'influence économique dans la structure de réponse. Commençons par définir le concept de *graphe de la structure*  $S^*$  : ce n'est autre que l'ensemble :

$$G^* = \{M, \Gamma^*\},$$

où  $\Gamma^*$  est une application de  $M$  dans l'ensemble des parties de  $M$  définie par :

$$j \in \Gamma^*(i) \quad \text{si et seulement si } iR^*j.$$

En d'autres termes, le graphe  $G^*$  définit pour chaque élément  $i$  de la structure  $S^*$ , l'ensemble  $\Gamma^*(i)$  des éléments qu'il influence. On en donne une illustration graphique où chaque élément de la structure  $S^*$  est représenté par un point appelé *sommet*, et chaque



couple de la relation  $R^*$  par un arc orienté : le couple  $(i, j)$  est représenté par l'arc  $(i, j)$  dont  $i$  est l'origine. Le graphe  $G^*$  est ainsi orienté dans le sens de la transmission de l'influence économique :



Si nous associons à chaque arc  $(i, j)$  le nombre  $h_{ji}^*$  défini par l'application  $H^*$ , le graphe  $G^*$  est appelé *graphe d'influence*. On peut définir sur celui-ci certaines règles de calcul basées sur les opérations d'addition et de multiplication. Elles seront évoquées plus loin.

Introduisons brièvement le *concept de chemin* : dans le graphe d'une structure déterminée, un chemin est une séquence d'arcs consécutifs. Il en résulte les définitions suivantes :

- longueur d'un chemin : nombre d'arcs qui le composent ;
- chemin simple : qui ne contient qu'une et seule fois le même arc ;
- chemin élémentaire : qui ne passe pas plus d'une fois par le même sommet ;
- chemin hamiltonien : chemin élémentaire qui passe par tous les sommets du graphe ;
- circuit : chemin dont l'origine coïncide avec la destination.

## 2.- APPLICATION AU MODELE INPUT-OUTPUT

Rappelons que l'approche structurale de la transmission de l'influence économique s'applique sans difficulté à tout modèle linéaire, et en particulier au modèle input-output. Celui-ci se définit par le système d'équations suivant :

$$\sum_j x_{ij} + z_i = y_i \quad \forall i = 1, \dots, n^5;$$

où :

- $x_{ij}$  est la valeur de la production du secteur  $i$  livrée au secteur  $j$  ; c'est donc l'élément  $(i, j)$  du T.E.I. ;
- $z_i$  est la valeur de la demande finale adressée au pôle  $i$  ;
- $y_i$  est la valeur de la production totale du pôle  $i$ .

5. L'indice  $i$  renvoie aux lignes et l'indice  $j$  aux colonnes de la matrice agrégée.

Les coefficients directs sont donnés par :

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{y_j}, \quad \forall i, j = 1, \dots, n^6$$

L'ensemble de ces coefficients constitue la matrice A, carrée et de dimension n. Leur interprétation s'inscrit dans le cadre d'une analyse « verticale » du T.E.I. : les éléments multipliés par 100 d'une colonne j quelconque de la matrice A mesurent, en pourcentage de l'output du secteur j, les achats réalisés par ce dernier auprès de tous les secteurs de l'économie.

Dans la version ouverte du modèle input-output, les demandes finales  $z_1, \dots, z_n$  sont exogènes. Cela signifie que c'est la demande qui engendre une activité de production dans l'économie, l'offre étant supposée élastique. On parle en pareil cas de *dominance par la demande*. L'assimilation de la demande au concept d'influence permet l'application de l'analyse structurale au modèle :

a) Le support de la structure du modèle input-output contient 2 x n éléments :

- les n secteurs de l'économie étudiée constituant le sous-ensemble des pôles récepteurs ;
- n pôles symbolisant les demandes finales ; ces derniers forment le sous-ensemble des sources d'impulsion.

b) On associe bien entendu aux n pôles récepteurs le vecteur des productions  $y_i$ , et aux n sources d'impulsion le vecteur des demandes finales  $z_i$ . En d'autres termes, *les impulsions initiales sont des impulsions de demande* ; ce sont elles qui engendrent une activité de production dans la structure économique étudiée : en effet, toute impulsion de demande *finale* s'adressant à un secteur déterminé, engendre au niveau de celui-ci une réponse ou production qui elle-même exige des inputs ; la réponse d'un secteur implique donc une demande de ce dernier, dite impulsion de demande *induite*, et ainsi de suite.

c) Voyons ce qu'il advient des structures d'impulsion et de réponse :

– structure d'impulsion : le modèle input-output associe à chaque secteur noté i une et une seule source d'impulsion que nous noterons (i). La relation  $R^0$  est alors simplement l'ensemble des

6. On peut en fait distinguer dans les coefficients directs, d'une part les coefficients *techniques* auxquels nous nous référons, et qui résultent d'une analyse verticale du T.E.I. (division des éléments d'une colonne j par  $y_j$ ) et, d'autre part, les coefficients de *débouchés* qui correspondent à une analyse horizontale (division des éléments d'une ligne i par  $y_i$ ) (Lantner, [8], p. 19). L'étude de la circularité n'est en rien influencée par le choix entre ces deux types de coefficients directs.

couples  $((i), i)$  en nombre  $n$ . A chaque couple, l'application  $H^0$  fait correspondre un nombre  $h_{i(i)}^0$  valant 1.

. structure de réponse : la relation  $R$  définit les couples  $(i, j)$  de secteurs entre lesquels la matrice des échanges intermédiaires (T.E.I.) instaure des liaisons. L'application  $H$  mesure ces liaisons par un nombre  $h_{ji}$  valant  $a_{ji}$ .<sup>7</sup>

d) Quant au graphe d'influence, il est orienté dans le sens de la demande, c'est-à-dire dans le sens *inverse* des flux physiques.

### 3.- INFLUENCE DIRECTE ET INFLUENCE GLOBALE

Introduisons maintenant deux aspects importants du concept d'influence :

a) *L'influence directe* d'un secteur de production  $i$  sur un secteur de production  $j$ , transmise par un chemin élémentaire, est l'accroissement unitaire de la production du secteur  $i$ , la production des pôles autres que ceux du chemin considéré et la demande finale adressée à  $j$  restant inchangées.

*Mesure de l'influence directe :*

– Cas de l'influence directe de  $i$  sur  $j$  selon l'arc  $(i, j)$  :

$$I_{(ij)}^D = a_{ji}$$

En effet, selon la définition du coefficient direct,

$$x_{ji} = a_{ji} \cdot y_i$$

et toutes autres productions restant égales, on a :

$$\Delta y_j = a_{ji} \cdot \Delta y_i = a_{ji}$$

quand le pôle  $i$  augmente sa production d'une unité.

La matrice  $A$  peut donc être appelée *matrice des influences directes*. Il est sous-entendu qu'il s'agit de l'influence directe de tout secteur  $i$  sur tout secteur  $j$  selon l'arc  $(i, j)$ .

7. L'inversion des indices  $i, j$  dans  $a_{ji}$  s'explique par le fait que  $i$  est envisagé ici comme *pôle demandeur* influençant  $j$ . Donc  $j$  est en ligne et  $i$  en colonne dans le T.E.I.

— Cas de l'influence directe de  $i$  sur  $j$  selon un *chemin élémentaire* quelconque  $(i, \dots, j)$  : la «règle de multiplication» appliquée au graphe d'influence énonce que l'influence directe, transmise par un pôle  $i$  à un pôle  $j$  suivant un chemin élémentaire donné, est égale au produit des intensités des arcs composant le chemin (R. Lantner, [8], p. 53). On a donc :

$$I_{(i \dots j)}^D = a_{jk} \dots a_{li}$$

On peut dire que l'influence directe correspond à la réponse, dans un premier temps, d'un pôle productif suite à une impulsion déterminée.

b) Contrairement à l'influence directe, l'influence globale ne fait pas référence à la topologie, c'est-à-dire aux chemins : l'*influence globale* d'un secteur de production  $i$  sur un secteur de production  $j$  est l'accroissement total *in fine* de la production du pôle  $j$ , consécutif à un accroissement unitaire de la production du pôle  $i$ .

*Mesure de l'influence globale* : il suffit ici de raisonner sur la forme réduite du modèle input-output.

En introduisant les coefficients directs dans l'équation de base du modèle, on obtient aisément :

$$y_i = \sum_j a_{ij} \cdot y_j + z_i, \quad \forall i = 1, \dots, n,$$

ou, sous forme matricielle :

$$Y = AY + Z$$

$$(I - A)Y = Z$$

avec  $Y$  : vecteur  $n \times 1$  des productions  $y_i$  ;

$Z$  : vecteur  $n \times 1$  des demandes finales  $z_i$  ;

$I$  : matrice  $\text{diag.}(1, 1, \dots, 1)$ .

Sous forme réduite, le modèle s'écrit :

$$Y = (I - A)^{-1} Z.$$

Si l'on procède à une analyse de statique comparative à partir de cette forme réduite en faisant varier une demande finale, l'effet total de cette variation sur une quelconque des variables endogènes est donné par :

$$\begin{aligned} \Delta y_j &= \text{élément } (j, i) \text{ de } (I - A)^{-1} \text{ multiplié par } \Delta z_i \\ &= \text{élément } (j, i) \text{ de } (I - A)^{-1}, \end{aligned}$$

pour une variation unitaire de la demande finale : nous dirons qu'un élément quelconque  $(j, i)$  de la matrice  $(I - A)^{-1}$ , noté

$I_{(i) \rightarrow j}^G$ , est l'influence globale exercée par le pôle de demande finale (i) sur le secteur de production j. Or, comme l'augmentation  $\Delta z_i$  se traduit dans la structure des secteurs de production par une augmentation initiale identique de la production de i ( $h_{i(i)}^0 = 1$ : voir plus haut), il revient au même de considérer l'influence globale  $I_{i \rightarrow j}^G$  du pôle i sur j. En conclusion :  $I_{i \rightarrow j}^G = I_{(i) \rightarrow j}^G =$  élément (j,i) de la matrice  $(I - A)^{-1}$  qui sera appelée *matrice des influences globales*, finales ou intermédiaires.

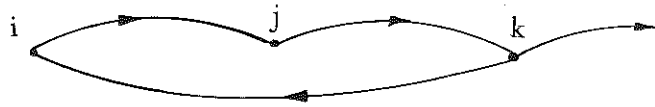
Il est essentiel de bien saisir ce qui distingue influence directe et influence globale. L'influence directe d'un pôle sur un autre est liée à un chemin particulier qui est entièrement isolé du reste de la structure (on raisonne « toutes autres productions restant égales ») ; elle comptabilise ce qu'on pourrait appeler l'effet *immédiat* d'une impulsion empruntant ce chemin. L'influence globale s'en distingue pour deux raisons fondamentales :

1) Elle comptabilise l'influence directe transmise par *tous* les chemins élémentaires reliant les deux pôles considérés. En effet, étant donné deux pôles i, j, l'effet d'une variation de la production de i sur la production de j se manifeste par l'intermédiaire de tous les chemins d'origine i et conduisant à j. Selon la « règle d'addition » appliquée au graphe d'influence, l'influence directe transmise par un pôle i à un pôle j suivant plusieurs chemins élémentaires de même origine et de même destination, est égale à la somme des influences directes transmises par chaque chemin élémentaire (R. Lantner, [8], p. 53).

2) Surtout, ces chemins ne sont pas considérés isolément, mais bien réintégrés dans la totalité structurale de laquelle ils avaient été abstraits pour le calcul de l'influence directe : cela revient à comptabiliser aussi les *effets induits* (ou effets de retour) qui se manifestent du fait de l'existence de circuits dans le graphe.

Prenons un exemple illustré par le graphe ci-dessous : imaginons que le pôle i doive, pour répondre à un accroissement unitaire de la demande qui lui est adressée, acheter un montant  $a_{ji}$  d'inputs au pôle j et que ce dernier doive lui-même pour répondre à cette demande, s'adresser au pôle k pour un montant  $a_{kj} \cdot a_{ji}$ . Comme le pôle k doit à son tour acheter des inputs, notamment au pôle i, un circuit apparaît traduisant une interdépendance entre les pôles envisagés. Pour satisfaire la demande que lui adresse le pôle k, le pôle i va demander des inputs supplémentaires au pôle j et ainsi de suite... Le circuit étant indéfiniment parcouru, la demande adressée *in fine* par le pôle i au pôle j sera supérieure au montant initial  $a_{ji}$ <sup>8</sup>.

8. On peut démontrer qu'en vertu de la stabilité du système d'échanges intersectoriels, l'accroissement de la demande adressée par le pôle i au pôle j est *fini* (J. Gazon, [4], chap. 2).



Ainsi, l'influence transmise par un pôle à un autre est amplifiée par les circuits et cette amplification apparaît bien comme la manifestation du phénomène de circularité que nous allons précisément tenter de mesurer.

Soulignons que la circularité ne résulte pas uniquement de l'interdépendance entre les pôles, c'est-à-dire des circuits de longueur supérieure ou égale à deux mais aussi de ce que nous appellerons l'autarcie. Cette dernière est traduite par les circuits de longueur un représentant l'autoconsommation des pôles.



Ces circuits sont au même titre que les autres amplificateurs de l'influence.

On peut récapituler les notions qui viennent d'être présentées à l'aide du tableau suivant, qui établit la correspondance entre le concept d'influence et celui d'articulation :

influence directe	- arc (chemin de longueur un)	articulation directe
+	- chemin de longueur supérieure à un	+
influence induite	circuits :	articulation indirecte
	- boucles (autarcie)	+
	- chemin de longueur supérieure à un (interdépendance)	circularité
= influence globale		= articulation globale

#### 4.- L'INFLUENCE TOTALE ET LE MULTIPLIATEUR D'UN CHEMIN

Si l'on recherche les voies par lesquelles un pôle *i* transmet son influence au pôle *j*, les plus aisées à relever sont certainement les chemins élémentaires menant de *i* à *j*, c'est-à-dire les chemins qui ne « passent » pas plus d'une fois par le même pôle. Dans le cas où la structure ne comporte aucun circuit, la somme des influences

directes portées par ces chemins élémentaires rend l'influence globale transmise par le pôle  $i$  au pôle  $j$ . Cependant, dans la réalité, l'existence de circuits adjacents aux chemins élémentaires fait que l'influence directe transmise suivant ceux-ci est amplifiée. Aussi, on appelle :

- *influence totale*,  $I_{\ell}^T$ , l'influence transmise suivant le chemin élémentaire  $\ell$  compte tenu des répercussions secondaires dans la structure, imputables à ce chemin. L'influence totale additionne donc pour un chemin donné l'influence directe et les effets induits par les circuits.
- *multiplicateur  $M_{\ell}$  du chemin élémentaire  $\ell$* , le rapport entre l'influence totale et l'influence directe transitant par ce chemin  $\ell$ . On a ainsi :

$$M_{\ell} = \frac{I_{\ell}^T}{I_{\ell}^D}, \text{ ou encore } I_{\ell}^T = M_{\ell} \cdot I_{\ell}^D$$

Autrement dit, le multiplicateur  $M_{\ell}$  mesure le pouvoir d'amplification conféré au chemin  $\ell$  par les circuits qui lui sont adjacents.

En vertu du théorème de l'influence (R. Lantner, [8], pp. 246-247), l'influence globale exercée par un pôle sur un autre est égale à la somme des influences totales transitant par les chemins élémentaires reliant ces deux pôles.

## Section 2

### La circularité, l'interdépendance et l'autarcie dans une structure d'échanges intersectoriels

#### 1.- LA CIRCULARITE STRUCTURALE

Le concept de circularité traduit donc l'ensemble du phénomène «circuits» dans une structure, c'est-à-dire aussi bien ce qui relève de l'interdépendance des pôles que de leur autarcie. Dans l'optique de J. Gazon ([4], p. 208), pour mesurer la circularité d'une structure, il faut trouver une grandeur qui satisfasse les deux exigences suivantes :

- rendre compte uniquement des effets de retour dans la transmission de l'influence économique ;
- être structurale, c'est-à-dire considérer la structure dans sa totalité, sans privilégier aucune sous-structure.

J. Gazon a orienté sa recherche vers la différence entre l'influence totale et l'influence directe portée par un chemin hamiltonien.

Cette différence  $I^T - I^D$ , satisfait la première exigence puisqu'elle ne comptabilise que les effets induits par les circuits. Quant au chemin hamiltonien, on sait qu'il « passe » une et une seule fois par chaque pôle de la structure. On peut donc le considérer comme une entité structurale. Certes, tout chemin hamiltonien privilégie un certain ordre de passage par les pôles, mais cela n'enlève rien à son caractère structural : on peut montrer en effet que, pour une structure donnée, tous les chemins hamiltoniens ont un même multiplicateur, égal à  $\frac{1}{\Delta}$ ,  $\Delta$  étant le déterminant de la matrice  $(I - A)$  ([4], p. 209). Ce déterminant  $\Delta$  est appelé *déterminant structural*, car il tient compte à la fois de l'architecture et de l'intensité des relations qu'entretiennent entre eux les pôles de la structure. Ainsi, pour un chemin hamiltonien  $h$ , on peut écrire :

$$\begin{aligned} I_h^T - I_h^D &= M_h \cdot I_h^D - I_h^D \\ &= I_h^D \left( \frac{1}{\Delta} - 1 \right) \\ &= I_h^D \left( \frac{1 - \Delta}{\Delta} \right) \end{aligned}$$

Autrement dit, pour obtenir l'influence induite par les circuits de la structure suivant un chemin hamiltonien, il faut multiplier l'influence directe transportée par ce chemin par la grandeur  $\frac{1 - \Delta}{\Delta}$  ; celle-ci représente donc la propension des circuits de la structure à engendrer une influence induite suivant un chemin hamiltonien quelconque. Ces considérations amènent naturellement à appeler la grandeur  $\frac{1 - \Delta}{\Delta}$ , la *circularité structurale*.

Notons que dans une structure, il peut n'exister aucun chemin hamiltonien. Aussi J. Gazon ([4], p. 213) précise-t-il : « nous définirons la circularité structurale par l'influence induite, réelle ou potentielle, qu'un pôle-destination d'un chemin hamiltonien existant ou potentiel, reçoit du pôle-origine lorsque celui-ci transmet une impulsion telle que l'influence directe portée par le chemin hamiltonien soit unitaire ».

On peut démontrer ([4], chap. 6) que l'expression  $\frac{1 - \Delta}{\Delta}$  mesure bien les effets de la circularité économique : elle est une fonction croissante des « circularités », c'est-à-dire des produits des intensités des arcs qui composent les circuits de la structure. En particulier, les boucles étant des circuits de longueur un, la



circularité structurale est une fonction croissante de l'autarcie des pôles.

## 2.- L'INTERDEPENDANCE ET L'AUTARCIE

Après avoir mesuré les effets induits par l'ensemble des circuits de la structure, nous allons essayer de discerner parmi ces effets, ceux qui relèvent de l'interdépendance des pôles et ceux qui relèvent de leur autarcie. En d'autres termes, il s'agit de mesurer d'une part la circularité imputable aux seuls circuits de longueur supérieure ou égale à deux et, d'autre part, celle qui est imputable aux seuls circuits de longueur un, à savoir les boucles. Il nous paraît en effet intéressant de déterminer si l'amplification de l'influence dans la structure résulte de la demande *intersectorielle* de biens et services, c'est-à-dire de celle qui s'établit entre les grands pôles de l'économie, ou plutôt des relations *intrasectorielles*. Une relation intrasectorielle traduit la demande qu'une entreprise adresse à une autre entreprise du même secteur ou à elle-même.

Dans une première approche, on pourrait penser que la mesure de l'interdépendance peut se fonder sur le déterminant de la structure initiale privée des boucles. Il ne peut cependant en être ainsi : ce serait oublier que les boucles amplifient les autres circuits et que ceux-ci amplifient les boucles. Ainsi donc, l'interdépendance ne se limite pas à l'influence induite relevant de la seule circularité des circuits de longueur supérieure ou égale à deux : cette circularité est *en plus* amplifiée du fait de la seule présence des boucles des pôles qui composent les circuits. Cette amplification doit donc aussi être prise en compte dans l'interdépendance.

Dès lors J. Gazon ([4], p. 241) propose une autre démarche basée sur la *règle d'autotransformation* qui s'exprime comme suit : on peut réduire un graphe d'influence correspondant à une structure donnée, en remplaçant tout pôle bouclé  $i$  par un pôle sans boucle, à condition de multiplier les intensités des arcs convergents par rapport au pôle  $i$ , par  $\frac{1}{1 - a_{ii}} = \frac{1}{\beta_i}$  (voir annexe 1).

Une telle réduction du graphe ne consiste pas à faire simplement abstraction des boucles puisque les intensités des arcs s'en trouvent augmentées. Ce renforcement de l'intensité des liaisons directes vise précisément à tenir compte du fait que la présence des boucles amplifie la circularité des autres circuits. Dans cet esprit, on peut considérer qu'en appliquant la règle d'autotransformation au graphe de la structure initiale, on obtient la structure qui réduit la circularité structurale à la seule interdépendance.

Il s'agit bien là d'une option : en effet, dans le concept de circularité structurale, les boucles et les autres circuits s'amplifient mutuellement, il est particulièrement difficile de séparer parfaite-

ment l'autarcie de l'interdépendance. En pratique, la question est de savoir si ce sont les boucles qui amplifient les autres circuits ou l'inverse. Mais existe-t-il une réponse ? Il faut chercher une procédure qui approche au mieux l'interdépendance ; la méthode proposée par J. Gazon nous semble dès lors constituer une voie intéressante. Dans le cadre de cette démarche, on montre facilement que le déterminant  $\Delta'$  de la structure autotransformée est égal à  $\frac{\Delta}{\pi\beta_i}$  (annexe 1).

L'interdépendance s'exprime donc par :

$$\frac{1 - \Delta'}{\Delta'} = \frac{1 - \frac{\Delta}{\pi\beta_i}}{\frac{\Delta}{\pi\beta_i}} = \frac{\pi\beta_i - \Delta}{\Delta}.$$

Si nous supposons que la complémentarité au sein de la circularité entre l'interdépendance et l'autarcie est additive, cette dernière s'écrira :

$$\frac{1 - \Delta}{\Delta} - \frac{1 - \Delta'}{\Delta} = \frac{1 - \Delta}{\Delta} - \frac{\pi\beta_i - \Delta}{\Delta} = \frac{1 - \pi\beta_i - \Delta}{\Delta}.$$

A partir des concepts précédents, on peut construire deux taux qui donnent les parts respectives de l'interdépendance et de l'autarcie dans la circularité structurale. Le *taux d'interdépendance* s'exprime de la manière suivante :

$$C_I = \frac{\frac{1 - \Delta'}{\Delta'}}{\frac{1 - \Delta}{\Delta}} = \frac{\pi\beta_i - \Delta}{1 - \Delta}.$$

De même, on peut définir un *taux d'autarcie* :

$$C_A = 1 - C_I.$$

Contrairement aux mesures de la circularité, de l'interdépendance et de l'autarcie, ces deux taux s'interprètent comme des pourcentages.

## 3.- MESURE DE LA CIRCULARITE DANS QUELQUES ECONOMIES SOUS DEVELOPPEES

Notre but n'est pas ici de procéder à une analyse de structures économiques à partir des développements théoriques qui précèdent. Plus simplement, nous nous proposons d'illustrer les concepts que nous avons présentés et de montrer leur caractère opérationnel en les appliquant à quelques économies sous-développées.

Le tableau 1 donne les mesures de la circularité structurale, de l'interdépendance et de l'autarcie, ainsi que les taux  $C_I$  et  $C_A$  de structures pour lesquelles nous disposons d'une table input-output récente et suffisamment fiable, à savoir : la Corée du Sud (1960, 1966 et 1973), le Kenya (1971), la Malaisie (1970), le Pérou (1969) et la Tanzanie (1969) (voir annexe 2). Pour la Corée du Sud, les mesures relatives à trois époques différentes vont nous permettre de déterminer, pour ce pays, l'évolution des grandeurs susdites sur une période de 13 ans. Le tableau est complété par les mêmes données pour les structures de la R.F.A. et de la Belgique en 1970, de manière à autoriser l'ébauche de comparaisons avec des économies développées<sup>9</sup>.

Considérons tout d'abord la *circularité structurale*. Un certain ordre logique apparaît dans la liste des pays, classés dans le tableau selon la valeur décroissante de  $\frac{1 - \Delta}{\Delta}$ . Ainsi qu'on

pouvait s'y attendre, ce sont les économies développées qui présentent la circularité la plus élevée. Ensuite, on trouve, groupées, les trois structures de la Corée, suivies de celles du Pérou, du Kenya, de la Malaisie et enfin, de la Tanzanie. La question se pose de savoir si la circularité structurale peut servir d'indication du degré de développement d'une économie déterminée. Si c'est le cas, il y aurait une corrélation étroite entre le degré de développement et la circularité structurale. Pour mettre ce lien en évidence, encore faudrait-il que le concept de développement économique soit rigoureusement défini. Pour notre part, limitons-nous ici à admettre que toutes autres choses étant égales, une circularité plus élevée, traduisant des effets de retour plus importants, signifie un accroissement de l'articulation intersectorielle que l'on peut interpréter comme un facteur favorable au développement économique. Ce qui ne revient pas à dire que le dévelop-

9. Précisons que les données relatives à ces deux pays dérivent de calculs effectués sur une matrice agrégée en 13 pôles, par les soins des statisticiens de la C.E.E. ([6]). La procédure d'agrégation utilisée n'est pas parfaitement identique à celle que nous avons nous-mêmes appliquée aux sept matrices de pays sous-développés (annexe 2). Le déterminant structural  $\Delta$  n'étant pas invariant avec le mode d'agrégation des branches de la table initiale, une certaine prudence s'impose dans l'interprétation des différences entre économies « développées et sous-développées ».

Tableau 1. - Les indices de circularité au niveau de la structure

	Circularité	Interdépendance		Antarcie		$\sum_i FB'_i$	$\sum_i FB_i$	$\sum_i FB'_i$
	$C = \frac{I - \Delta}{\Delta}$	$I = \frac{I - \Delta'}{\Delta'}$	Taux $C_I$ (en %)	$A = C - I$	Taux $C_A$ (en %)			
R.F.A. (1970)	19,161	0,115	0,6	19,046	99,4	3,729	0,238	
Belgique (1970)	8,542	0,151	1,8	8,391	98,2	2,776	0,303	
Corée (1966)	3,237	0,062	1,9	3,175	98,1	1,704	0,131	
(1973)	3,098	0,068	2,2	3,030	97,8	1,630	0,142	
(1960)	2,846	0,083	2,9	2,763	97,1	1,625	0,181	
Pérou (1969)	1,878	0,043	2,3	1,835	97,7	1,274	0,094	
Kenya (1971)	1,439	0,036	2,5	1,403	97,5	0,981	0,081	
Malaisie (1970)	1,078	0,055	5,1	1,023	94,9	0,825	0,112	
Tanzanie (1969)	0,432	0,038	8,8	0,394	91,2	0,419	0,083	

pement accentue toujours le caractère circulaire de la structure des échanges intersectoriels.

Épinglons l'une ou l'autre particularité dans la série des valeurs de  $\frac{1 - \Delta}{\Delta}$ . Il convient de souligner en premier lieu la dispersion

relativement importante de cette série de mesures, qui varient de 0,432 (Tanzanie) à 19,161 (R.F.A.). Il y a donc un rapport de 1 à 40 entre la circularité la plus faible et la circularité la plus élevée, qui peuvent d'ailleurs faire l'objet d'une interprétation aisée si on envisage l'ensemble du tableau 1. Ainsi, concernant tout d'abord l'Allemagne fédérale, on sait qu'il s'agit du type même de système économique dont l'appareil de production est particulièrement intégré, en raison notamment du développement des entreprises vers l'aval et vers l'amont. Il en résulte une autoconsommation polaire élevée, source d'effets de retour très importants ( $A = 19,046$ ). Quant à la Tanzanie, puisque son interdépendance est semblable à celle des autres économies sous-développées, la faiblesse de sa circularité structurale s'explique par le niveau relativement bas de son autarcie (0,394). En effet, ainsi que nous l'avons calculé, l'autoconsommation des pôles représente en moyenne 2,4 % de leur output en Tanzanie alors qu'elle est de 6,1 % au Kenya et de 7,3 % au Pérou. On peut s'interroger sur les causes de cette divergence et *a priori*, on ne saurait exclure des distorsions introduites par les conventions statistiques adoptées pour l'élaboration des tables originales.

En second lieu, il est intéressant de constater qu'en dépit d'une croissance assez exceptionnelle de l'économie coréenne depuis 1960, les effets de retour n'ont guère augmenté au sein de la structure ; la circularité est restée proche de la valeur 3 qui est nettement inférieure à celles des pays développés.

Examinons de façon plus précise le rôle de l'*interdépendance* sectorielle. On est surpris de voir la très faible importance relative de celle-ci dans l'explication des effets de retour, puisque le taux  $C_i$  est, dans tous les cas, inférieur à 9 %. En d'autres termes, plus de 90 % des effets de retour dans les structures étudiées sont dûs uniquement à l'autarcie polaire, et ne font pas intervenir les phénomènes d'interdépendance liés aux circuits de longueur supérieure à un. Nous verrons plus loin, en mesurant la circularité au niveau polaire, que cette constatation s'explique assez facilement.

Cela dit, si les trois regroupements mentionnés précédemment se maintiennent (pays développés, Corée, autres pays sous-développés), il faut néanmoins remarquer qu'à l'intérieur de chaque groupe, le classement des pays sur base de  $\frac{1 - \Delta}{\Delta}$  ne se retrouve guère sur le plan de l'interdépendance. D'autre part, on

peut constater que les différences entre les économies sous-développées et les structures belge et allemande sont, en valeur relative, plus importantes pour la circularité structurale que pour l'interdépendance. Cela signifierait-il que le développement renforce davantage l'articulation à l'intérieur des secteurs, tels que nous les avons définis, que l'articulation intersectorielle ? La question mériterait d'être étudiée, mais nous nous contenterons de la poser.

#### 4.- LA CIRCULARITE APPREHENDÉE AU NIVEAU POLAIRE

Les circuits d'une structure engendrent des effets de retour qui peuvent être saisis au plan général de la structure, comme on vient de le faire, ou bien être appréhendés au niveau des pôles. C'est cette seconde approche que nous allons maintenant développer afin de compléter notre connaissance de la circularité des structures économiques. Nous devons commencer par introduire la notion de multiplicateur polaire qui va nous permettre de définir nos instruments d'analyse.

##### *Le multiplicateur polaire.*

Le multiplicateur  $M_i$  d'un pôle  $i$  n'est autre que l'influence globale  $I_{i \rightarrow i}^G$  du pôle sur lui-même. Il constitue donc le  $i^{\text{em}}$ e élément diagonal de la matrice  $(I - A)^{-1}$  des influences globales. On peut l'interpréter comme le nombre par lequel il faut multiplier un accroissement *initial* de la production du pôle  $i$  pour obtenir l'accroissement *total* de celle-ci.

Ainsi par exemple, si la demande finale au pôle productif  $i$  s'accroît d'une unité, le pôle  $i$  devra pour  $y$  répondre, augmenter sa production dans une plus grande mesure ; pour produire l'unité qui satisfera la demande finale, le pôle  $i$  a besoin d'inputs qu'il demandera aux autres pôles ; ceux-ci, afin de satisfaire cette demande supplémentaire qui leur est adressée, vont demander des inputs aux autres pôles et notamment au pôle  $i$ , ce qui constituera une nouvelle impulsion au pôle  $i$ , et le processus continue... Le multiplicateur mesure alors l'accroissement total de la production du pôle  $i$ , nécessaire pour que celui-ci réponde à l'impulsion initiale. Il comptabilise donc d'une part, l'unité de production qui répond directement à la demande finale et d'autre part, la production engendrée par les effets de retour, c'est-à-dire celle qui satisfait la demande induite des pôles de la structure,  $y$  compris le pôle  $i$ .

##### *Le feed-back.*

Si maintenant, du multiplicateur polaire on retranche l'impulsion initiale unitaire, il ne reste plus que les effets de retour

perçus par le pôle  $i$ , ce qu'on appelle *le feed-back du pôle  $i$* . Ainsi, le feed-back  $FB_i$  se définit par la somme des influences reçues en retour par le pôle  $i$ , suite à une impulsion initiale unitaire. On dira qu'il mesure la circularité *localisée*. On peut donc écrire :  $FB_i = M_i - 1$ .

Ce concept de feed-back constitue le pendant au niveau polaire que la circularité structurale, puisqu'il mesure en chaque pôle les effets induits par les circuits, y compris les boucles. On verra cependant que la somme des  $FB_i$  de tous les pôles d'une structure, diffère de la circularité structurale. Il en résulte que le feed-back ne mesure pas à proprement parler la contribution d'un pôle à la circularité structurale, mais traduit simplement la mesure dans laquelle un pôle est *impliqué* dans les circuits d'une structure. Il n'empêche que les concepts de feed-back et de circularité structurale sont fort proches, ainsi que nous le montrons à l'annexe 3.

### *Le feed-back modifié.*

En suivant la même démarche que pour appréhender l'interdépendance dans l'ensemble de la structure, nous avons tenté d'isoler dans le feed-back polaire, les effets de retour engendrés par les circuits autres que les boucles. Cependant, la séparation, au niveau polaire, de ce qui relève de l'autarcie et de ce qui relève de l'interdépendance est tout aussi délicate qu'au niveau de la structure.

M. Nihon ([10], p. 2-34) propose de mesurer par  $(1 - a_{ii}) \cdot FB_i$  ce qui dans le feed-back relève de l'interdépendance. Autrement dit, il suppose que la part de l'autarcie dans les effets de retour reçus par un pôle est égale à  $a_{ii}$ , c'est-à-dire la part même de l'autoconsommation dans l'output de ce pôle. On ne voit pas pourquoi il en serait ainsi. Pour notre part, nous suggérons plutôt la démarche suivante : par analogie avec l'approche adoptée sur le plan général de la structure, nous considérons que les effets relevant de l'interdépendance et reçus par le pôle  $i$ , sont mesurés par le *feedback modifié*  $FB'_i$  c'est-à-dire le feed-back  $FB_i$  du pôle  $i$  calculé pour la structure autotransformée. Nous dirons que le feed-back modifié mesure l'interdépendance localisée.

Le calcul de  $FB'_i$  ne pose guère de difficultés (voir annexe 4). Il vaut :

$$FB'_i = (1 - a_{ii}) \cdot M_i - 1.$$

Pour mieux voir la différence entre l'indicateur de M. Nihon et notre feed-back modifié, on peut se référer au tableau suivant :

Indicateur de M. Nihon	Feed-back modifié
$(1 - a_{ii}) \cdot FB_i$	$(1 - a_{ii}) \cdot M_i - 1$ ou $(1 - a_{ii}) \cdot FB_i - a_{ii}$

Nous verrons qu'ici aussi, la somme des  $FB_i'$  est différente de la mesure de l'interdépendance saisie au niveau de la structure ; par conséquent, le feed-back modifié traduit seulement à quel degré un pôle est impliqué dans les circuits de longueur supérieure ou égale à deux.

De ce qui précède, on déduit que l'autarcie se mesure au niveau de chaque pôle par la différence :

$$FB_i - FB_i' = a_{ii} + a_{ii}FB_i = a_{ii}M_i.$$

Comme au plan général de la structure, on peut définir ici deux taux qui donnent respectivement la part de l'interdépendance et celle de l'autarcie dans la circularité localisée. Le taux d'interdépendance s'exprime par le rapport

$$\frac{FB_i'}{FB_i}$$

et le taux d'autarcie par le rapport :

$$\frac{FB_i - FB_i'}{FB_i}$$

Pour conclure, établissons par le tableau suivant le parallélisme entre les outils d'analyse de la circularité utilisés au niveau de l'ensemble de la *structure* et au niveau *polaire* :

	Au niveau de la structure	Au niveau polaire
(1) circularité	$\frac{1 - \Delta}{\Delta}$	$FB_i$
(2) interdépendance	$\frac{1 - \Delta'}{\Delta'} = \frac{\pi \beta_i - \Delta}{\Delta}$	$FB_i' = (1 - a_{ii}) \cdot M_i - 1$
(3) autarcie	$\frac{1 - \pi \beta_i}{\Delta}$	$a_{ii} M_i$
(4) taux d'interdépendance	$C_I = (2)/(1)$	$(2)/(1)$
(5) taux d'autarcie	$C_A = (3)/1$	$(3)/(1)$



## 5. MESURE DE LA CIRCULARITÉ AU NIVEAU POLAIRE POUR LE KENYA ET LE PÉROU.

Le tableau 2 récapitule les indices de circularité calculés au niveau polaire pour le Kenya et le Pérou, à savoir : la circularité localisée  $FB_i$ , l'interdépendance  $FB_i'$  et la part de celle-ci dans la circularité localisée  $(\frac{FB_i'}{FB_i})^{10}$ . Une fois encore, notre but n'est pas d'analyser des structures mais seulement d'illustrer une théorie. C'est donc à titre purement exemplatif que nous avons dressé le tableau 2 pour deux des sept économies sous-développées évoquées précédemment.

a) Les *feed-backs* ( $FB_i$ ).

Afin de montrer que le *feed-back* d'un pôle s'explique essentiellement par son autoconsommation ou autarcie, nous avons complété le tableau 2 par la valeur  $a_{ii}$  pour chaque pôle. Un rapide examen montre que si le *feed-back* est supérieur à la valeur  $a_{ii}^{11}$ , celle-ci représente cependant presque toujours une très grande part des effets de retour au pôle. Il est normal qu'il en soit ainsi, puisque tout autre effet de retour que celui mesuré par  $a_{ii}$  résulte nécessairement, en vertu de la règle de multiplication, du produit d'au moins deux influences directes, ce qui en fait tomber obligatoirement la valeur. Il est possible de faire apparaître le lien étroit entre  $FB_i$  et  $a_{ii}$  en mettant en rapport, d'une part, le classement des pôles sur base de  $FB_i$  tel qu'il est donné par le tableau 2, et d'autre part, le classement sur base de  $a_{ii}$  tel qu'on peut l'établir à partir de ce même tableau : on obtient alors une corrélation de rang quasi parfaite, puisqu'on peut montrer qu'il n'y a, entre les deux classements, que 2 et 0 inversions respectivement pour le Kenya et le Pérou.

Au total, c'est donc la valeur  $a_{ii}$  et plus généralement de tous les effets de retour liés à l'autoconsommation, qui explique l'essentiel du *feed-back*. Le rapport  $\frac{FB_i'}{FB_i}$  repris dans le tableau 2 indique dans quelle mesure cette assertion est vraie, puisque  $FB_i'$  est censé mesurer précisément tout ce qui n'est pas dû à l'autarcie. Les valeurs obtenues pour  $\frac{FB_i'}{FB_i}$  appellent les commentaires suivants :

10. Le calcul de l'autarcie et de la part de celle-ci dans la circularité localisée s'effectue aisément à partir des indices précédents.

11. Le plus court chemin qui donne lieu à un effet de retour est évidemment la boucle du pôle, et cet effet de retour vaut donc  $a_{ii}$  : cette valeur doit être comptabilisée dans le *feed-back*, qui mesure le total des effets de retour reçus par un pôle pour une impulsion unitaire.

- La majorité des rapports  $\frac{FB'_i}{FB_i}$  sont supérieurs au rapport  $C_1$  mesurant la part de l'interdépendance dans la circularité structurale. Cela confirme que feed-back et circularité structurale ne sont pas des concepts *rigoureusement* correspondants.
- Certains rapports sont assez élevés, et parfois même supérieurs à 50 %<sup>12</sup> : la part due à l'autarcie n'est plus alors prépondérante, contrairement à ce qui vient d'être dit. En réalité, il s'agit de cas peu fréquents. On remarque qu'ils correspondent à un coefficient  $a_{ii}$  généralement très faible. En effet, plus la valeur  $a_{ii}$  est faible, et plus les effets de retour relevant de l'interdépendance, c'est-à-dire de circuits de longueur supérieure à un, ont des chances de ne pas être négligeables comparés à ceux relevant de l'autarcie<sup>13</sup>.

Quoi qu'il en soit, le fait que dans la majorité des cas le feed-back s'explique par les effets d'autarcie, confirme pleinement la très faible valeur de  $C_1$  que l'on a relevée au niveau de la structure ; en même temps, on peut considérer que si sur le plan conceptuel, circularité et feed-back ne saisissent pas les effets de retour de la même façon, l'un est bien au niveau polaire le pendant de l'autre au niveau global. On peut en trouver une preuve convaincante dans la comparaison qu'établit le tableau 1 entre la circularité structurale  $\frac{1 - \Delta}{\Delta}$  et un indice représentatif des feed-backs, à savoir leur somme. On vérifie aisément que les classements effectués entre les pays selon l'un ou l'autre indice sont rigoureusement identiques.

b) *Les feed-backs modifiés ( $FB'_i$ )*.

Les feed-backs modifiés excluent donc les effets de retour liés à l'autarcie polaire et ne se réfèrent qu'à l'interdépendance. Notons ici la correspondance étroite entre les deux indices d'interdépendance que sont le feed-back modifié et l'interdépendance  $\frac{1 - C'}{\Delta'}$  : en effet, le tableau 1 permet ici aussi de voir qu'un classement des pôles établi sur base de  $\frac{1 - \Delta'}{\Delta'}$  serait rigoureusement identique à celui que l'on obtiendrait à partir de  $\sum_i FB'_i$ ,

11. C'est le cas du secteur Energie (EN) au Pérou. Mentionnons pour mémoire le rapport égal à 100 (le secteur Construction (CO) au Pérou) : il correspond à un  $a_{ii}$  nul, c'est-à-dire à l'absence d'autarcie.

12. Une autre explication réside dans les erreurs d'arrondis. Celles-ci peuvent être assez importantes lorsque les valeurs des  $FB_i$  et  $FB'_i$  sont très faibles, dans la mesure où nous nous limitons à trois décimales dans nos calculs.

Tableau 2. - Les indices de circularité au niveau polaire\*.

**	Kenya					Pérou				
	$FB_i$	$FB'_i$	$\frac{FB'_i}{FB_i}$ (en %)	$a_{ii}$		$FB_i$	$FB'_i$	$\frac{FB'_i}{FB_i}$ (en %)	$a_{ii}$	
TR	0,176	0,011	6,5	0,140	TE	0,270	0,002	0,8	0,211	
TE	0,171	0,001	0,6	0,145	AG	0,222	0,017	7,5	0,168	
NM	0,087	≈ 0	≈ 0	0,080	AI	0,164	0,005	2,8	0,137	
AI	0,086	0,006	6,6	0,074	AL	0,126	0,019	15,1	0,095	
CO	0,086	0,003	4,0	0,076	SE	0,101	0,006	6,3	0,086	
EX	0,077	0,001	1,3	0,071	ME	0,091	0,003	2,9	0,081	
CM	0,072	0,021	28,5	0,048	CH	0,069	0,010	14,8	0,055	
EN	0,053	0,002	4,6	0,048	EX	0,040	0,003	6,4	0,036	
SE	0,053	0,007	12,6	0,044	FM	0,036	0,004	10,8	0,031	
AL	0,052	0,010	19,1	0,040	CM	0,033	0,009	28,0	0,023	
FM	0,046	0,007	15,9	0,037	TR	0,031	0,008	26,8	0,022	
AG	0,014	0,004	27,6	0,010	EN	0,009	0,007	77,6	0,002	
CH	0,010	0,004	39,4	0,006	CO	0,001	0,001	100	0	
NC	0	0	-	0						

\* Les pôles sont classés dans l'ordre décroissant du  $FB_i$ .

\*\* Voir annexe 2 pour la signification des sigles.

indice des feedbacks modifiés. Ce n'est pas le moindre des résultats de notre analyse, et il nous autorise à croire en la justesse de notre démarche pour étudier quantitativement l'interdépendance dans une structure économique<sup>13</sup>.

Dans le cadre d'une analyse approfondie des économies sous-développées, il serait intéressant d'étudier pour chaque pôle d'une structure son degré d'implication dans les circuits engendrés par les échanges intersectoriels, et de procéder à des comparaisons entre pays. Dans le cas du Kenya et du Pérou, le tableau 2 montre qu'il n'y a guère d'analogies entre les pôles correspondants, en ce qui concerne la valeur de  $FB_i$  et de  $FB'_i$  et le classement des secteurs sur base de ces deux critères. A titre d'exemple, on peut cependant noter le cas du Textile (TE) qui présente de part et d'autre une valeur  $FB_i$  élevée provenant d'une autoconsommation importante, et une valeur  $FB'_i$  très faible<sup>14</sup>. Par contre, la construction (CO) est très peu impliquée dans les circuits au Pérou ( $FB_i = 0,001$ ), alors qu'au Kenya, les effets de retour mesurés en ce pôle sont loin d'être négligeables ( $FB_i = 0,086$ ).

### Conclusion

Nous pensons pouvoir affirmer que, pour l'appréhension de la circularité d'une structure, c'est-à-dire d'un aspect particulier de l'articulation intersectorielle à l'intérieur de celle-ci, l'apport de l'approche structurale élaborée par R. Lantner et J. Gazon est considérable.

Certes, l'analyse input-output traditionnelle montre qu'au delà de ce que nous avons appelé les liaisons directes, existe une totalité structurale caractérisée par des phénomènes de circuits, et qui influe sur l'ensemble des relations intersectorielles. Cependant, elle ne permet pas de saisir ces phénomènes de façon précise, car la résolution du modèle ne tient compte que globalement de tous les effets inhérents à cette totalité. Par contre, basée sur la notion d'influence, l'analyse structurale autorise avec le concept de circularité structurale, une mesure des seuls effets de retour, et avec la règle d'autotransformation, une distinction au sein de la circularité structurale entre l'interdépendance et l'autarcie. Il en va de même au niveau des pôles si l'on utilise les concepts de feed-back et de feed-back modifié.

13. Remarquons que l'on a, dans tous les cas :  $\frac{1 - \Delta'}{\Delta'} < \sum_i FB'_i$ , alors que l'on avait  $\frac{1 - \Delta'}{\Delta'} > \sum_i FB_i$ .

14. Le Textile regroupe des entreprises qui se succèdent dans le processus de fabrication des produits textiles : filatures, fabriques de tissus, de vêtements, ..., ce qui explique l'autoconsommation élevée de ce secteur.

Enfin, les quelques exemples donnés en guise d'illustration ont seulement laissé entrevoir l'intérêt opérationnel de ces mesures lorsqu'elles sont appliquées à des structures d'échanges intersectoriels.

Références bibliographiques

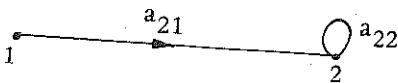
1. Albertini Jean-Marie, *Les mécanismes du sous-développement*, Economie et Humanisme, Editions Ouvrières, Paris, 1977.
2. Defourny J. et Marée M., *Une approche structurale de l'articulation interindustrielle dans des économies sous-développées*, tome 1 : le Kenya (1971) et le Pérou (1969), tome 2 : la Corée du Sud de 1960 à 1973 , mémoire, Université de Liège, 1977.
3. Freyssinet Jacques, *Le Concept de sous-développement*, Mouton et Cie, Paris - La Haye, 1966.
4. Gazon Jules, *Transmission de l'influence - une approche structurale*, Sirey, Paris, 1976.
5. Gendarme René, *L'économie de l'Algérie*, Paris, 1959.
6. Green J., Le Grontec P., *Méthodologie des tableaux entrées-sorties communautaires 1970-1975*, Office statistique des Communautés Européennes, Luxembourg, 1976.
7. Hugon Philippe, *Analyse du sous-développement en Afrique noire. L'exemple de l'Economie du Cameroun*, P.U.F., Paris, 1968.
8. Lantner Roland, *Théorie de la dominance économique*, Dunod, Paris, 1974.
9. Leduc Gaston, *Les pays sous-développés et leurs problèmes*, Les Cours du Droit, Paris, 1960-1961.
10. Nihon Marcel, *Analyse structurale du tableau entrées-sorties de la Belgique pour 1965*, , mémoire, Université de Liège, 1975.
11. Perroux François, *Trois outils d'analyse pour l'étude du sous-développement : l'économie désarticulée, les coûts de l'homme, le développement induit*, Cahiers de l'I.S.E.A., série F, n° 1, 1958, pp. 31-129.

Annexe 1 :

La règle d'autotransformation

La règle d'autotransformation s'énonce comme suit : on peut réduire un graphe d'influence correspondant à une structure stable, en remplaçant tout sommet bouclé  $i$  par un sommet sans boucle, à condition de multiplier les intensités des arcs convergents par rapport à  $i$  par  $\frac{1}{1 - a_{ii}}$ .

Cette règle s'illustre assez aisément. Considérons la situation suivante :



$$y_2 = a_{21}y_1 + a_{22}y_2$$

$$\text{ou } y_2 = \frac{a_{21}}{1 - a_{22}} \cdot y_1$$

Le sous-graphe partiel se réduit alors à :

$$1 \xrightarrow{\frac{a_{21}}{1 - a_{22}}} 2$$

Il est facile de montrer que l'application de la règle d'autotransformation revient à multiplier la ligne  $i$  de la matrice  $(1 - A)$  par  $\frac{1}{1 - a_{ii}}$ , pour tout  $i$ . Dès lors, en vertu des règles élémentaires du calcul matriciel, le déterminant  $\Delta'$  de la structure autotransformée s'écrit :

$$\Delta' = \frac{\Delta}{\prod_i (1 - a_{ii})} = \frac{\Delta}{\prod_i \beta_i}$$

### Annexe 2 : Recherche et traitement des données

La récolte des données statistiques n'est pas le moindre des problèmes qui se posent dans le cadre de l'étude d'une économie sous-développée, dès l'instant où l'on attend de ces données qu'elles présentent suffisamment de garanties quant à leur fiabilité. Cependant, des possibilités d'analyse existent, notamment grâce aux matrices input-output élaborées depuis une vingtaine d'années déjà dans les pays du Tiers-Monde, même si ces matrices suscitent, souvent à juste titre, nombre de critiques. En raison même de celles-ci, nous avons procédé à une sélection des matrices d'économies sous-développées actuellement disponibles, de manière à faire porter notre analyse de la circularité sur des données les plus fiables possible. En outre, pour donner plus de généralité à nos mesures, nous avons retenu des pays situés dans les trois grandes régions sous-développées du monde (Amérique du Sud, Afrique et Asie), et qui se caractérisent par des degrés de développement différents sur base des critères traditionnels (essentiellement le P.I.B. par tête). Les tables sélectionnées sont les suivantes :

<i>Pays</i>	<i>Année</i>	<i>Nombre de secteurs</i>	<i>Origine</i>
Corée du Sud	1960	43	Bank of Korea, Séoul
	1966	43	Bank of Korea, Séoul
	1973	56	Bank of Koréa, Séoul
Kenya	1971	30	Central Bureau of Statistics, Nairobi
Malaisie <sup>1</sup>	1970	60	Department of Statistics, Kuala Lumpur
Pérou	1969	40	Instituto nacional de planificación, Lima
Tanzanie	1969	45	Bureau of Statistics, Dar es-Salaam.

1. Malaisie occidentale ou Etat Malais, faisant partie de la fédération de Malaysia.

Nous avons soumis les données des tables retenues à deux traitements statistiques programmés sur ordinateur.

#### 1) Agrégation des branches

Dans le but d'uniformiser l'analyse des différentes tables et pour permettre des comparaisons entre les résultats obtenus pour chacune d'elles, nous avons agrégé les branches en une douzaine de secteurs communs. Le contenu précis de ceux-ci est défini ci-après par référence à la Classification Internationale Type par Industrie (C.I.T.I.), préconisée par l'O.N.U.

<i>Secteurs de la table agrégée</i>	<i>Classification C.I.T.I.</i>
Agriculture	(AG) branche 1
Extraction	(EX) catégories 23 et 29
Alimentation	(AL) catégorie 31
Textile	(TE) catégorie 32
Chimie	(CH) catégorie 35
Métallurgie	(ME) catégorie 37
Fabrications métallurgiques	(FM) catégorie 38
Autres industries	(AI) catégories 33, 34, 36 et 39
Energie	(EN) branche 4 et catégories 21 et 22
Construction	(CO) branche 5
Commerce	(CM) branche 6
Transports	(TR) branche 6
Services	(SE) branches 8 et 9
Non classé	(NC) branche 0

2) *Traitement mathématique*

Une fois agrégées, les tables ont été soumises à un second programme informatique, le PAS 02 (Programme d'Analyse Structurale, version 02)<sup>15</sup>. Celui-ci réalise une série de traitements relevant de l'analyse input-output (calcul des coefficients directs, inversion de matrices, etc...), plus un certain nombre d'opérations relatives à l'analyse structurale proprement dite.

*Analyse 3 :*

*Parallélisme entre la circularité structurale ( $\frac{1-\Delta}{\Delta}$ )  
et la circularité localisée ( $FB_i$ )*

Il suffit de partir de la définition même de chacun des deux concepts :

1. Nous avons vu que le feed-back d'un pôle  $i$  se définissait comme suit :

$$M_i - 1 = FB_i . \quad (1)$$

Compte tenu de la signification du multiplicateur polaire  $M_i$ <sup>16</sup>, il mesure donc, pour une impulsion initiale UNITAIRE, les effets de retour reçus par le pôle  $i$  imputables aux circuits dans lesquels celui-ci se trouve impliqué.

2. Rappelons d'autre part que l'on a :

$$I_h^T - I_h^D = I_h^D \cdot \frac{1-\Delta}{\Delta} .$$

Considérons  $I_h^D$  comme une impulsion initiale transmise par le pôle-origine au pôle-destination du chemin hamiltonien  $h$ , suivant ce dernier : la différence  $I_h^T - I_h^D$  mesure alors, pour cette impulsion initiale  $I_h^D$ , l'influence reçue par le pôle-destination *induite* par les circuits adjacents au chemin  $h$ . Par conséquent, pour une impulsion initiale UNITAIRE ( $I_h^D = 1$ ), l'égalité ci-dessus devient, compte tenu que par définition  $I_h^T = M_h \cdot I_h^D$  :

$$M_h - 1 = \frac{1-\Delta}{\Delta} . \quad (2)$$

En comparant les relations (1) et (2), on peut constater la similitude étroite existant entre les deux grandeurs  $FB_i$  et  $\frac{1-\Delta}{\Delta}$ .

15. Ce programme a été réalisé en langage FORTRAN par M. Nihon, informaticien à l'Université de Liège (voir [4]).

16. Accroissement total de la production du pôle  $i$  pour une impulsion unitaire reçue par ce pôle.



*Annexe 4 :*  
*Le calcul du feed-back modifié  $FB'_i$*

Pour simplifier, raisonnons seulement avec trois secteurs. La matrice  $(I - A)$ , dont le déterminant vaut  $\Delta$ , s'écrit :

$$(I - A) = \begin{bmatrix} 1 - a_{11} & -a_{12} & -a_{13} \\ -a_{21} & 1 - a_{22} & -a_{23} \\ -a_{31} & -a_{32} & 1 - a_{33} \end{bmatrix}$$

De plus,  $FB_i = M_i - 1$

$$= \frac{\Delta_{ii}}{\Delta} - 1 \quad 17.$$

Dès lors, si l'on applique la règle d'autotransformation à la matrice  $(I - A)$ , on obtient la matrice réduite suivante :

$$\begin{bmatrix} \frac{1 - a_{11}}{1 - a_{11}} & \frac{-a_{12}}{1 - a_{11}} & \frac{-a_{13}}{1 - a_{11}} \\ \frac{-a_{21}}{1 - a_{22}} & \frac{1 - a_{22}}{1 - a_{22}} & \frac{-a_{23}}{1 - a_{22}} \\ \frac{-a_{31}}{1 - a_{33}} & \frac{-a_{32}}{1 - a_{33}} & \frac{1 - a_{33}}{1 - a_{33}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{-a_{12}}{1 - a_{11}} & \frac{-a_{13}}{1 - a_{11}} \\ \frac{-a_{21}}{1 - a_{22}} & 1 & \frac{-a_{23}}{1 - a_{22}} \\ \frac{-a_{31}}{1 - a_{33}} & \frac{-a_{32}}{1 - a_{33}} & 1 \end{bmatrix},$$

dont on a vu que le déterminant  $\Delta'$  vaut :

$$\frac{\Delta}{(1 - a_{11})(1 - a_{22})(1 - a_{33})} = \frac{\Delta}{\prod_i \beta_i}.$$

Dans la structure autotransformée, le feed-back, appelé feed-back modifié, se définit alors de la façon suivante :

$$FB'_i = M'_i - 1,$$

17. J. Gazon ([4], p. 107) : «  $M_i = \frac{\Delta_{ii}}{\Delta}$  où  $\Delta_{ii}$  est le cofacteur du terme  $(1 - a_{ii})$  de la matrice  $(I - A)$  ».

$$\text{ou } \text{FB}'_i = \frac{\Delta'_{ii}}{\Delta'} - 1.$$

On voit facilement que :

$$\Delta'_{ii} = \frac{\Delta_{ii}}{\prod_{j \neq i} (1 - a_{ij})} = \frac{\Delta_{ii}}{\prod_{j \neq i} \beta_j}.$$

Dès lors :

$$\text{FB}'_i = \frac{\frac{\Delta_{ii}}{\prod_{j \neq i} \beta_j}}{\frac{\Delta}{\prod_i \beta_i}} - 1,$$

$$= \frac{\Delta_{ii}}{\Delta} \cdot \frac{\prod_i \beta_i}{\prod_{j \neq i} \beta_j} - 1,$$

$$\text{ou : } \text{FB}'_i = M_i \cdot \beta_i - 1 = M_i (1 - a_{ii}) - 1.$$

