

Coûts de transport dans certains modèles d'équilibre économique spatial

J. H. KUIPER

Université Erasme — Rotterdam

1. INTRODUCTION

Cette étude est centrée sur la prise en compte des coûts de transport dans certains modèles d'équilibre économique spatial. Alors que les coûts de transport jouent un rôle important dans ces modèles, les façons dont ils sont introduits et dont ils sont déterminés et calculés, diffèrent substantiellement. Les modèles utilisés sont deux modèles d'équilibre économique spatial très généraux, le modèle classique de Lösch et celui de Tinbergen-Bos.

2. EQUILIBRE ECONOMIQUE SPATIAL SELON LOSCH

Dans Paelinck et Nijkamp (1975, chapitres 2 et 3) divers développements sont consacrés aux équilibres économiques spatiaux selon Lösch et selon Tinbergen-Bos. Depuis la parution de cette étude, certaines propriétés théoriques et numériques de ces systèmes ont été plus particulièrement étudiées.

Comme indiqué dans l'ouvrage cité, Lössch a été le premier à introduire des éléments spatiaux dans un modèle d'équilibre économique général ; il ne s'agissait cependant que d'une première tentative pour les trois raisons suivantes :

1. Lössch s'est borné à indiquer les conditions nécessaires pour un équilibre économique spatial, sans intégrer celles-ci dans un modèle explicite.
2. Il suppose des fonctions de demande, des coûts de transport et des coûts de production donnés, alors que dans un système général d'équilibre économique spatial les tarifs de transport, les coûts de production ainsi que le comportement des usagers devraient être expliqués dans le modèle.
3. Finalement il ne décrit les équilibres que sur des marchés de produits finaux, la base du raisonnement étant des "usines intégrées" transformant des matières premières universellement disponibles en produits finaux.

Avec des fonctions données de demande pour des produits finaux, des coûts de transport donnés et une structure de production donnée, il y aura selon Lössch un équilibre dans une économie concurrentielle si un certain nombre de conditions sont satisfaites.

Les inconnues du système d'équations sont :

- a) le nombre de producteurs par branche d'activité (I) ;
- b) les coordonnées des localisations de ces producteurs (2J) ;
- c) les prix-usine de tous les produits (J) ;
- d) les surfaces des aires de marché de chacun des producteurs (J) ;
- e) les frontières de ces aires (N).

La superficie totale de l'aire d'étude et les coûts unitaires de transport sont exogènes au système.

Comme il y a autant d'équations que d'inconnues ($4J + I + N$), le système pourrait en principe avoir une solution. L'existence d'une solution unique n'est cependant pas garantie : en effet, le système est dans la plupart des cas non-linéaire, ce qui implique la possibilité de solutions inexistantes, de solutions multiples, et pas nécessairement économiquement interprétables.

De plus -- autre raison de complexité -- le nombre de producteurs par branche (I) est une valeur entière ; étant donnée une demande strictement positive pour chaque produit, il faudra au moins un producteur pour chaque branche d'activité, mais au départ de l'exercice leur nombre définitif est inconnu. Ceci montre le caractère encore abstrait des conditions lösschiennes pour un équilibre économique spatial général.

Paelinck e.a. (1982) présente un certain nombre de spécifications du système de Lössch en recourant à des hypothèses simplificatrices, mais en généralisant en même temps l'hypothèse

löschienne de produits uniquement finaux. Ceci débouche sur un modèle où la totalité du revenu est dépensé en produits finaux, mais où ce revenu est devenu une variable endogène ; en effet, l'on constate que les producteurs de matières premières sont en même temps des consommateurs dont le revenu dépend des quantités de matières premières produites et de leurs prix. Ces matières premières sont transformées à partir de produits intermédiaires qui, comme les produits finaux, sont strictement localisés.

Les critiques de ce genre de spécification explicite du modèle löschien peuvent être multiples, mais un tel exercice permet au moins d'étudier les conditions sous lesquelles un équilibre löschien peut être calculé, notamment en fonction du nombre de producteurs de produits intermédiaires et finaux. Une des limites de cette approche -- jusqu'à présent -- tient à la forme de l'aire de référence, à savoir un cercle, utilisée à cause des facilités d'intégration ; on aurait pu envisager également de recourir à des hexagones classiques. En outre les tarifs de transport restent exogènes, alors qu'ils devraient être, par exemple, fonction du volume total transporté.

La principale conclusion est que le système de Lösch constitue un point de départ pour l'analyse des systèmes spatiaux d'équilibre économique, mais que des recherches supplémentaires restent nécessaires. Alors que le modèle de Lösch ne permet de tirer aucune conclusion générale quant aux propriétés spatiales de ces systèmes, l'approche de Tinbergen-Bos offre au contraire à cet égard une issue. Cette approche sera donc présentée ci-après avec une tentative de généralisation.

3. SYSTEMES DE TINBERGEN-BOS

3.1. Introduction aux modèles de Tinbergen-Bos

Ces modèles d'analyse générale de localisation incluent de nombreux éléments : des secteurs multiples, des centres de production multiples et des aires de marché multiples. Ils conduisent à une dispersion optimale des centres de production basée sur une minimisation des coûts de transport. Un centre de production, par définition, est un point dans l'espace où un ou plusieurs produits sont fabriqués ; le système de centres génère tous les produits, et un centre peut être caractérisé par une activité économique (localisation séparée) ou par plusieurs activités économiques (localisation jointe ou concentrée). Le système d'équilibre spatial optimal est trouvé par voie de minimisation des coûts de transport entre ces centres, et entre ceux-ci et le secteur agricole ; pour calculer ces coûts, il faut connaître :

- la localisation des centres ;
- les volumes des flux de produits entre ces centres ;
- les distances entre ces centres.

Dans les modèles généraux de Tinbergen-Bos un certain nombre d'hypothèses sont introduites ; en utilisant des conditions d'équilibre pour les balances commerciales entre les centres, ainsi que des équations de revenu et de production pour ces centres, il est possible

d'exprimer les volumes locaux transportés entre centres en termes d'une variable exogène : Y , le revenu national. Un problème qui reste à résoudre est celui de la localisation des centres, ainsi que celui de leurs distances relatives ; une solution consiste dans l'utilisation d'une métrique discrète définie comme :

$$d_D(x,y) = \begin{cases} 0, & x = y \\ 1, & x \neq y \end{cases}$$

où x et y sont des localisations de centres. En utilisant cette métrique, on se dispense de la connaissance de la localisation exacte des centres ; seule la valeur des flux de produits entre centres est importante, ce qui permet de calculer la valeur totale des coûts de transport comme :

$$T = \sum_{i=1}^I \theta_i E_i,$$

où E_i représente les quantités transportées de produits du secteur i , θ_i est le coût unitaire de transport, I étant le nombre de secteurs. La production industrielle dans les modèles de Tinbergen-Bos a lieu dans le cadre d'une structure productive organisée hiérarchiquement : pour chaque secteur une production optimale est réalisée par des firmes de taille \bar{Y}_i , le nombre de ces firmes nécessaire pour produire la demande totale du produit i , n_i , étant supposé être entier ; l'on suppose de plus que :

$$n_1 > n_2 > \dots > n_I$$

le secteur I ayant "le rang le plus élevé" et $n_I = 1$. Les centres de production sont caractérisés par le secteur du rang le plus élevé présent dans un centre ; une hypothèse classique dans les modèles de Tinbergen-Bos est que le commerce entre centres de même rang est exclu.

Une hypothèse importante dans ces modèles concerne la taille des unités de production ; la taille optimale est notée \bar{Y}_i , et le nombre total d'unités de production requis pour produire Y_i (dérivé de Y , exogène) est calculé comme :

$$n_i = \frac{Y_i}{\bar{Y}_i}$$

chaque centre de production ne contenant qu'une seule unité (ou établissement) du secteur de plus haut rang. Une hypothèse particulière, introduite par Tinbergen, et concernant le nombre de centres, est que chaque centre, caractérisé par son secteur du rang le plus élevé, contient également tous les secteurs de rang moindre ; les deux hypothèses ensemble sont appelées des hypothèses hiérarchiques et conduisent à des systèmes dits "de Tinbergen".

Dans les modèles de Tinbergen-Bos un certain nombre d'autres hypothèses concernant le commerce entre centres et la balance commerciale sont présentes ; ces hypothèses ne sont pas discutées ici car la présente étude ne porte que sur le nombre possible de centres et la composition de chaque centre dans une situation optimale.

3.2. Impact de l'usage de métriques discrètes

Un équilibre économique peut être défini comme une situation où la demande égale l'offre de biens et de services sur un ou plusieurs marchés ; un équilibre économique spatial est alors défini comme une situation dans laquelle sur tous les marchés spatiaux l'offre égale la demande, les localisations des producteurs et des consommateurs étant déterminées.

Dans Kuiper-Paelinck (1984) ont été présentés, d'une part une solution générale d'un modèle de Tinbergen-Bos, d'autre part un certain nombre de propositions concernant des solutions optimales. Une conclusion générale de cette contribution était que des solutions optimales révélaient toujours un système de centres "complets" (contenant toutes les activités) qui minimise la somme des coûts de transport. Ce même document insistait sur la nécessité d'une généralisation de l'exercice présenté dans deux directions : l'introduction de métriques autres que discrètes, et le calcul d'une structure de localisation des centres.

Comme on l'a vu, l'usage d'une métrique discrète implique la minimisation d'une fonction ne contenant que des flux de produits entre centres ; pour cela il faut minimiser les flux globaux de transport, donc le nombre de centres, étant entendu que les transports à l'intérieur d'un centre ne génèrent pas de coûts de transport. Le résultat en est un système de centres "complets" ou "concentrés", limitant les coûts de transport aux flux entre les centres et le secteur agricole. Mais en termes de métriques discrètes, une pareille structure peut impliquer un réseau routier d'une longueur considérable pour ces genres de transport ; d'où l'intérêt d'introduire d'autres métriques, ce qui sera étudié ci-après, avec l'analyse de l'influence de telles variables sur le système de centres optimal.

3.3. Autres métriques dans les modèles de Tinbergen-Bos

Pour calculer des coûts de transport, l'on doit connaître :

- la localisation des centres,
- donc les distances entre ces centres, et
- les volumes de flux de produits entre centres.

L'usage d'autres métriques que des variables discrètes implique l'introduction d'une structure spatiale des centres sur une aire donnée ; les centres de production doivent être localisés et les distances (éventuellement moyennes) entre différentes localisations calculées sur la base de métriques appropriées (euclidiennes ou rectangulaires). Toutes choses égales par ailleurs, des valeurs élevées de ces distances ont pour conséquence des coûts de transport élevés, de même que des valeurs élevées de quantités transportées ; pour calculer ces grandeurs, il faut introduire de nouvelles hypothèses.

H1 : toutes les activités du système ont lieu sur une surface carrée $a \times a$; cette hypothèse est introduite car une telle aire peut être divisée aisément en sous-carrés.

Pour formuler l'hypothèse suivante, les symboles ci-dessous doivent être introduits :

E_i^k exportations totales du produit i par tous les centres de type k ;

$E_i^{kk'}$ exportations totales du produit i de tous les centres de type k vers tous les centres de type k' ($k'=0,1,\dots,K$) ;

n^k nombre de centres de type k ;

n_i^k nombre de firmes du secteur i dans un centre de type k .

H2 : à tout centre de production k correspond une partie égale de l'aire totale étudiée ; donc s'il y a n^k centres, chaque centre aura besoin d'une surface carrée de :

$$\frac{a}{\sqrt{n^k}} \cdot \frac{a}{\sqrt{n^k}} = \frac{a^2}{n^k}$$

Cette hypothèse est fondée sur l'idée que des secteurs de rang élevé ont besoin d'une surface suffisamment large, pour trouver à la fois assez d'inputs pour leurs productions et assez de centres et de consommateurs pour vendre leurs produits. A l'inverse, la production de secteurs de rang peu élevé n'a besoin que d'une petite aire parce qu'elle est moins spécialisée et a donc besoin de moins d'inputs cependant que les produits de ces secteurs sont vendus directement aux consommateurs.

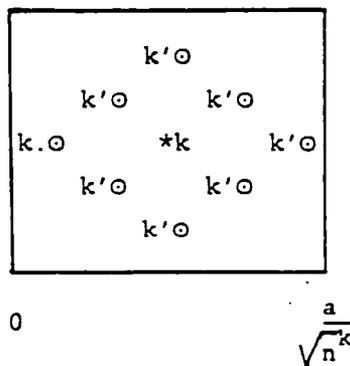
L'aire totale peut être divisée en un nombre de carrés correspondant à chacun des centres qui aura été défini ; ces centres sont ordonnés, et le rang d'un centre est déterminé par le rang du secteur du plus haut rang présent dans ce centre. Dans chaque carré, correspondant aux centres de type k, se localisent également un nombre de centres de rang inférieur ; si $n^{k'} > n^k$, on aura :

$$\frac{\frac{a^2}{n^k}}{a^2} = \frac{n^{k'}}{n^k}$$

centres de type k' localisés dans le carré

$$\left[\sqrt{\frac{a}{n^{k'}}} \times \sqrt{\frac{a}{n^k}} \right]$$

Figure 3.1
Carré d'un centre de type k



Si l'on suppose que le secteur i est représenté dans des centres de type k et que i est exporté vers des centres de type k', le flux total de produits dans le système est $E_i^{kk'}$.

Une dernière hypothèse concerne le calcul des distances entre centres de production :

H3 : la distance entre centres de type k et k' (localisés dans le carré) égale la valeur attendue de la distance entre un point dans le centre du carré et un nombre de points localisés au hasard à l'intérieur de ce carré ; si l'on considère des distances rectangulaires, cette valeur attendue est :

$$\frac{1}{2} \frac{a}{\sqrt{n^k}}$$

et de façon plus générale

$$\sqrt{\frac{c \cdot a}{n^k}}$$

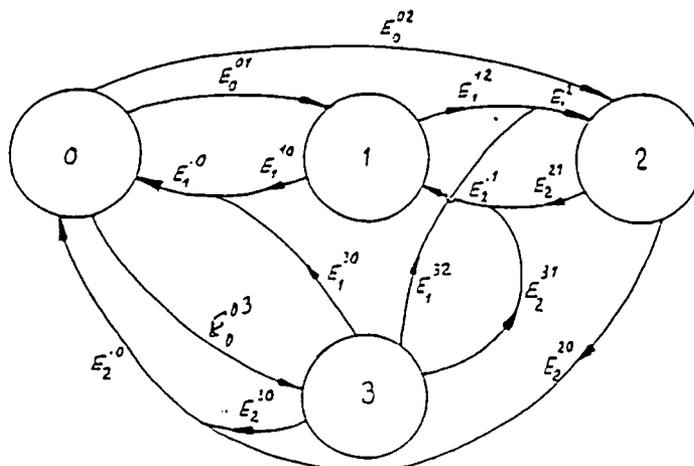
c étant une constante dépendant de la métrique utilisée (Kuiper, 1987).

3.3. Une structure de localisation des centres de production

Supposons qu'il y ait 2 secteurs industriels, le secteur 1 et le secteur 2 ; n_2 firmes produisent le produit 2, n_1 le produit 1. Le secteur 0 est le secteur agricole. La production a lieu dans une surface carrée ($a \times a$).

Il y a trois types différents de centres k ; $k = 0$ est le secteur agricole distribué de façon homogène sur l'aire de référence ; $k = 1$ est un centre où le produit 1 est produit, $k = 2$ celui où seul ce produit 2 est présent ; finalement $k = 3$ représente un centre où à la fois les industries 1 et 2 sont localisées. Les quantités $E_1^{kk'}$ peuvent être schématisées de la manière suivante :

Figure 3.2
Flux de produits



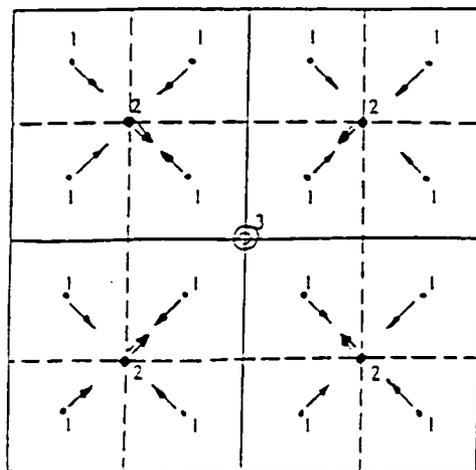
Afin de minimiser les coûts de transport d'un système de centres, la localisation des centres devrait être connue. Si l'on ne considère qu'une surface carrée, la localisation optimale d'un centre de production est supposée se trouver au centre de ce carré ; si l'on considère un nombre plus élevé de carrés, la localisation optimale des centres peut se trouver quelque peu éloignée du centre de leurs carrés respectifs. Parfois la localisation optimale a tendance à se situer vers le centre de l'ensemble des carrés, il y a alors une tendance à la concentration ; dans d'autres cas, les coûts de transport se trouvent minimisés si tous les centres de production sont localisés au centre de chaque carré individuel, il y a alors tendance à la déconcentration.

Dans les systèmes de Tinbergen-Bos il existe une hiérarchie de centres de production ; il est possible de trouver une solution optimale pour laquelle les centres au bas de la hiérarchie montrent une tendance à la déconcentration, se localisant ainsi dans les régions périphériques, les centres de rang élevé se concentrant au contraire dans les régions centrales. La structure de localisation optimale dépendra d'un certain nombre de variables, la grandeur de l'aire de référence, la valeur des flux de produits et le nombre de firmes semblant être les plus importantes.

Afin de calculer des structures optimales de localisation, la localisation de chacun des centres de production devrait être variable ; cela veut dire que l'on doit trouver pour les coûts de transport depuis les centres, une expression qui contienne les coordonnées des centres comme variables.

Dans la figure 3.3 un exemple de structure de localisation est représenté :

Figure 3.3
Exemple de structure de localisation



Il y a des coûts de transport entre tous les centres ; les coûts entre 0 et 1 sont minimisés si le centre de type 1 est localisé au milieu du carré :

$$\sqrt{\frac{a}{n}} \times \sqrt{\frac{a}{n}} ;$$

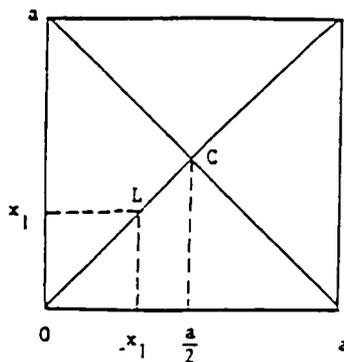
Cependant, si ce centre se déplace dans la direction des centres de type 2, les coûts des transports entre les deux centres vont décroître et les coûts de transport entre le secteur 0 et les centres de type 1 augmenter. Ceci vaut également si l'on considère les centres de type 2 et 3 ; les centres de type 2 peuvent se déplacer dans la direction des centres de type 3.

On suppose que des changements dans la localisation des centres de type 1 n'affectent pas les coûts de transport entre les centres de type 3 et 1.

La localisation des centres de type 1 et 2 devrait être déterminée en minimisant les coûts de transport totaux. Si l'on suppose que les localisations des deux types de centres se trouvent quelque part sur la diagonale du carré auquel ils appartiennent (figure 3.3), la distance attendue d'un point sur cette ligne à tous les points localisés à l'intérieur du carré ($a \times a$) est :

$$E_c = a - 2x_1 + \frac{2x_1^2}{a} \quad (\text{Kuiper, 1987}) \quad (3.4.1)$$

Figure 3.4
Localisation d'un centre sur une diagonale



Si le centre de production se déplace du point C vers L (figure 3.4), la distance entre ce centre et le suivant va décroître de $2(\frac{1}{2a} - x_1)$ si l'on considère des distances rectangulaires ; par ailleurs la

distance attendue de ce centre à tous les points localisés à l'intérieur du carré augmentera de :

$$a - ax_1 = \frac{2x_1^2}{a} - \frac{1}{2a} = \frac{1}{2a} - 2x_1 + \frac{2x_1^2}{a} \quad (3.4.2)$$

3.5. Résultats des calculs

Dans Kulper (1988) ont été décrites les équations qui doivent être résolues afin de déterminer les coûts de transport dans un système de Tinbergen-Bos. Les solutions doivent révéler le nombre de centres de chaque type, les coûts totaux de transport et la localisation de chaque centre. Le nombre de solutions réalisables est limité parce que le nombre optimal des centres de chaque type est supposé avoir une valeur entière. Comme il était difficile de trouver les solutions d'une façon analytique, on a procédé à un certain nombre de simulations.

Le point de départ est le choix des valeurs pour certains paramètres ; ces valeurs concernent :

- la taille de l'aire (a),
- les flux de produits (E),
- le nombre de firmes (n_1, n_2).

Cinq simulations différentes seront présentées ; elles font apparaître un nombre croissant de firmes dans le secteur 2, combiné avec dix firmes du secteur 1. Les coûts de production de chaque système réalisable ont été calculés et sont reproduits dans les tableaux 3.5.1 à 3.5.5.

Dans chaque simulation les données suivantes ont été utilisées :

$$a = 100$$

$$E_{01} = 100 \quad E_{10} = 20 \quad E_{20} = 10$$

$$E_{02} = 10 \quad E_{12} = 10 \quad E_{21} = 20$$

$$E_{03} = 10$$

Tableau 3.5.1

I $n_1 = 10$ $n_2 = 1$

	n^1	n^2	n^3	n_1^3	Coûts de transport	Type de système
	0	0	1	10	3 500	CENTRALISATION
	1	0	1	9	3 954)
	3	0	1	8	3 705)
	4	0	1	7	3 528)
	5	0	1	6	3 372)
	6	0	1	5	3 225)
	6	0	1	4	3 082)
	7	0	1	3	2 942)
	8	0	1	2	2 803)
	9	0	1	1	2 664)
	10	1	0	0	2 500	DECENTRALISATION

Tableau 3.5.2

II $n_1 = 10$ $n_2 = 2$

	0	0	2	5	2 475	CENTRALISATION
	0	1	1	10	3 800	
	1	1	1	9	3 840	
	2	0	2	4	2 767	
	2	1	1	8	3 812	
	3	1	1	7	3 769	
	4	0	2	3	2 522	SYSTEME DE TINBERGEN
	4	1	1	6	3 715	
	5	1	1	5	3 653	
	6	0	2	2	2 320	SYSTEME DE TINBERGEN
	6	1	1	4	3 585	
	7	1	1	3	3 511	
	8	0	2	1	2 129	SYSTEME DE TINBERGEN
	8	1	1	2	3 433	
	9	1	1	1	3 350	
	10	2	0	0	1 767	DECENTRALISATION

Tableau 3.5.3

III	$n_1 = 10$		$n_2 = 3$		Coûts de transport	Type de système
	n	n^2	n^3	n_1^3		
	1	0	3	3	2 538	CONCENTRATION
	4	0	3	2	2 146	
	7	0	3	1	1 906	SYSTEME DE TINBERGEN
	10	3	0	0	1 443	DECENTRALISATION

Tableau 3.5.4

IV	$n_1 = 10$		$n_2 = 4$		Coûts de transport	Type de système
	n	n^2	n^3	n_1^3		
	0	2	2	5	2 687	CONCENTRATION
	2	0	4	2	2 105	
	2	2	2	4	2 734	
	4	2	2	3	2 697	
	6	0	4	1	1 782	SYSTEME DE TINBERGEN
	8	2	2	1	2 497	
	10	4	0	0	1 250	DECENTRALISATION

Tableau 3.5.5

V	$n_1 = 10$		$n_2 = 5$		Coûts de transport	Type de système
	n	n^2	n^3	n_1^3		
	0	0	5	2	1 565	CONCENTRATION
	0	3	2	5	2 543	
	0	4	1	10	3 076	
	1	2	3	3	2 538	
	1	4	1	9	2 467	
	2	1	4	2	2 576	
	2	3	2	4	2 430	
	2	4	1	8	2 572	
	3	4	1	7	2 568	
	4	2	3	2	2 448	
	4	3	2	3	2 399	
	4	4	1	6	2 526	
	5	0	5	1	1 705	SYSTEME DE TINBERGEN
	5	4	1	5	2 464	
	6	1	4	1	2 569	
	6	3	2	2	2 318	
	6	4	1	4	2 390	
	7	2	3	1	2 358	
	7	4	1	3	2 306	
	8	3	2	1	2 213	
	8	4	1	2	2 215	
	9	4	1	1	2 119	
	10	5	0	0	1 118	DECENTRALISATION

3.6. Conclusion des simulations

1. Le nombre de solutions réalisables est fortement limité à cause de la restriction découlant de la nécessité d'une valeur entière. Pour chaque solution on doit avoir :

$$n_1 = n^1 + n^3 n_1^3 \quad (3.6.1)$$

et

$$n_2 = n^3 + n^2 \quad (3.6.2)$$

A cause de cela les nombres de solutions dans chaque simulation diffèrent fortement et sont hautement influencés par les valeurs de retenues pour n_1 et n_2 . La simulation III ne montre que quatre solutions réalisables, la simulation V vingt-trois !

2. En général on trouve des coûts de transport faibles lorsque le nombre de centres de type 2 est minimal (0) ou dans le cas où le système est complètement déconcentré. Les systèmes ne contenant que des centres de type 1 et 3 sont appelés systèmes de Tinbergen.
3. La simulation I ne montre que des systèmes de Tinbergen et des systèmes extrêmes de complète déconcentration ou concentration. Le nombre total de centres (de différents types) s'accroît dans ce tableau de un à onze.

Des coûts faibles s'observent dans un cas assez décentralisé qui combine neuf centres séparés de type 1 avec un centre de type 3, centre concentré qui ne contient qu'une firme de type 2 combinée avec une firme de type 1.

Les systèmes de Tinbergen font ressortir des coûts de transport plus faibles au fur et à mesure que s'accroît le nombre de localisations séparées de firmes de type 1.

Cette simulation révèle des coûts faibles pour des systèmes plus déconcentrés, une conclusion intéressante quand on la compare à celle relative aux solutions optimales des systèmes classiques de Tinbergen-Bos utilisant une métrique discrète.

Tous les systèmes déconcentrés, donc des systèmes sans centres de type 3, révèlent de faibles coûts de transport ; cependant il faut être prudent dans l'interprétation de ces chiffres, car les distances entre les localisations de centres de type 1 et 2 ont tendance à devenir très petites dans ces solutions. Cela veut dire que les systèmes déconcentrés montrent une tendance à la concentration ; un calcul pour le cas déconcentré avec localisation fixe des centres de type 1 et 2 serait utile.

4. Une solution satisfaisante trouvée dans la deuxième simulation est un système assez déconcentré avec huit centres séparés de type 1, et deux de type 3, chacun ne contenant qu'une firme du secteur 1.

Les conclusions concernant les systèmes de Tinbergen du tableau 3.5.1 sont également valables dans ce cas-ci. Leur nombre est décroissant mais si l'on regarde les quatre systèmes qui restent, on retrouve de faibles coûts de transport dans les systèmes déconcentrés. Toutefois le cas concentré aussi bien que le déconcentré montrent des coûts de transport faibles.

Le nombre de centres différents s'accroît de deux à douze. Des valeurs élevées pour les coûts de transport se rencontrent si le nombre de firmes du secteur 1 localisées dans des centres de type 3 est relativement élevé ; le cas de la concentration complète semble à cet égard une exception. D'une manière générale, les coûts de transport trouvés demeurent relativement faibles.

5. La simulation III révèle un nombre très limité de solutions réalisables ; des coûts faibles sont trouvés dans une solution comportant sept centres de type 1 et trois de type 3, chaque centre étant égal aux "meilleurs" centres de ce type rencontrés dans les simulations précédentes. La solution avec la concentration de tous les secteurs dans un centre est celle qui implique les coûts les plus élevés dans ce type de simulation.
6. La simulation IV montre huit solutions réalisables, des coûts de transport faibles étant observés dans la solution comportant dix centres différents, six de type 1 et quatre de type 3. A noter que l'autre solution avec dix centres différents, six de type 1, deux de type 2 et deux de type 3, est considérablement plus coûteuse (2597 contre 1782) ; la façon dont les firmes des secteurs sont organisées et localisées dans les centres semble avoir une forte influence sur la valeur des coûts de transport.

Les coûts les plus bas se trouvent dans les systèmes décentralisés où dix centres de type 1 combinés avec quatre centres de type 2 constituent un système réalisable.

7. Les trois premières simulations avec dix firmes du secteur 1, et respectivement une, deux et trois firmes du secteur 2, révèlent les coûts de transport les plus bas pour un nombre relativement élevé de centres séparés, spécialement de type 1. La simulation IV (dix firmes du secteur 1 et quatre du secteur 2) fait ressortir des coûts de transport faibles lorsque le nombre de centres est plus proche de sa valeur moyenne. La solution optimale semble se déplacer dans la direction d'un nombre moins élevé de centres différents ; les centres de type 3 montrent toujours la même structure, à savoir une firme du secteur 2 et une firme du secteur 1, mais il y a relativement plus de centres de ce type dans la solution.
8. La dernière simulation (tableau 3.5.5) révèle aussi une bonne solution (1705) pour un système comprenant un nombre relativement peu élevé de centres différents. Dans cette solution le nombre de

centres de type 1 égale le nombre de centres de type 3 (cinq) ; ce système représente le seul système de Tinbergen réalisable. Cependant, les meilleures solutions se trouvent dans les cas extrêmes, la déconcentration et la concentration complètes.

9. Il y a de nombreuses solutions réalisables dans ce dernier cas étudié ; il est donc possible d'obtenir ainsi plus d'informations détaillées sur la relation entre coûts de transport et structures des systèmes. Les meilleures solutions se trouvent toujours en l'absence de centres d'un type ou l'autre ; quand on considère des systèmes comportant des centres des trois types, les meilleures solutions se trouvent lorsque le nombre de centres est relativement élevé (dans ce cas neuf centres de type 1, quatre centres de type 2, et un centre de type 3, les coûts de transport se montant alors à 2 119).
10. Les distances entre centres deviennent plus petites (donc leurs localisations changent) si le volume de produits à transporter entre ces centres augmente. Si le nombre de centres de type 2 augmente, le fait de garder constant le nombre de centres de type 1 a pour conséquence que la localisation de ces derniers se déplace dans la direction des centres de type 2. Si le nombre de ces derniers est relativement élevé, ils tendent à se déplacer vers le centre de l'aire de référence (avec les centres de type 1 à leur traîne) avec pour conséquence une tendance à la concentration spatiale.

4. CONCLUSIONS GENERALES

1. Dans les systèmes spatiaux d'équilibre économique général introduits par Lösch, les coûts de transport sont exogènes ; les modèles de Tinbergen-Bos conduisent à des systèmes minimisant ces coûts, ce qui rend ces modèles plus intéressants.
2. Dans les modèles de Tinbergen-Bos, des systèmes optimaux de centres de production sont dégagés à partir du critère de minimisation des coûts de transport. L'usage -- à l'origine -- d'une métrique discrète présente un certain nombre d'avantages :
 - aucune localisation précise des centres n'est nécessaire ;
 - aucune partition spatiale de l'espace n'est nécessaire ;
 - l'espace est représenté d'une façon très simple : il consiste en deux points différents ;
 - le calcul des coûts de transport est relativement simple : seuls comptent les volumes transportés d'un centre à l'autre.
3. Cependant des inconvénients sont attachés à ce choix :
 - la représentation simplifiée de l'espace (deux points différents) exclut la possibilité de tirer un certain nombre de conclusions réalistes concernant l'organisation des centres de production dans l'espace, et mène à un nombre très limité de "bonnes" solutions (solutions optimales) ;

- la meilleure solution est fortement orientée dans la direction de la concentration : si des firmes se concentrent en un seul point, les coûts de transport sont automatiquement annulés, seuls comptant les transports de et vers l'agriculture, avec des coûts proportionnels au volume acheminé.
4. L'usage d'autres métriques présente lui aussi un certain nombre d'inconvénients :
- afin de calculer les coûts de transport, il faut connaître les coordonnées des centres ;
 - il est nécessaire de définir des structures régionales afin d'indiquer la taille des entreprises ;
 - il est nécessaire d'explicitier depuis et vers quels centres les produits sont acheminés afin de pouvoir calculer les distances et les coûts de transport correspondants ;
 - afin de trouver des solutions réalistes, il faut indiquer comment les localisations des centres peuvent changer en fonction des valeurs des flux de produits et des distances aux autres centres ;
 - le calcul des coûts de transport devient difficile ; des solutions exactes ne peuvent être calculées analytiquement, il faut donc procéder à des simulations afin de trouver de bonnes solutions, ce qui rend les conclusions conditionnelles.
5. Les avantages de l'usage d'autres métriques sont les suivants :
- un certain nombre de "bonnes" solutions différentes peuvent être calculées, révélant une variété de systèmes de Tinbergen-Bos ;
 - il est possible de déterminer de façon plus précise l'influence de la structure de localisation sur les coûts de transport ;
 - il est possible d'étudier l'influence de la valeur des flux de produits transportés entre deux centres sur leurs localisations optimales.
6. Le calcul des coûts de transport à l'aide de distances rectangulaires et de distances moyennes sur des carrés, ainsi que la façon de construire des structures de localisation, conduisent à des "bonnes" solutions comportant des types de centres différents. Si le nombre de ces centres est élevé, les distances moyennes deviennent petites. De grosses concentrations ne sont pas "profitables" dans ce cas. On note également une tendance à remplir l'espace avec des centres de taille plus ou moins égale.
7. Par ailleurs, si toutes les activités sont concentrées en un seul point -- le cas de la concentration parfaite -- les coûts de transport existent seulement entre ce centre unique et l'agriculture ; si le volume à transporter pour l'agriculture est faible, la concentration peut s'avérer optimale.

8. La conséquence des remarques 5 et 6 est que des solutions optimales sont souvent trouvées dans des situations extrêmes, concentration ou déconcentration complètes.
9. Des solutions de concentration intense combinée avec un nombre de centres plus petits font souvent apparaître des coûts de transport élevés. De moindres coûts peuvent se rencontrer si les firmes localisées dans les grosses concentrations, en particulier les firmes de rang inférieur, quittent ces concentrations pour se localiser de façon séparée.
10. Les tendances générales qui se dégagent des modèles spatiaux théoriques d'équilibre économique général introduits par Tinbergen et Bos, doivent être testées empiriquement. La hiérarchie des centres et leur distribution dans l'espace devraient être mesurées et comparées aux résultats d'autres modèles. Il serait peut-être utile de raffiner le modèle, par exemple en introduisant des localisations de consommateurs, des spécialisations dans les produits agricoles, des structures alternatives de localisation des centres, d'autres indicateurs de distance, des coûts d'établissement des centres ou des coûts externes, des tarifs modulés de transport... Certains de ces raffinements sont faciles à introduire, d'autres le sont plus difficilement.

En tout cas, l'exercice présenté ci-dessus avec l'introduction d'un indicateur de distance différent de celui utilisé dans les modèles initiaux, conduit à un élargissement du champ des solutions réalisables, et montre clairement les possibilités intéressantes offertes par l'approche de Tinbergen-Bos.

5. REFERENCES

- Kuiper, J.H. and Paelinck, J.H.P., "Tinbergen-Bos Systemes Revisited", in J.M. Pillu and R. Guesnerie, "Modèles Economiques de la Localisation et des Transports", ENPC, Paris, 1984, pp. 117-140.
- Paelinck, J.H.P. and Nijkamp, P., "Operational Theory and Method in Regional Economics", Saxon House and Lexington, Farnborough and Massachusetts, 1975.
- Paelinck, J.H.P. (with the assistance of J.-P. Ancot and J.H. Kuiper), "Formal Spatial Economic Analysis", Gower Publishing Company, Aldershot, 1982.
- Kuiper, J.H., "Transportation Costs in Tinbergen-Bos Systems", paper presented at the DELTA-seminar 1987, Louvain-la-Neuve, March 1987.
- Kuiper, J.H., "Location Patterns in Tinbergen-Bos Systems", Revue d'Economie Régionale et Urbaine, n° 1, 1988, pp. 29-50.