Document généré le 12 oct. 2024 05:29

Cahiers de géographie du Québec

La dynamique d'un système de villes : les apports d'une modélisation par la synergétique (note)

Léna Sanders

Volume 42, numéro 117, 1998

URI : https://id.erudit.org/iderudit/022763ar
DOI : https://doi.org/10.7202/022763ar

Aller au sommaire du numéro

Éditeur(s)

Département de géographie de l'Université Laval

ISSN

0007-9766 (imprimé)
1708-8968 (numérique)

Découvrir la revue

Citer cet article

Sanders, L. (1998). La dynamique d'un système de villes : les apports d'une modélisation par la synergétique (note). *Cahiers de géographie du Québec*, *42*(117), 367–377. https://doi.org/10.7202/022763ar

Tous droits réservés © Cahiers de géographie du Québec, 1998

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter en ligne.

https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/

Cet article est diffusé et préservé par Érudit.

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche.

https://www.erudit.org/fr/

La dynamique d'un système de villes : les apports d'une modélisation par la synergétique

Lena Sanders
Laboratoire P.A.R.I.S. - E.H.GO
CNRS et Université de Paris I

INTRODUCTION

L'objectif de cette note de recherche est triple. Nous discutons d'abord de la prise en compte de différents niveaux d'organisation dans les modèles décrivant la dynamique d'un système de villes. Nous illustrons ensuite les apports d'un modèle issu de la synergétique. Nous montrons enfin les décalages qui peuvent survenir entre le cadre conceptuel dans lequel un modèle est développé et les simplifications qu'impose son application.

DES DÉCISIONS INDIVIDUELLES AU SYSTÈME DE VILLES : LE CHOIX D'UN MODÈLE

Le cadre conceptuel de la systémique a souvent été utilisé pour décrire et modéliser l'évolution de l'ensemble des villes d'une région ou d'un pays. Les interactions entre les villes sont issues de relations de complémentarité et de concurrence. Le jeu de ces interactions tend à maintenir la cohérence du système de villes et à le reproduire en conservant les principaux traits de sa structure (Pred, 1977; Pumain, 1982). Ainsi, la stabilité de l'organisation spatiale et hiérarchique des systèmes de villes sur le court et le moyen terme a été maintes fois soulignée (Guérin-Pace, 1993; Archæomedes, 1998). Par exemple, un bouleversement comme la Révolution industrielle s'est traduit en Europe par un renversement des parts relatives des populations agglomérées et rurales, un enrichissement du nombre, de la taille, et plus récemment de la surface des villes, mais non pas par un changement qualitatif dans la structure spatiale du semis des villes. À ce niveau macro-géographique, l'observation de véritables changements qualitatifs nécessite la prise en compte de longues durées. Les changements affectant les niveaux d'organisation inférieurs, ceux que connaissent les individus, les ménages, les firmes, sont en revanche plus fréquents et diversifiés. Ils correspondent à des logiques de décision individuelle.

adresse postale : Équipe P.a.r.i.s., CNRS et Université Paris I
13, rue du Four, 75006 Paris, France
courriel (*e-mail*) : sanders@paris.msh-paris.fr

Chaque changement individuel est le résultat d'une décision étroitement subordonnée à un contexte familial, économique et social précis. Mais les résultantes de l'ensemble de ces choix présentent de fortes régularités et tendent à maintenir les organisations observées aux niveaux méso-géographiques (celui des villes) et macro-géographiques (celui du système de villes). À chacun de ces niveaux, le changement s'inscrit dans une temporalité différente. Une décision individuelle de migration se réalise selon une dynamique relativement rapide, de l'ordre de l'année. Il faut une décennie, cependant, pour observer un changement dans le profil social d'une ville ou dans son rang dans la hiérarchie des agglomérations. Un changement significatif dans le degré de primatie d'un système de villes ou le passage d'une organisation régionale unipolaire à une structure multipolaire nécessite en revanche une cinquantaine d'années.

Tableau 1 Les différents niveaux d'organisation intervenant dans la dynamique d'un système de villes

		exemples de variables		
niveaux	**exemples d'entités**	**démographiques**	**économiques et sociales**	**spatiales**
micro-géographique	individus ménages firmes	âge composition familiale	revenu catégorie sociale	localisation
méso-géographique	commune département villes	population densité rang	revenu moyen profil social	situation relative (position dans le réseau urbain)
macro-géographique	région pays système de villes	organisation hiérarchique degré de primatie	répartition des revenus profil social moyen	organisation spatiale (auto-corrélation...)

La combinaison et la superposition d'une multitude de choix individuels à propos des localisations ont conduit à des organisations spatiales qui constituent un héritage auquel les individus doivent s'adapter dans leurs prises de décision. Les dynamiques rapides qui correspondent à ces décisions sont ainsi fortement contraintes par les configurations spatiales héritées et qui évoluent à leur tour suivant des dynamiques plus lentes. Ces différents niveaux d'organisation sont étroitement liés, emboîtés les uns aux autres. Mais chaque niveau a sa logique et sa temporalité propres. Le tableau 1 présente les entités et les variables observables aux niveaux micro-, méso- et macro-géographiques. Il donne un aperçu de ces emboîtements. Prenons l'exemple d'un changement démographique, qui fera l'objet

d'une application dans les prochains paragraphes : au niveau de l'individu, le changement sera associé à un événement, une naissance, un décès ou une migration; au niveau de la ville, on observera un changement dans la population; au niveau du système de villes, on s'intéressera à un changement dans les tailles relatives des villes les unes par rapport aux autres.

Cette imbrication étroite et complexe entre les différents niveaux d'organisation qui sous-tendent la ville et le système des villes pose un problème de choix lorsqu'on cherche à modéliser l'évolution d'un tel système. Pour saisir le moteur du changement, est-il essentiel de remonter à la logique des décisions individuelles et, par implication, de comprendre pourquoi les individus migrent et comment ils choisissent leur nouvelle localisation? Ou bien les villes constituent-elles un échelon privilégié pour appréhender les changements dans la redistribution de la population entre les villes?

Jusqu'à récemment, le choix entre l'une ou l'autre approche était plus guidé par des contraintes techniques que par des considérations théoriques. Il était en effet impensable de gérer des millions de trajectoires individuelles se croisant et s'entrecroisant dans l'espace-temps. Les idées théoriques développées en ce sens avaient donné lieu à peu d'applications grandeur nature en géographie (Hägerstrand, 1970; Clarke et Holm, 1987). Les récents progrès de l'informatique permettent aujourd'hui une telle gestion, de sorte que le débat peut se concentrer sur les questions théoriques et méthodologiques. Parmi les travaux fondés sur la simulation, on distingue deux écoles. Pour un même but, par exemple simuler l'évolution de la répartition de la population à un niveau méso-géographique, l'une fonde son modèle sur les individus, l'autre sur les agrégats spatiaux.

La première école a élaboré des modèles de microsimulation (Holm *et al.*, 1995; Clarke, 1996; Wegener et Spiekermann, 1997) en intégrant les idées de la *time-geography* de Hägerstrand au cadre proposé par l'économiste Guy Orcutt dans le cours des années 1960. Ce dernier a conçu une approche centrée sur les acteurs (individus, ménages, firmes) afin de modéliser les changements sectoriels de l'économie américaine. Pour les tenants de la micro-simulation, c'est le jeu des interactions entre les individus, associé à la *diversité* des comportements individuels, qui constitue le moteur du changement. Aussi, les modèles sont-ils définis au niveau des individus et la simulation se déroule en traitant successivement *chacun* d'entre eux. Le comportement de chaque individu (migrer ou ne pas migrer par exemple) est déterminé par un tirage aléatoire à partir d'une probabilité dépendant de ses caractéristiques personnelles (son âge, son statut familial, son emploi, etc.). Ces probabilités servent à modéliser les déterminants démographiques et sociaux qui sont censés intervenir dans les décisions individuelles. L'atout principal de la microsimulation est d'aboutir à des prévisions cohérentes, notamment à travers la prise en compte des interdépendances entre de telles décisions. Par exemple, si le tirage aléatoire conduit un individu à migrer, les membres de sa famille migreront pareillement. À la fin de la simulation, les résultats des décisions individuelles peuvent être agrégés de différentes façons. Une agrégation suivant la localisation donne une image du changement de la configuration spatiale du peuplement induite par la combinaison de l'ensemble des choix individuels.

La seconde école fait appel au cadre conceptuel des théories de l'auto-organisation. L'idée fondamentale de ces modèles est que les interactions entre les entités élémentaires du système produisent des structures cohérentes à un niveau d'organisation supérieur. Ces structures dépendent peu du détail des interactions élémentaires. Peu importe les particularités individuelles, c'est l'ensemble des interactions et des formes de coopération entre les individus qui produisent collectivement des structures spatiales ou fonctionnelles qui se maintiennent. Dans les applications, cela revient à supposer que le comportement moyen a un sens : il exprime la tendance lourde de l'évolution du système et rend compte des aspects réguliers du changement. À ce changement moyen est associée une composante aléatoire rendant compte à la fois de la diversité des comportements, de l'ignorance du modélisateur et de la part du hasard qui intervient dans tout changement. Lorsque le système se trouve dans une phase d'instabilité, cet aléa peut provoquer un changement qualitatif profond dans son organisation (Allen, 1997).

Les deux approches réfèrent implicitement à l'articulation entre le niveau des décisions individuelles et celui des agrégats spatiaux pour comprendre et modéliser la dynamique d'un système. Les logiques de cette articulation diffèrent cependant. Dans le cas de la microsimulation, l'accent est mis sur les décisions individuelles et la modélisation doit donc intégrer tous les facteurs pouvant influer sur cette décision : caractères de l'individu, de sa famille et de l'environnement dans lequel il vit. Dans le cas de l'auto-organisation, les particularités des décisions individuelles tendent à se compenser les unes les autres, rendant inutile l'identification des facteurs de décision de l'un d'entre eux. La particularité d'une décision individuelle aura de l'importance seulement lors d'une phase d'instabilité du système. La recherche doit donc se concentrer sur ces instabilités et leurs conditions d'apparition plutôt que sur les facteurs de la décision individuelle.

Chacune des deux approches ci-dessus résumées relève d'une conception systémique, dans le sens où la dynamique de chaque lieu dépend de sa position relative par rapport aux autres lieux et de l'intensité des échanges qu'il entretient avec eux. Par rapport à des modèles de croissance plus classiques, où l'évolution de chaque ville est déterminée à partir de ses seuls caractères internes, le progrès est sensible d'un point de vue conceptuel. Parmi les modèles urbains développés dans le cadre des théories de l'auto-organisation, certains intègrent le rôle moteur des interactions sur la dynamique du système étudié (Allen, 1997; Pumain *et al.*, 1989; Wilson, 1981). Chacun de ces modèles a ses avantages propres (Lepetit et Pumain, 1993).

SYSTÈMES DE VILLES ET SYNERGÉTIQUE

Nous allons maintenant exposer les apports d'un modèle élaboré dans le cadre de la synergétique. Son intérêt réside dans son caractère opérationnel et dans la place explicite qu'il accorde à l'articulation entre les niveaux micro- et macroscopiques.

La synergétique constitue un champ de recherche interdisciplinaire développé par Hermann Haken à compter des années 1980. Il a pour objet l'étude des systèmes

complexes. L'ambition de la synergétique est de proposer un ensemble cohérent de concepts, de méthodes et de techniques qui permettent d'étudier la dynamique de systèmes composés de nombreux sous-systèmes en interaction. L'approche se veut universelle et donc indépendante de la nature des entités élémentaires composant le système. L'accent est mis sur l'articulation des dynamiques qui opèrent aux différents niveaux d'organisation d'un système.

Plusieurs processus individuels interviennent dans l'évolution de la population d'une ville : naissances, décès, migrations vers ou en provenance des autres villes, de l'espace rural ou de l'étranger. Pour présenter les principes d'un modèle relevant de la synergétique, on s'intéressera à un seul processus de changement, celui résultant de la redistribution de la population agglomérée entre les villes. L'hypothèse qui sous-tend ce choix est que la recomposition du système de villes est principalement engendrée par les interactions entre les villes du système en question. Un changement de tendance, tel une attraction accentuée pour un certain sous-ensemble de villes ou au contraire l'émergence d'un effet de répulsion, se manifeste de façon précoce à travers les redistributions intervilles et se diffuse ensuite à l'environnement du système (petites villes, espace rural, étranger). Ce choix se justifie par des résultats empiriques qui montrent que les migrations entraînent plus de différenciations entre les villes que les variations en matière d'accroissement naturel ou les redistributions corrélées à l'espace des campagnes (Pumain et Saint-Julien, 1989). Entre 1982 et 1990, deux millions de personnes (soit 7 %) résidant dans une ville de plus de 50 000 habitants en France l'ont quittée pour une autre grande ville.

La configuration d'un système est caractérisée par la façon dont les entités élémentaires sont réparties au niveau d'organisation supérieur. Pour le système des villes françaises, il s'agit de la répartition de la population urbaine N totale du pays entre les L villes composant le système. Si on note n(t) cette configuration au temps t :

$$n(t)= (n_1, n_2, .., n_i, ..., n_j, ...n_L), \qquad \text{avec } \sum_{i=1,L} n_i = N$$

alors, au temps t+dt, où dt représente un intervalle de temps suffisamment court pour que, durant cette période, il y ait théoriquement un seul individu qui migre (de i à j par exemple). On a :

$$n(t+dt)= (n_1, n_2, ..., n_{i-1}, ..., n_{j+1}, ...n_L), \qquad \text{avec } \sum_{i=1,L} n_i = N$$

Le passage de la configuration n(t) à la configuration n(t+dt) résulte d'un changement de localisation, à la suite de la migration d'un individu unique résidant initialement dans la ville i. Les facteurs de cette migration individuelle sont donc à l'origine du changement de configuration observé. Aux niveaux agrégés de la ville et du système, ce changement entre t et t+dt est infime et de peu d'intérêt. C'est l'addition des migrations individuelles sur une durée longue qui pourrait produire une modification significative de la configuration du système, c'est-à-dire des tailles

relatives des villes les unes par rapport aux autres. Le modèle de cette évolution sur le temps long s'écrit sous la forme d'un système d'équations différentielles dont le terme principal est :

$$\frac{dn_k}{dt} = \sum_i n_i . p_{ki} - \sum_j n_k . p_{jk} \qquad \text{pour k=1...L} \qquad (1)$$

où p_{ki}(resp. p_{jk}) est un taux de transition exprimant la tendance d'un individu à migrer de i à k (respectivement de k à j). On suppose que ce taux peut se décomposer en plusieurs termes permettant d'identifier des mécanismes spatio-temporels de différents niveaux :

$$p_{ki}(t) = v_0(t).f_{ki}.\exp(A_k(t) - A_i(t)) \qquad (2)$$

où $v_0(t)$ mesure le niveau global de mobilité à la date t. Suivant la conjoncture technique ou économique, plus ou moins d'individus seront amenés à prendre la décision de migrer. Ce paramètre mesure ainsi la propension moyenne des individus à migrer et il caractérise le système dans son ensemble. Il évolue à l'échelle des années.

Pour sa part, le terme f_{ki} rend compte des liens plus ou moins privilégiés entre des couples de villes (on a $f_{ki}=f_{ik}$); un individu résidant en i aura d'autant plus de chances de migrer en k que les relations entre i et k sont développées, que l'importance de ces relations soit due à la proximité géographique, à des ressemblances ou à des complémentarités sociales ou économiques, à une tradition d'échanges ou de fonctionnement en étroite association. Ces liens symétriques sont relativement stables au cours du temps et on peut donc les supposer constants sur une période de quelques décennies;

Le terme $A_i(t)$ mesure l'attractivité exercée par la ville i à la date t. La propension d'un individu à choisir la ville i comme destination de sa migration sera d'autant plus forte que l'attractivité de cette ville sera supérieure à celle de sa ville d'origine. Ce paramètre caractérise la spécificité des villes et évolue annuellement. La formule utilisée dans l'équation (2) reprend une forme classique en économie spatiale pour exprimer les différences d'utilité des individus. Les concepteurs du modèle utilisent d'ailleurs le mot « utilité » pour caractériser ce terme de l'équation (Haag, 1989). Sa connotation micro-économique nous a cependant conduit à rejeter ce qualificatif au profit de celui d' « attractivité » qui convient mieux à la logique sous-jacente lors de l'application et qui renvoie plutôt au niveau agrégé.

L'équation (1) exprime ainsi la dynamique démographique des villes en fonction des propensions individuelles à migrer d'une agglomération à l'autre. En ce sens, le modèle intègre effectivement le niveau des décisions individuelles. En revanche, l'équation (2), qui formalise la décision individuelle, décrit en fait un comportement moyen supposé homogène et, lors de l'application, l'estimation des paramètres $v_0(t)$, f_{ki} et $A_i(t)$ (pour i=1,L et k=1,L) se fait à partir des matrices de migration intervilles observées.

Les premiers paramètres ont un sens au niveau de l'ensemble du système, les seconds au niveau des couples de villes et les troisièmes au niveau des villes elles-mêmes. Cependant, ce sens ne relève pas de la logique micro-géographique des individus ou des ménages. En fait, le passage du cadre théorique à l'application a amené un changement de niveau dans la logique des mécanismes pris en compte. Ce changement n'enlève rien à l'apport du modèle. Mais cet apport se situe plutôt à un niveau méso-géographique, alors que l'équation (1) est théoriquement construite sur une logique reliant le niveau de l'individu à celui de la ville.

LES APPORTS DU MODÈLE : PRODUCTION DE CONNAISSANCES ET OUTIL DE PRÉVISION

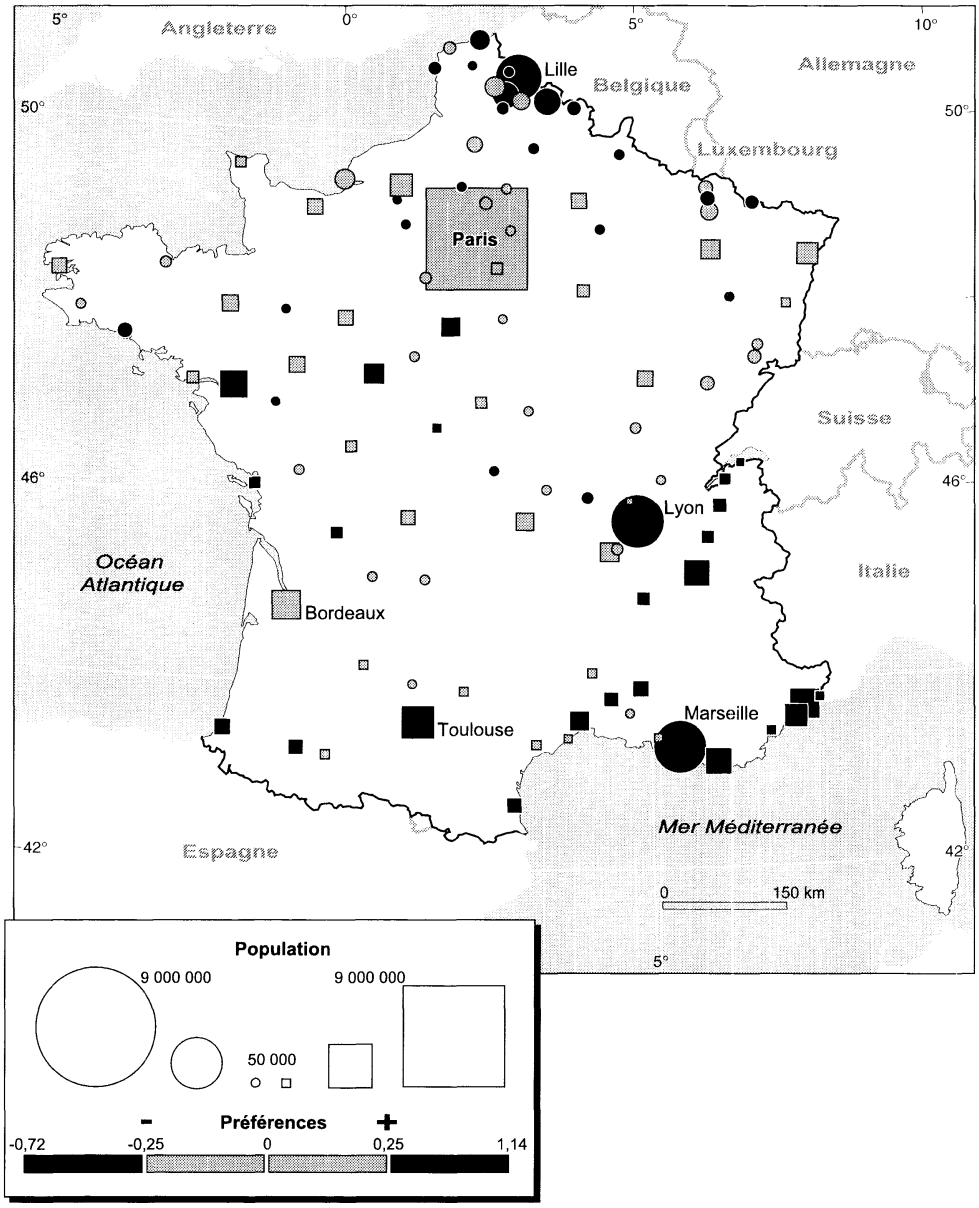
La modélisation est utile à deux niveaux. Conçu comme outil exploratoire, le modèle permet de mettre en évidence l'ampleur et la forme des régularités qui régissent l'évolution d'un système de villes et d'évaluer l'impact d'éléments plus conjoncturels ou plus aléatoires dans cette évolution. Comme outil de simulation, le modèle permet de faire des prévisions et de tester différents scénarios sur l'avenir du système de villes.

ATTRACTIVITÉS DES VILLES ET PRÉFÉRENCES DES INDIVIDUS

Les paramètres $A_i(t)$, exprimant les attractivités de chaque ville i à chaque date t, sont estimés à partir de la matrice des migrations définitives entre les villes, pour chaque période de temps considérée. Dans l'application aux villes françaises, cette information est connue pour l'ensemble des unités de plus de 50 000 habitants pour chaque période inter-censitaire depuis 1954, soit pour cinq périodes au total. La distribution géographique des attractivités est relativement semblable d'une période inter-censitaire à l'autre. Elle exprime la tendance du système à s'auto-reproduire en conservant une même organisation, les villes les plus grandes apparaissant assez naturellement comme les plus attractives. Un modèle de régression multiple permet de rendre compte de l'effet de la taille d'une ville (en nombre d'habitants) dans son attractivité. Il a été estimé comme suit : $A_i = a + b_1 n_i - b_2 n_i^2 + PREF_i$, où a, b_1 et b_2 sont des paramètres. Les résultats mettent en évidence l'existence d'une relation entre l'attractivité et la taille de la ville avec un effet de saturation ($b_1 > 0, b_2 < 0$) (60 % de variance expliquée). Le résidu de la régression exprime l'attractivité spécifique de la ville i indépendamment de sa taille. Il est qualifié de « préférence » de i (noté $PREF_i$). Ce terme possède une connotation micro-géographique, mais il exprime en fait la résultante des perceptions des migrants (fig. 1).

Un bon moyen pour comprendre la logique de variation de cette perception moyenne est de confronter les préférences aux différentes caractéristiques des villes, c'est à dire d'adopter une approche de niveau méso-géographique. Les préférences apparaissent ainsi liées au profil économique des villes, les villes les plus attirantes ayant en général un profil plus spécialisé dans les secteurs les plus « porteurs » de la période considérée : certaines activités industrielles avant 1962; les services et surtout les services aux entreprises à partir de 1975 (Sanders, 1992). Les préférences

Figure 1 Bilan des préférences pour la période 1982-1990



respectives des villes témoignent ainsi de leur place relative par rapport à la diffusion des activités économiques les plus motrices de l'époque considérée. C'est au niveau de ces préférences que l'on peut appréhender les changements du système, peu perceptibles au niveau des attractivités dont la stabilité dépend de l'effet de la taille des villes. De 1954 à 1990, la carte des préférences bascule des

villes du Nord et de l'Est, encore caractérisées par des valeurs positives durant la dernière phase de croissance des industries traditionnelles, vers les villes du Sud et de l'Ouest.

LES RELATIONS PRIVILÉGIÉES ENTRE CERTAINES VILLES

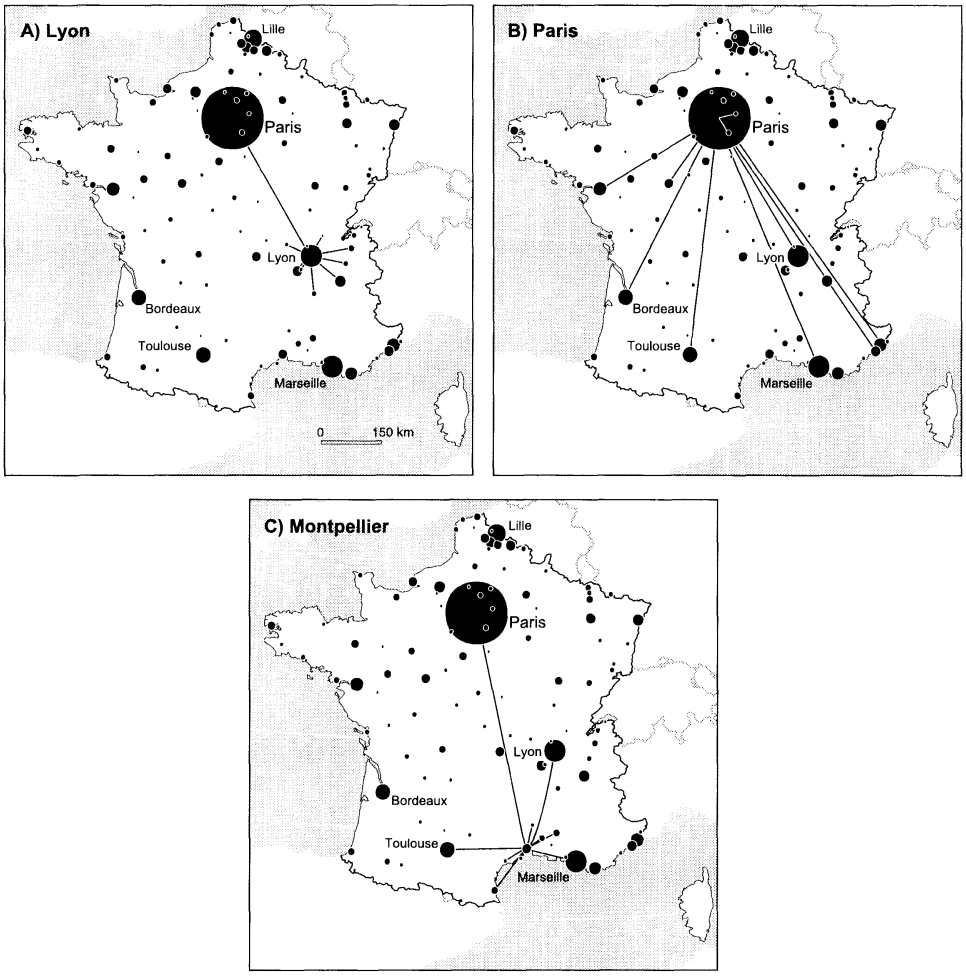
Les paramètres f_{ki} sont symétriques. Ils ne dépendent pas de la taille des villes et rendent compte de l'intensité des inter-échanges entre chaque couple de villes du système. Dans un modèle gravitaire classique, seule la distance est utilisée pour rendre compte de la facilité des échanges entre deux lieux. La mesure utilisée ici est évidemment fonction de cette distance (celle-ci rend compte d'environ la moitié de la variabilité des f_{ij} d'après un modèle statistique), mais elle intègre également, sans toutefois les identifier, les effets des autres facteurs favorisant les échanges entre deux villes ou constituant au contraire une barrière.

La configuration spatiale de la trame des villes peut influer sur l'intensité des échanges. Ainsi, une même distance, entre d'une part i et j et d'autre part k et l, peut être perçue comme plus importante entre k et l du fait de l'existence d'une autre ville localisée ailleurs dans le système. Cette situation est décrite dans la littérature comme résultant des effets d'occasions interposées. Elle peut être généralisée, et il est probable que la forme et la densité de la trame dans laquelle est située une ville influence ses échanges avec les autres villes.

Au niveau méso-géographique, quelques constantes ressortent de l'examen de l'ensemble des f_{ki} : une logique de proximité, la place spécifique de Paris dans le réseau des villes françaises et le rôle des grands pôles régionaux. La figure 2 illustre les dix connexions qui s'avèrent les plus importantes pour respectivement Lyon, Paris et Montpellier. Le cas de Lyon exprime une grande cohérence régionale des échanges migratoires, alors que les échanges avec Paris opèrent suivant une logique très hiérarchique. Seules Meaux et Melun sont intégrées dans ce qu'il est difficile de qualifier de système urbain régional. Chartres, Evreux, Beauvais et Compiègne arrivent loin derrière les grandes capitales régionales françaises (fig. 2b). Les échanges de Montpellier (fig. 2c) montrent à la fois l'existence d'un système régional local et une connexion avec les grands pôles régionaux que constituent Lyon, Marseille et Toulouse.

D'autres facteurs, historiques ou culturels, interviennent dans l'explication des différentes valeurs de ces paramètres. Ils sont plus difficiles à appréhender. Chaque f_{ij} constitue une mesure synthétique de l'intensité d'une connexion bilatérale et donne une image de la perception moyenne qu'ont les individus de chacune des villes. Le modèle peut ainsi être utilisé en amont d'une étude sur la perception des individus en matière de choix migratoire, le paramètre f_{ij} permettant alors de repérer des connexions étonnamment fortes ou faibles et de sélectionner des couples de villes particuliers où pourront être effectuées les enquêtes.

Figure 2 **Les relations privilégiées de trois grandes agglomérations. Les 10 échanges bilatéraux les plus sur-représentés après élimination de l'effet de taille**



CONCLUSION

L'application du modèle de la synergétique perd de vue le niveau explicite des individus. Mais un gain de connaissances en résulte à propos des grandes régularités qui rythment l'évolution du système de villes, ainsi qu'en matière d'opérationnalité. En effet, lors de l'utilisation du modèle dans un but prévisionnel, ou pour tester différents scénarios sur l'avenir des villes, on peut, grâce aux paramètres estimés par le modèle, tenir compte de certains effets dont on n'a pas encore clairement identifié les causes profondes. Dans une démarche heuristique,

ces mêmes paramètres sont utilisés pour identifier les facteurs qui favorisent la dynamique de certaines villes au détriment d'autres. L'intégration de cette connaissance permet de repérer des tournants décisifs dans l'évolution du système de villes et d'anticiper certaines formes de recomposition. Du point de vue de l'application, c'est ce double caractère opérationnel et heuristique qui fait l'intérêt des modèles issus de la synergétique.

BIBLIOGRAPHIE

ALLEN, P. (1997) *Cities and Regions as Self-Organizing Systems: Models of Complexity.* Gordon and Breach Science Publishers.

ARCHÆOMEDES (1998) *Des oppida aux métropoles.* Paris, Anthropos.

CLARKE, M. et HOLM, E. (1987) Microsimulation Methods in Spatial Analysis and Planning. *Geografiska Annaler,* 69B (2) : 145-164.

CLARKE, G., ed. (1996) *Microsimulation in Policy Model and Planning.* London, Pion.

GUÉRIN-PACE, F. (1993) *Deux siècles de croissance urbaine.* Paris, Anthropos.

HAAG, G. (1989) *Dynamic Decision Theory : Applications to Urban and Regional Topics.* Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

HÄGERSTRAND, T. (1970) What about People in Regional Science. *Regional Science Association Papers.*

HAKEN, H. (1983) *Advanced Synergetics.* Berlin, Springer-Verlag.

HOLM, E., LINDGREN, U., MÄKILÄ, K. et MALMBERG, G. (1995) Exploring Spatial Population Dynamics by Full-Scale Microsimulation : the SIMTOP Models. *9th European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography,* Spa, Belgium.

LEPETIT, B. et PUMAIN, D., éds (1993) *Temporalités urbaines.* Paris, Anthropos.

PRED, A. (1977) *City Systems in Advanced Economies.* London, Hutchinson.

PRIGOGINE, I. et STENGERS, I. (1979) *La Nouvelle Alliance.* Paris, Gallimard.

PUMAIN, D. (1982) *La dynamique des villes.* Paris, Economica.

PUMAIN, D. et SAINT-JULIEN, Th. (1989) Migration et changement urbain en France, 1975-1982. *Revue d'Économie Régionale et Urbaine,* 3 : 509-530.

PUMAIN, D., SANDERS, L. et SAINT-JULIEN, Th. (1989) *Villes et auto-organisation.* Paris, Economica.

SANDERS, L. (1992) *Système de villes et synergétique.* Paris, Anthropos.

WEGENER, M. et SPIEKERMANN, K. (1997) The Potential of Microsimulation for Urban Modelling. *Proceedings of the International Workshop on Application of Computers in Urban Planning,* Kobe, University of Kobe, pp. 129-143.

WILSON, A. J. (1981) *Catastophe Theory and Bifurcation : Applications to Urban and Regional Systems.* London, Croom Helm.