



**HAL**  
open science

## **Théorie des graphes et interactions non gravitaires**

Jean-Luc Bonnefoy, Denise Pumain, Céline Rozenblat

► **To cite this version:**

Jean-Luc Bonnefoy, Denise Pumain, Céline Rozenblat. Théorie des graphes et interactions non gravitaires. Jean-Pierre Bocquet-Appel, Daniel Courgeau et Denise Pumain. Spatial Analysis of Biogeographic data, John Libbey et INED, pp.171-186, 1996. halshs-01625467

**HAL Id: halshs-01625467**

**<https://shs.hal.science/halshs-01625467>**

Submitted on 27 Oct 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

# Théorie des graphes et interactions non gravitaires

Jean-Luc BONNEFOY\*, Denise PUMAIN\*\*, Céline ROZENBLAT\*\*\*

---

## Introduction

Les interactions spatiales, qui se concrétisent par des échanges de biens, de personnes et de services, sont les reflets des systèmes spatialisés. Une part souvent importante de ces flux suit une logique que l'on peut appeler gravitaire. Le modèle de gravité « permet d'estimer les flux qui seraient échangés par les villes s'ils ne dépendaient que de leur population et des distances qui les séparent » (Pumain et Saint-Julien, 1989).

Les écarts au modèle sont souvent interprétés comme des effets spécifiques de préférence ou de barrière entre les lieux dont on explique ensuite les causes par des formes locales d'organisation spatiale issues de facteurs historiques, politiques. Des modèles de gravité des plus « sophistiqués » ont ainsi été construits pour expliquer les flux de manière satisfaisante (Wilson, 1970 ; Cattán et Grasland, 1994).

Entre la logique gravitaire de la polarisation des flux, et les interactions spécifiques dues à des préférences ou à des barrières locales, il y a place cependant pour un troisième type d'explication de la forme de la distribution des échanges dans l'espace. Nous faisons l'hypothèse que certains des écarts au modèle gravitaire forment dans le territoire des configurations spatiales particulières, qui peuvent être mises en évidence par la théorie des graphes. La recherche de configurations types, notamment des relations bilatérales et par extension des « circuits » du graphe, peut apporter

---

\* GIP R.E.C.L.U.S., Université de Pau.

\*\* INED, URA 1243, CNRS et Université Paris I.

\*\*\* GIP R.E.C.L.U.S., Équipe P.A.R.I.S., Université Montpellier III.

un complément d'information au modèle de gravitation. Les configurations non polarisées des échanges révèlent en effet des relations de complémentarité ou de substitution qualitatives entre les lieux. Ces relations complètent ou nuancent la règle principale du fonctionnement des interactions dans l'espace géographique. Des relations non gravitaires ont ainsi pu être observées, dans le cas de la fréquentation des équipements de commerce et de service (Bonnefoy, 1995). On les recherche ici dans l'organisation spatiale d'un marché régional du travail dans les circulations d'actifs entre lieux de résidence et lieux d'emploi.

Dans un premier temps, on ajuste un modèle gravitaire d'interaction aux navettes domicile-travail entre les communes de la région Languedoc-Roussillon. Une seconde phase consiste à déceler les circuits dans le graphe des flux de navettes entre les communes. Enfin, on met en évidence la spécificité des circuits dans l'organisation régionale des flux, analysant les différences entre les communes appartenant ou non à des circuits.

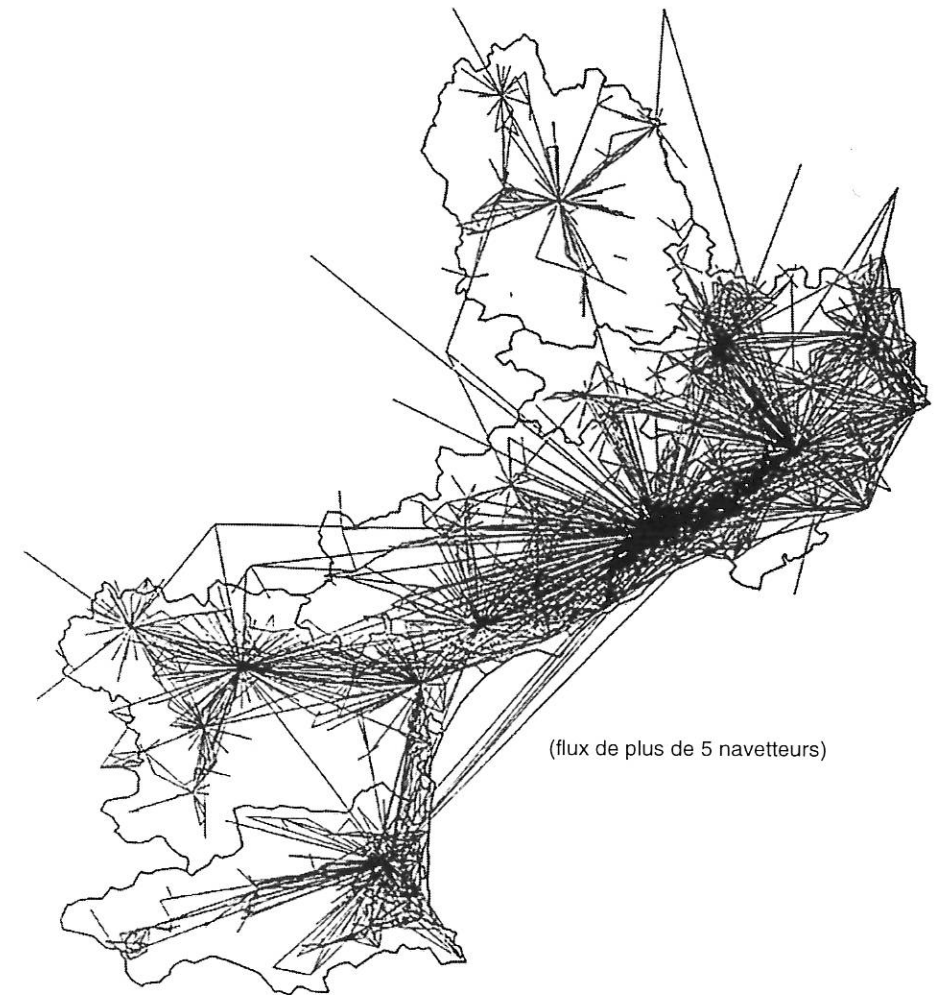
### Un exemple, les navettes quotidiennes de travail

La figure 1 présente le graphe des navettes domicile-travail en Languedoc-Roussillon, limitées aux flux dépassant cinq personnes. Ce graphe montre des « oursins » centrés sur les communes centres d'agglomérations, reliés entre elles par une multitude de liaisons qui soulignent les principaux axes routiers.

Le graphe est composé de relations de dépendances et d'interactions qui expriment à la fois la structure très concentrée de l'emploi dans les agglomérations urbaines, et la dispersion des résidences dans nombre de communes de cet environnement urbain. L'articulation entre ces deux structures, sous la contrainte globale d'une limite du temps consacré aux déplacements quotidiens, donne cette configuration, activant le local et le régional, de relations polarisées sur les plus grands centres urbains.

Ainsi, comme pôles d'emplois ressortent les communes les plus peuplées de la plaine littorale du Languedoc (Montpellier, Nîmes, Sète, Béziers et Narbonne plus faiblement), de la vallée et du delta du Rhône (Avignon, Arles, Orange, Bollène), du Bassin d'Alès, du couloir du Lauragais (d'où n'émergent bien que Carcassonne, et faiblement Castelnaudary, Limoux et Quillan), ou de Lozère (Mende, Marvejols, Langogne, Saint-Chély-d'Apcher, Florac). Perpignan est plutôt à l'écart mais polarise bien son département.

Le graphe souligne bien la concentration des emplois par rapport à celle des résidences dans ce territoire. Les flux sont nombreux dans l'est de la région, de la vallée du Rhône jusqu'à Béziers où existe un réseau dense d'agglomérations de plus de 100 000 habitants, sur un axe majeur de transport qui longe la côte.



@GIP R.E.C.L.U.S., J.L. Bonnefoy, 1995.

Source : I.N.S.E.E., Mirabelle 1990.

Figure 1.- Les navettes domicile-travail dans la région Languedoc-Roussillon en 1990

### Modélisation des flux de navettes

Un modèle gravitaire prenant en compte les populations (soit résidentes, soit actives) des communes de départ et d'arrivée des navettes, et une accessibilité entre les communes, peut être mis en œuvre pour représenter les navettes entre les 1 534 communes du Languedoc-Roussillon. La matrice des échanges domicile-travail comporte beaucoup d'effectifs nuls ainsi que des flux correspondant à la déclaration de résidences secondaires en résidences principales. Nous l'avons réduite aux seules communes émettant ou recevant plus de cinq actifs, soit 1 215 communes de travail et 652 communes de résidence (une part des communes de résidence sont éliminées par ce seuil). Ne considérant que les interactions spatiales, nous n'avons pas pris en compte les actifs travaillant dans leur commune de résidence, soit les flux réflexifs de la matrice. Nous avons donc travaillé sur environ 5 300 couples de lieux échangeant de la main-d'œuvre, ces échanges pouvant très souvent se faire dans les deux sens, étant donné qu'une commune possède souvent à la fois des résidences et des entreprises.

#### Présentation du modèle

Une forme simple du modèle gravitaire a été choisie pour conserver une interprétation facile de sa signification ainsi que de celle des écarts observés. Un modèle prenant en compte le produit des masses de deux lieux en interaction, ainsi qu'une fonction en puissance négative de la distance les séparant, a pu être mis en place par un ajustement log-linéaire (Haynes et Fotheringham, 1988) :

$$F_{ij} = k M_i M_j D_{ij}^{-a}$$

avec :

$F_{ij}$  : nombre de navetteurs de la commune de résidence  $i$  vers la commune de travail  $j$ ,

$M_i$  : masse attribuée au lieu de résidence  $i$ ,

$M_j$  : masse attribuée au lieu de travail  $j$ ,

$k$  : propension moyenne des actifs à travailler dans une autre commune,

$D_{ij}$  : distance de  $i$  à  $j$ ,

$a$  : rugosité moyenne de la distance.

Le choix des masses et de la mesure de la distance, s'il est primordial dans ce type de démarche, sera pourtant un compromis entre les mesures désirées et celles dont nous disposons pour cette étude. Dans le cas des navettes, on peut supposer qu'elles sont fortement dépendantes de masses telles que le nombre d'emplois existant au lieu de travail, ainsi que du nombre d'actifs habitant au lieu de résidence. De telles données n'étant pas disponibles aisément, nous avons plutôt choisi de tester deux types de masses :

— d'une part, l'ensemble des actifs allant travailler à l'extérieur pour les communes de résidence, et l'ensemble des actifs arrivant de l'extérieur pour les communes de travail (soit les sommes en marge de la matrice des navettes) ;

— d'autre part, les populations totales sans double compte des communes en 1990 (PSDC).

Ces dernières masses ont donné le meilleur ajustement, nous les avons donc retenues pour le modèle. En effet, le premier type de masses ne prend pas en compte les actifs travaillant sur place. Or il semble que ce soit l'offre globale de main-d'œuvre locale qui agisse fortement pour déterminer les flux de navettes.

Par ailleurs, le choix de la mesure de la distance a été facilité par la disponibilité de la distance routière dans le fichier MIRABELLE des navettes domicile-travail (INSEE, 1990). Cette distance, si elle ne prend pas en compte la taille, la qualité et l'engorgement des infrastructures qui agissent sur le temps de parcours, semble toutefois plus satisfaisante qu'une simple mesure de distance à vol d'oiseau.

Le modèle qui s'ajuste à la matrice donnée se présente donc sous la forme :

$$F_{ij} = 5 \times 10^{-5} \times PSDC_i \times PSDC_j \times D_{ij}^{-1.7}$$

avec :

$F_{ij}$  : actifs habitant dans la commune  $i$  et travaillant en  $j$ ,

$PSDC_i$  : population résidente sans double compte dans la commune  $i$ ,

$D_{ij}$  : assistance routière entre les communes  $i$  et  $j$ .

L'effet combiné des populations et des distances explique ainsi 55 % des inégalités des flux quotidiens d'actifs entre les communes. Cet ajustement assez satisfaisant semble plus fortement redevable d'un bel effet des distances que des effets de masse, ce qu'atteste une meilleure régression simple. L'accessibilité des communes est ainsi un élément essentiel à leur mise en réseau des échanges quotidiens de main-d'œuvre.

#### Les écarts au modèle gravitaire

Les écarts au modèle de navettes peuvent être observés à partir des flux qui sont sur- ou sous-estimés par le modèle général, mettant en évidence des flux préférentiels ou des effets de barrière entre des communes. Les écarts au modèle peuvent également être cumulés au lieu de résidence ou au lieu de travail pour déterminer des spécificités communales d'attraction ou de répulsion d'actifs.

Le modèle ajuste d'autant plus mal les flux qu'ils sont forts par rapport à l'ensemble. On voit en effet que les flux les plus importants (que s'échangent en général de grosses communes assez proches) sont assez mal représentés par le modèle. Il demeure ainsi une corrélation entre l'importance des flux

et la valeur absolue de leur écart au modèle ( $R^2=18\%$ ). Les plus forts résidus positifs ou négatifs s'observent donc aux abords des grandes villes ou entre les grandes villes telles que Montpellier, Nîmes, Avignon...

Les résidus observés les plus importants sont négatifs. Il s'agit de navettes qui sont inférieures à ce que l'on attendrait si celles-ci suivaient exclusivement la logique du modèle. Les différences correspondent donc à des navettes domicile-travail qui devraient se produire et qui ne le font pas, d'où leur nom d'« effets de barrière » (Pumain, 1986 ; Pumain et Saint-Julien, 1989). Ceux-ci sont visibles non seulement autour des grandes villes, mais aussi entre celles-ci (figure 2). Ce sont des intensités moindres d'échanges qui qualifient certaines communes périphériques, ou les grandes villes, relativement aux échanges moyens régionaux. On peut supposer que, dans le premier cas, les flux peuvent être minorés par l'existence de pôles d'emploi secondaires et que, dans le second, le déficit d'échanges entre les grandes villes traduit la relative fermeture des sous-systèmes urbains dans le marché de l'emploi régional.

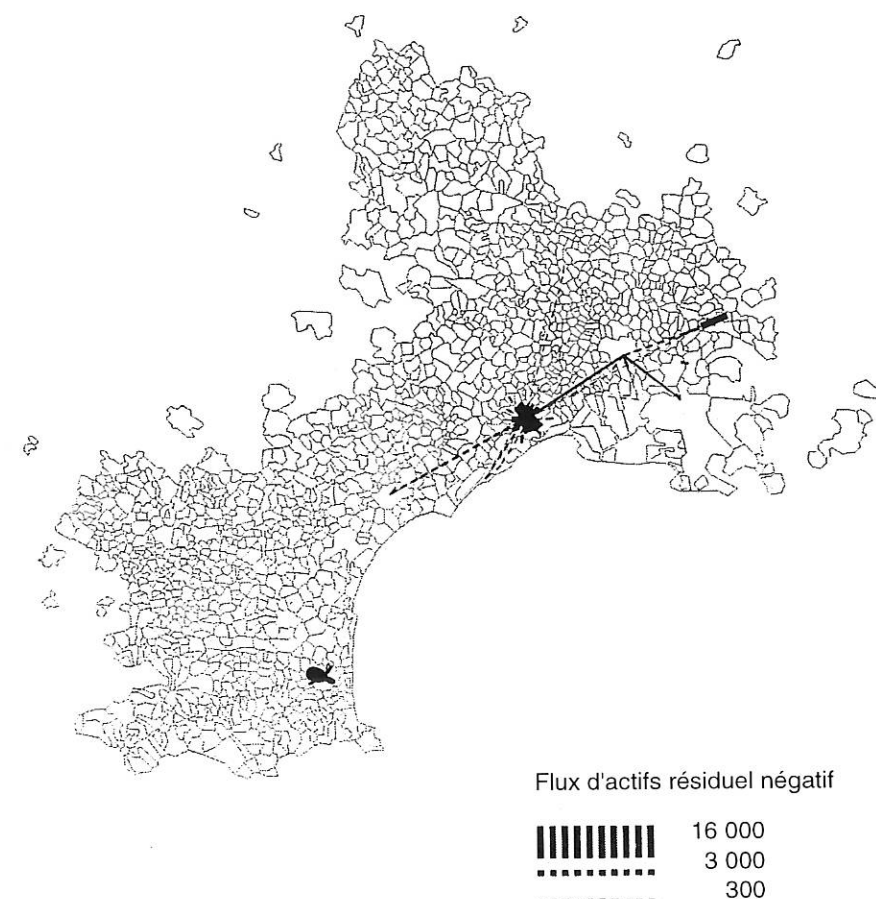
A l'inverse on trouve des résidus positifs. Ceux-ci soulignent des échanges d'actifs supérieurs à ce que le modèle préconise. Ils sont appelés des « échanges préférentiels » (Pumain, 1986 ; Pumain et Saint-Julien, 1989). Ces échanges préférentiels font ressortir les communes-dortoirs, réservoirs de main-d'œuvre, spécialisées dans la fonction résidentielle autour des villes (figure 3).

Les effets préférentiels sont de plus courte distance que les effets de barrière, et n'ont pas du tout la même signification dans le système régional. Ils montrent où se situent les bassins d'emploi particulièrement bien intégrés, tandis que les précédents soulignaient au contraire les limites entre deux sous-systèmes dans le marché régional du travail.

On peut aussi caractériser les communes dont les flux de navetteurs résidents ou employés sont particulièrement mal représentés par le modèle. Dans le premier cas, on appellera la somme des résidus d'une commune de résidence, rapportée à la totalité de ses actifs sortants, l'indice d'« émission » ou de « répulsion » des actifs (Poulain, 1981). Ce sont des communes qui emploient, moins qu'elles ne le devraient leur population active résidente. La représentation spatiale de cet indice montre une forte opposition entre les villes de l'arrière pays, qui ont un fort indice de répulsion, et les villes littorales qui, au contraire, maintiennent davantage leurs propres actifs sur place que la moyenne régionale.

Dans le second cas, on appellera la somme des résidus d'une commune de travail, rapportée à la totalité des actifs entrants, l'indice « d'attraction » des actifs (Poulain, 1981). Dans notre exemple, les indices d'attraction sont peu élevés. Une forte dissymétrie existe entre un grand nombre de communes à attractivité presque nulle, et quelques communes, avec des attractivités négatives. Ces dernières sont principalement les grandes villes littorales, qui pourraient donc, selon le modèle, attirer plus d'employés résidant dans leurs alentours qu'elles ne le font.

L'ensemble des écarts au modèle gravitaire souligne donc le rôle des grands systèmes urbains, face à leur environnement régional, en différenciant des zones plus intégrées par les flux de navetteurs, de celles qui le



@GIP R.E.C.L.U.S., Bonnefoy-Rozenblat, 1995.

Source: INSEE, MIRABELLE, 1990.

Figure 2.- Effets de barrière des navettes domicile-travail entre les communes du Languedoc-Roussillon en 1990

sont moins. Une approche topologique peut compléter cette analyse et la description de l'organisation des sous-systèmes.



@GIP R.E.C.L.U.S., Bonnefoy-Rozenblat, 1995.

Source: INSEE, MIRABELLE, 1990.

Figure 3.— Effets préférentiels des navettes domicile-travail entre les communes du Languedoc-Roussillon en 1990

### Les circuits du graphe des navettes

La modélisation des flux des navettes par un modèle d'interaction, si elle prend en compte une part majoritaire de l'information, laisse apparaître des résidus notables. On peut supposer qu'une connaissance plus précise des effectifs d'employés au lieu de travail améliorerait la qualité de l'ajustement du modèle. Cependant, la formalisation du modèle, telle qu'elle est utilisée précédemment, parce qu'elle suppose *a priori* une symétrie des flux pour un couple de communes donné, contribue aussi à engendrer ces résidus. Les masses de départ et d'arrivée jouent le même rôle dans la détermination des flux. Or, nombre de relations de complémentarité communale sont établies sur des liens spécifiques d'ordre économique, politique, sociologique, historique, qui peuvent être ou ne pas être symétriques. Ces complémentarités peuvent associer deux ou plusieurs communes. Nous supposons que certaines de ces relations ont une inscription spatiale spécifique et que les modèles d'interaction, dans leur logique gravitaire, prennent mal en compte ces situations.

De plus, ces relations participant à la complémentarité intercommunale, la connaissance de leur localisation est susceptible d'être une aide à la formalisation voire à l'aménagement des interactions au sein d'un bassin d'emploi.

#### La complémentarité intercommunale vue à travers les circuits du graphe

A partir des échanges de navetteurs, peuvent être définies des relations orientées non-valuées entre les communes envoyant des actifs (au moins cinq), et celles les recevant. Parmi l'ensemble de ces relations, certaines forment conjointement des configurations spécifiques entre plusieurs communes. On peut ainsi repérer des complémentarités intercommunales, à partir des formes issues de ce graphe orienté, grâce à la théorie des graphes (Berge, 1983). La complémentarité intercommunale peut s'exprimer, en termes de graphe, par un « circuit ». Il est défini comme une « chaîne » (ensemble de points ou « sommets » reliés entre eux par des « arcs ») telle que :

- le même arc ne figure pas deux fois dans la séquence ;
- les deux sommets aux extrémités de la chaîne sont les mêmes ;
- l'extrémité terminale de l'arc  $u_i$  coïncide avec l'extrémité initiale de l'arc  $u_{i+1}$  (si cette condition n'est pas observée, la chaîne est un « cycle » et non un « circuit »).

Un exemple permet sans doute de mieux comprendre cette définition rigoureuse employant une terminologie issue de la théorie des graphes. Ainsi, le graphe orienté (figure 4) admet trois circuits :

- $\{(B1,C1);(C1,C2);(C2,B1)\}$
- $\{(B2,B3);(B3,C4);(C4,B2)\}$
- $\{(B1,B2);(B2,B1)\}$ .

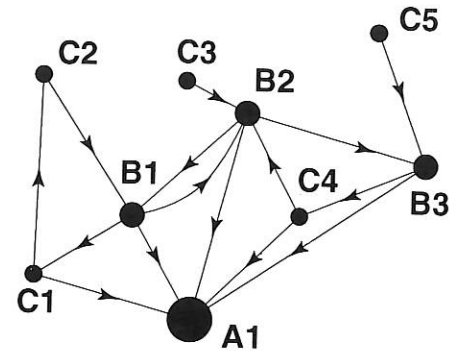


Figure 4.- Trois circuits dans un graphe de relations

De plus, parmi les circuits, la relation de symétrie  $\{(B1, B2); (B2, B1)\}$ , exprime une complémentarité exacerbée, une véritable interaction entre les actifs et l'emploi des deux communes.

A l'inverse, les relations  $\{(B1, C1); (C1, A1); (B1, A1)\}$ , et  $\{(B1, B2); (B2, A1); (B1, A1)\}$ , (figure 5), ne forment pas des circuits. L'orientation des arcs met en évidence A1 comme centre polarisant plusieurs flux, donc d'un niveau hiérarchique plus élevé, alors que des circuits sous-tendraient une complémentarité entre les lieux.

La méthode de recherche des circuits utilisée ici est issue d'une programmation de recherche opérationnelle appliquée à la théorie des graphes (Berge, 1983; Faure, 1979). Elle permet d'extraire les circuits en fonction du nombre de communes qu'ils incluent (tableau 1). Les communes associées dans un même circuit ne dépassent pas le nombre de 6.

TABEAU 1.- LES CIRCUITS DU GRAPHE DES NAVETTES : NOMBRE ET COMMUNES CONCERNÉES

	Nombre de communes par circuit					Total
	2	3	4	5	6	
Circuits	1 144	1 267	802	89	16	3 318
Communes concernées	542	494	384	128	38	565

Les circuits les plus nombreux comprennent deux ou trois communes, alors que ceux qui en associent davantage sont nettement moins fréquents. Les circuits à deux et à trois communes représentent plus des deux tiers des circuits et affectent la presque totalité des communes concernées par ces relations circulaires. Le fait que le nombre de communes concernées diminue

beaucoup plus vite avec la taille des circuits que le nombre de ceux-ci, implique qu'il s'agit des mêmes communes qui sont concernées par les petits et les grands circuits. Il y a donc un effet de surimposition et les circuits se constituent en groupes (ou « cliques ») de communes particulièrement connectives.

La carte des circuits montre bien cette surimposition qui coïncide avec la structure urbaine régionale (figure 6). Les circuits à deux communes font apparaître les interactions des communes centres d'agglomération avec un hinterland qui peut parfois être étendu, et où se mêlent relations polarisées (vers la commune centre d'agglomération) et relations tangentielles (entre des communes de périphéries urbaines, qui sont de dimensions plus comparables) (figure 7a). Montpellier, ayant des relations symétriques avec toutes les grandes villes régionales et extra régionales affirme son caractère de capitale. En effet, c'est la seule ville qui soit aussi en relation avec toutes les autres de la région. Les circuits à 5 et 6 communes sont établis entre les agglomérations principales, sur des trajets plus longs : par exemple la clique de circuits à 6 communes comprend Montpellier, Nîmes, Alès et Avignon (figure 7e).

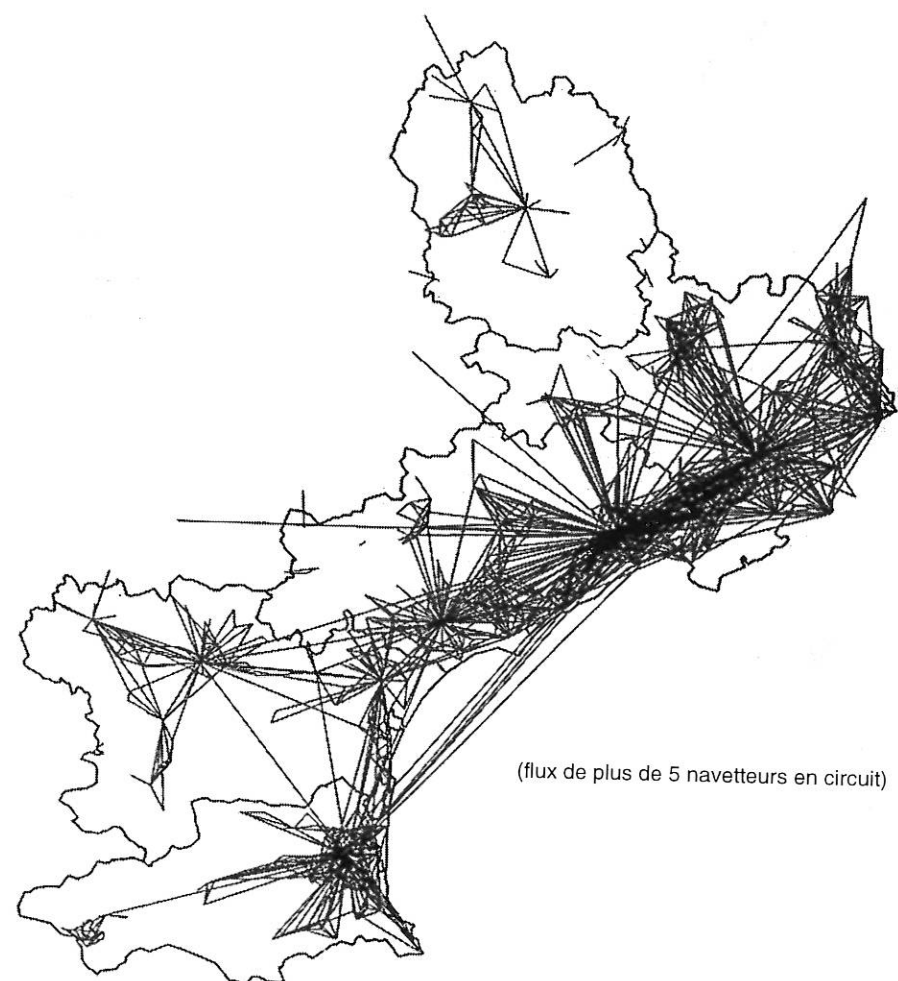
#### Les circuits : des configurations atypiques dans le modèle d'interaction

Afin de caractériser de façon globale les communes qui appartiennent à des circuits par rapport à l'ensemble des communes, nous pouvons faire appel à des variables élémentaires telles que leur population, la distance moyenne au lieu de travail ou des variables élaborées dans le modèle d'interaction. La comparaison des configurations en circuits et des autres configurations est effectuée sur la base d'une analyse de la variance des variables à tester (les principaux résidus du modèle d'interaction, les indices d'attraction et de répulsion, les poids des communes, ...).

Il s'agit d'un test d'indépendance entre les deux séries, dont l'une est qualitative (dans et hors circuit), l'autre quantitative. L'analyse de variance est menée sur deux groupes : les communes qui appartiennent à des circuits, et celles qui en sont exclues. Le tableau 2 indique la valeur moyenne de chaque variable calculée pour ces deux sous-groupes, et comporte en outre le résultat du test (noté  $P > F$ ) qui est la probabilité pour que les groupes formés par la variable qualitative (appartenance ou non aux circuits) admettent des moyennes identiques de la variable quantitative. Si  $P > F$  est faible (de l'ordre de 0,01), les communes en circuit diffèrent sensiblement des communes hors-circuits pour la variable concernée.

Les tests montrent que les communes lieux de travail en circuits ont tendance à avoir des populations plus importantes que celles des autres communes (9 fois plus en moyenne). A l'inverse les communes lieux de résidence ne se distinguent pas par une taille particulière. Dans les circuits,

les communes sont à la fois lieux de travail et de résidence, et les populations moyennes sont naturellement les mêmes dans les deux cas. Cela implique donc que c'est à l'extérieur des circuits que les communes lieux de travail ont des populations plus faibles. Cela souligne le rôle polarisateur



©GIP R.E.C.L.U.S., J.L. Bonnefoy, 1995.

Figure 6.-- Les circuits des navettes domicile-travail dans la région Languedoc-Roussillon en 1990

TABLEAU 2.-- SPÉCIFICITÉS DES COMMUNES SITUÉES DANS LES CIRCUITS

Les populations des communes émettrices dans et hors des circuits						
	Circuits à 2 communes	Circuits à 3 communes	Circuits à 4 communes	Circuits à 5 communes	Circuits à 6 communes	Total des circuits
Dans les circuits	4 581	4 871	5 758	9 258	17 539	4 597
Hors des circuits	4 072	3 261	2 629	3 312	3 678	3 802
P > F	0,7340	0,2130	0,0047	0,0001	0,0001	0,6340
Les populations des communes réceptrices dans et hors des circuits						
Dans les circuits	4 581	4 871	5 758	9 258	17 539	4 597
Hors des circuits	693	748	886	1 619	1 937	541
P > F	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Les flux entre les communes dans et hors des circuits						
Dans les circuits	78,9	66,0	77,0	49,4	36,5	58,9
Hors des circuits	17,6	28,9	32,3	43,7	44,0	18,1
P > F	0,0001	0,0001	0,0001	0,5090	0,6690	0,0001
Les distances entre les communes dans et hors des circuits						
Dans les circuits	12,7	13,7	14,8	14,9	17,5	14,1
Hors des circuits	18,1	17,2	16,1	15,8	15,8	18,7
P > F	0,0001	0,0001	0,0200	0,4830	0,5180	0,0001
Les résidus des flux du modèle de gravité dans et hors des circuits						
Dans les circuits	- 119,7	- 80,6	- 93,3	- 56,3	- 328,4	- 84,2
Hors des circuits	- 0,1	- 32,0	- 37,0	- 51,5	- 48,9	5,1
P > F	0,0001	0,0003	0,0002	0,8810	0,0001	0,0001
Les indices de répulsion dans les circuits et hors des circuits						
Dans les circuits	- 3,49	- 3,63	- 3,70	- 3,58	- 3,57	- 3,43
Hors des circuits	- 0,52	- 1,00	- 2,02	- 2,89	- 3,00	- 0,07
P > F	0,0001	0,0001	0,0003	0,2300	0,5520	0,0001
Les indices d'attraction dans les circuits et hors des circuits						
Dans les circuits	- 0,42	- 0,55	- 0,62	- 0,89	- 1,65	- 0,49
Hors des circuits	0,44	0,48	0,38	0,17	0,12	0,54
P > F	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

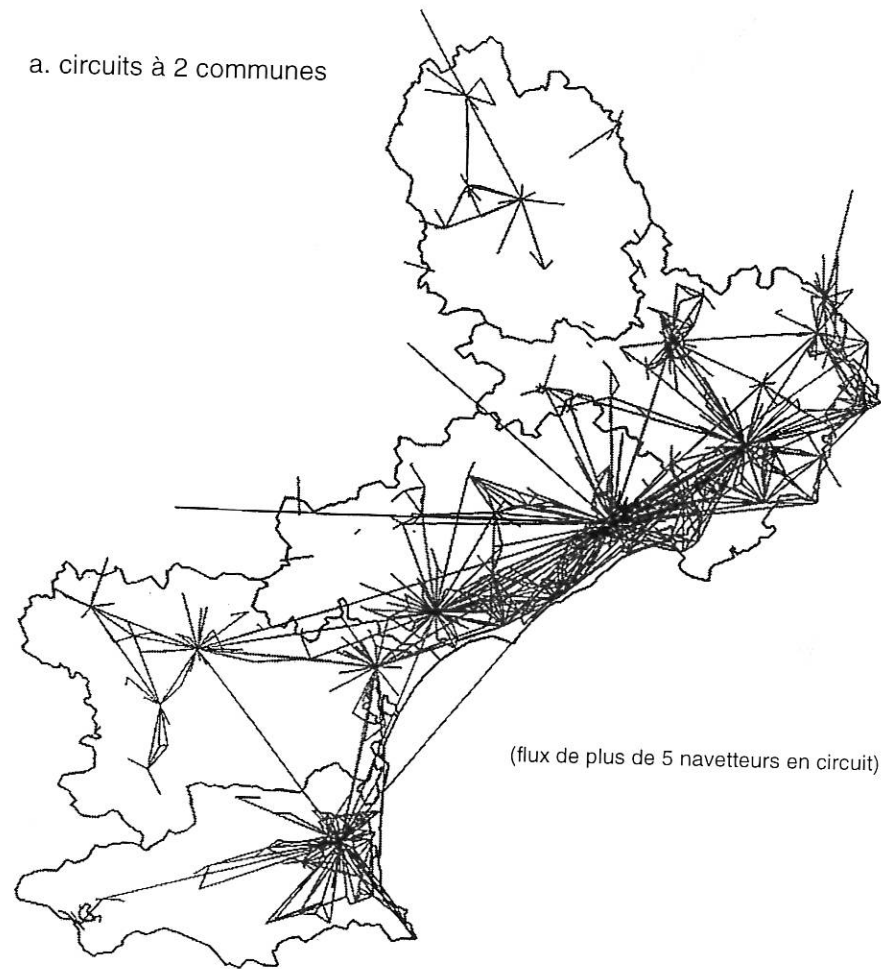
Source: GIP R.E.C.L.U.S., Bonnefoy, Rozenblat, 1995.

des principaux pôles d'emplois, et leur association quasi systématique à des pôles relais secondaires dans leur agglomération.

Les circuits concernent tout particulièrement les flux de navetteurs les plus forts, ceci pour les circuits incluant jusqu'à 4 communes. Au-delà, il n'y a pas de différence significative entre les flux dans et hors circuits. Les trajets de navettes sont plus courts dans les circuits: 14 km en moyenne contre 19 km. Ainsi, les tailles au lieu de travail, l'importance des flux, et les courts trajets expriment la localisation de ces circuits de façon préférentielle autour des agglomérations urbaines.



Les résidus des flux calculés par rapport au modèle gravitaire sont significativement différents dans et hors des circuits : les résidus dans les circuits sont négativement plus forts que les autres. Ces écarts découlent



@GIP R.E.C.L.U.S., J.L. Bonnefoy, 1995.

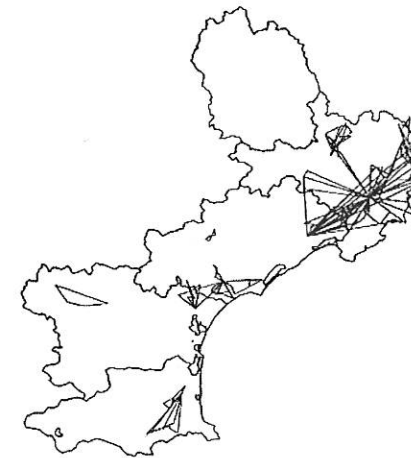
Figure 7.-- Les circuits des navettes domicile-travail dans la région Languedoc-Roussillon par taille de circuits en 1990

directement de l'observation faite précédemment à propos des valeurs des flux en circuits plus importants que les autres, qui sont par ailleurs les

b. circuits à 3 communes



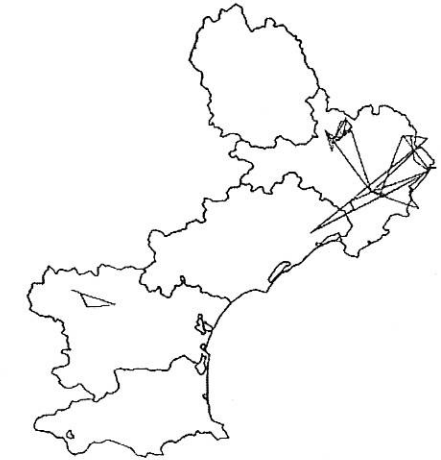
d. circuits à 5 communes



c. circuits à 4 communes



e. circuits à 6 communes



@GIP R.E.C.L.U.S., J.L. Bonnefoy, 1995.

Figure 7 (suite).-- Les circuits des navettes domicile-travail dans la région Languedoc-Roussillon par taille de circuits en 1990

plus mal représentés par le modèle gravitaire. Les indices de répulsion et d'attraction des communes appartenant aux circuits sont plus fortement négatifs dans les circuits que hors des circuits.

### Conclusion

Les résultats de cette étude montrent que les flux situés dans ce type de configurations que sont les circuits sont particulièrement mal représentés par le modèle gravitaire. Les configurations montrées par les graphes semblent plus aptes à mettre en évidence des différences entre des groupes de communes en multipolarité, ou entre des communes qui observent des polarisations simples situées toutefois dans des espaces intégrés par des relations complexes. Les graphes révèlent en fait l'hétérogénéité du fonctionnement local de la mobilité, alors que le modèle gravitaire applique nécessairement les mêmes règles à l'ensemble du territoire. La mise en évidence de relations de complémentarité spécifiques entre des communes situées notamment autour des grandes agglomérations pourrait apporter une aide à la gestion et l'aménagement des communautés urbaines. Ces premiers résultats plutôt positifs confirment l'intérêt de cette méthode d'exploration des graphes d'interactions spatiales, montrant l'interconnectivité et la complémentarité des lieux au niveau local, comme on l'a observé par ailleurs à propos des déplacements de chalandise pour les commerces et les services (Bonney, 1995).

### BIBLIOGRAPHIE

- Berge, Cl. (1983), *Graphes*, 3e édition, Gauthiers-Villars, 400 p.
- Bonney, J.L. (1995), *Structure et fréquentation d'équipements, commerces et services en Languedoc-Roussillon : aménagement et approche de pratiques du territoire au niveau communal*, thèse de doctorat, Université de Provence, Aix-Marseille I.
- Cattan, N., Grasland, Cl. (1994), *Dynamiques migratoires et recompositions territoriales en Tchécoslovaquie de 1960 à 1992*, C.N.R.S.
- Faure, R. (1979), *Précis de recherche opérationnelle*, 4e édition, Dunod, 470 p.
- Haynes, K.E., Fotheringham, A.S. (1988), *Gravity and spatial interaction models*, Scientific Geography, Sage, Beverly Hills.
- Poulain, M. (1981), *Contribution à l'analyse spatiale d'une matrice de migration interne*, Louvain-la-Neuve, Cabay, Recherches Démographiques, n°3, 225 p.
- Pumain, D. (1986), Les migrations inter-régionales de 1954 à 1982 : directions préférentielles et effets de barrière. *Population*, 2, 375-389.
- Pumain, D., Saint-Julien, Th. (1989), *Atlas des villes de France*, La Documentation Française, 176 p.
- Wilson, A. (1970), *Entropy in urban and regional modelling*, Pion, Londres.