



HAL
open science

Processus de diffusion spatiale et modélisations du changement

Thérèse Saint-Julien

► **To cite this version:**

Thérèse Saint-Julien. Processus de diffusion spatiale et modélisations du changement. Léna Sanders. Modèles en analyse spatiale, Hermès; Lavoisier, pp.157-186, 2001, 2-7462-0320-0. hal-02565152

HAL Id: hal-02565152

<https://hal.science/hal-02565152>

Submitted on 6 May 2020

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.

Chapitre 5

Processus de diffusion spatiale et modélisations du changement

5.1. Introduction

Les processus de diffusion figurent en bonne place dans l'expression des dynamiques qui affectent les systèmes spatiaux. Certaines spécificités de ces processus justifient l'importance qui leur est donnée tant dans un inventaire des composantes du changement spatial que dans une présentation des méthodologies qui en appréhendent les caractéristiques. On ajoutera enfin que les travaux sur la diffusion spatiale des innovations peuvent être considérés comme des travaux précurseurs ouvrant la voie aux tentatives contemporaines de modélisation du changement spatial.

Un bref rappel terminologique introduit utilement ce chapitre. On entend généralement par diffusion l'action, et le résultat de l'action, qui fait se propager de manière homogène ou se transmettre un objet ou un phénomène dans un système, quelle qu'en soit la force motrice. Au terme du processus, le système est saturé, ses capacités d'absorption sont épuisées. Le système investi par cette action tend à passer d'un état à un autre état. La notion de diffusion est donc mobilisée chaque fois qu'on étudie des processus qui mettent en jeu des déplacements de matière, de produits, de personnes, de biens immatériels, de pratiques ou d'idées visant à la colonisation d'un système. A ce titre, les processus de diffusion sont abordés tant par les sciences physiques que biologiques et humaines.

Chapitre rédigé par Thérèse SAINT-JULIEN et publié dans SANDERS Lena (dir.), 2001, *Modèles en analyse spatiale*, Paris, Hermès, p. 157-186.

2 Modèles en analyse spatiale

Les sciences sociales en général, et la géographie en particulier, associent souvent diffusion et innovation (Encadré 5.1). Dans une acception faible, l'innovation représente simplement la chose nouvelle (matérielle ou immatérielle) qui, apparaissant en un lieu pour la première fois, est adoptée par une personne ou par un groupe. On a aussi bien étudié la diffusion des maladies contagieuses, que celle d'objets (comme par exemple une forme d'habitat, un mode de transport, un nouveau produit industriel, une technique agricole), ou de biens immatériels (par exemple une forme de développement économique, une pratique religieuse ou une pratique langagière, un modèle social, etc.), toutes choses nouvelles apparaissant en différents endroits alors qu'elles n'y étaient pas présentes auparavant. Dans son sens fort, innover revient cependant à introduire dans une chose établie quelque chose de nouveau, qui est en mesure de transformer celle-ci. Ainsi définie, l'innovation engendre en se propageant des irréversibilités dans l'évolution du milieu qu'elle pénètre [SCH 34]. Plus elle est complexe, plus sa diffusion sera une composante déterminante de la transformation du milieu dans lequel elle est apparue du fait de la démultiplication des effets induits qu'engendre son adoption. Même si des processus de diffusion peuvent être repérés et simulés à propos de n'importe quelle chose nouvelle se propageant dans un système, l'intérêt qui est durablement porté à ces processus tient aux effets structurants dont certains d'entre eux sont porteurs.

Encadré 5.1. *L'émergence de la notion de diffusion en sciences sociales*

Au XXe siècle, la diffusion des innovations, la propagation des changements à l'intérieur d'un même milieu, leur passage d'un milieu à l'autre, les temps de ces déplacements, ont été des préoccupations permanentes de l'ensemble des sciences sociales.

Les travaux de sociologie ont tôt abordé la problématique de la diffusion, par la réflexion sur le changement social. Ces travaux ont en particulier attiré l'attention sur la distinction entre processus endogènes et exogènes du changement. Dans l'explication des changements sociaux, les premiers processus ont été privilégiés par la méthodologie individualiste qui, dans la tradition de Weber par exemple, tient pour indispensable la reconstitution des motivations des individus concernés par le changement. Dans une perspective plus globale du social, assez directement influencée par les travaux de Durkheim, on a plutôt recouru à l'identification de forces externes pour expliquer le changement social. Cette dualité des composantes a été plus ou moins explicitement reprise dans les travaux qui ont par ailleurs intégré la dimension spatiale de la propagation.

Les travaux de Schumpeter [SCH 34] sur le rôle de l'innovation dans l'évolution économique ont marqué toute la réflexion du XXe siècle. Selon cet auteur, la fabrication d'un bien nouveau, l'introduction d'une méthode nouvelle, l'ouverture d'un débouché nouveau, la conquête d'une nouvelle source d'énergie ou de matière première, ne sont pas des faits isolés. Chacun de ces faits doit être interprété comme révélateur d'une combinaison plus large de changements qualitatifs introduits par les chefs d'entreprises. Ces combinaisons peuvent être considérées comme des innovations quand leur propagation dans un milieu engendre des irréversibilités dans l'évolution de ce milieu. Les innovations ne se réduisent donc pas à des inventions et encore moins à des modes. Pour Schumpeter, la diffusion des innovations modifie la dynamique des systèmes à l'intérieur desquels elle s'opère. Plusieurs points continuent d'être débattus. Au delà de la question très générale, et laissée sans réponse, du caractère exogène ou endogène de l'émergence de l'innovation et de son impulsion, les discussions portent en premier lieu sur la nature et le rôle des innovations technologiques dans l'apparition des cycles de croissance économique [MEN 79, FRE 85, HAL 88], et sur la régularité de ces cycles.

(suite de l'encadré)

Elles ont aussi trait aux temporalités des processus de diffusion, qu'il s'agisse des phases de décollage ou de celles d'expansion. Le débat concerne enfin le rôle tenu, dans la diffusion des innovations technologiques, par les innovations organisationnelles, institutionnelles et sociales d'une part, et par l'Etat d'autre part.

La dimension spatio-temporelle des processus de diffusion a été plus particulièrement introduite dans les travaux d'anthropologie, d'archéologie et de géographie. Dès les années 30, afin d'expliquer la diffusion des traits de culture, la notion d'aire culturelle est introduite. Par la suite, croyant retrouver le temps à travers la seule étude de l'espace, le courant du « diffusionnisme » s'est développé [BOA 40]. Des éléments culturels semblables sont identifiés dans différents groupes. Cette similitude peut certes renvoyer à l'unité de l'homme, mais elle suggère aussi des emprunts à d'autres cultures, chaque culture possédant un certain nombre de traits relativement indépendants qui peuvent migrer d'une culture à une autre. Partant du principe de complexité, qui fait que l'on considère toujours un ensemble de traits culturels, le hasard ne saurait expliquer que les mêmes traits apparaissent en des endroits différents. Si, de plus, ces traits apparaissent en des aires continues, la théorie du diffusionnisme préconise qu'il y a de fortes chances que l'on ait une propagation du centre vers la périphérie. On en déduit alors que les traits qui ont l'aire de diffusion la plus grande sont les plus anciens. Cette approche, qui intégrait délibérément mais de manière un peu schématique la dimension spatio-temporelle du phénomène culturel, a soulevé beaucoup de critiques. On lui a opposé l'idée que la diffusion se fait sans ordre, et plus à partir des marges qu'à partir du centre, ou encore le fait que, dans le passage d'une culture à une autre, les emprunts subissent de telles modifications qu'ils sont méconnaissables, et que la diffusion aboutit moins à une création qu'à un emprunt. La diffusion ne procédant pas seulement par emprunt ou refus mais aussi par antithèse, Lévi-Strauss [LEV 58] a proposé qu'à la notion de similitude, qui est à la base de ce débat, soit substituée celle, beaucoup plus riche, d'affinité.

Durant la première moitié du XXe siècle, et sans que cela soit toujours clairement explicité, le débat soulevé par la théorie du diffusionnisme a traversé toute la réflexion qui s'est développée en géographie, autour de la notion de genre de vie [VID 11, SOR 48, GEO 51]. Dans les années soixante, l'introduction, par Gourou [GOU 68] et ses élèves, à propos du monde tropical, des notions de technique de production et de technique d'encadrement territorial, et les interrogations sur les forces internes et externes de changement de ces techniques et sur les formes de diffusion de ces forces, ont réinvesti ce champ. L'archéologie de son côté a été confrontée à des questions comparables [VAN 89]. Une approche nomothétique de la diffusion spatiale a été véritablement introduite par T. Hägerstrand [HAG 52] qui, à partir de plusieurs études de cas, a mis en évidence l'existence de régularités temporelles et spatiales dans les processus de diffusion des innovations. Ces régularités l'ont conduit à ouvrir la voie aux modélisations de ces processus et à relancer la réflexion sur le rôle de ces derniers dans la structuration et dans la dynamique des espaces géographiques.

Enfin, dans la droite ligne des travaux de Schumpeter, la théorie des pôles de croissance a mis en évidence le rôle des firmes motrices dans le développement économique en général, et dans le développement régional en particulier [PER 57]. Les prolongements donnés à cette théorie par Friedmann [FRI 69] et Boudeville [BOU 72] ont précisé comment les innovations matérielles et culturelles, fondements de la croissance économique, apparaissent et se diffusent dans et par les réseaux urbains. Ce faisant ces deux auteurs se sont attachés aux conditions spatio-temporelles de cette diffusion, venant ainsi enrichir l'approche géographique des processus de diffusion.

La dimension spatio-temporelle du processus de diffusion appréhendée à travers la notion de diffusion spatiale est considérée quand la diffusion s'effectue dans des systèmes spatiaux. Les éléments du système concernés par l'innovation sont repérés entre autres par leur localisation. La notion de diffusion spatiale à laquelle est consacré ce chapitre recouvre l'ensemble des processus qui concourent au déplacement, à la migration, de l'innovation dans l'espace géographique, et aux effets en retour que ces déplacements engendrent dans cet espace.

5.2. Les manifestations de la diffusion dans l'espace

Certaines régularités très générales des processus de diffusion spatiale justifient les explorations modélisantes dont ces processus ont fait l'objet. L'observation empirique des processus de diffusion a permis en premier lieu de repérer deux grandes formes de diffusion spatiale. La première correspond à une *expansion* progressive de la zone couverte par la propagation qui, à partir du foyer émetteur, semble s'effectuer de proche en proche, en tache d'huile, sans que diminue l'intensité de la pénétration du phénomène dans les lieux les plus précocement atteints. Ainsi en va-t-il par exemple de la diffusion de nouveaux équipements, de nouvelles technologies, de nouveaux modes de vie dans un système géographique. La seconde est une diffusion avec *migration*, les lieux initialement atteints sont abandonnés au fur et à mesure que se déploie la propagation. Le support potentiel d'accueil de l'innovation est progressivement détruit par le phénomène nouveau qui apparaît. Les épidémiologues connaissent bien ce type de diffusion. On le retrouve dans tous les processus d'occupation de l'espace, quand les formes d'occupation du sol correspondent à l'exploitation sur place de ressources non renouvelables. Le front d'exploitation se déplace au fur et à mesure de l'épuisement des sites, villes champignons ruinées à proximité de puits de mine fermés, rebâties rapidement plus loin sur de nouveaux sites d'exploitation, fronts d'agricultures de plantation colonisant de nouveaux espaces en laissant derrière eux des sols dévastés. Dans un nombre important de cas, les deux formes peuvent se combiner, l'expansion correspond alors à un déplacement du centre de gravité de la répartition des éléments diffusés.

5.2.1. Eléments et niveaux d'approche d'un processus de diffusion spatiale

Un processus de diffusion spatiale est associé à un *objet* bien identifié appelé à se propager dans l'espace. On a noté que cet objet peut être matériel : un bien d'équipement, un produit de consommation ; il peut aussi être immatériel : une pratique culturelle, un modèle politique, juridique ou administratif, une réglementation, un mode d'habiter, une technologie, une connaissance, un modèle architectural, un modèle de développement économique, etc. L'innovation se diffuse à partir d'un *foyer émetteur*, c'est-à-dire à partir d'un lieu d'impulsion de la propagation, dont la force provient de la réunion d'acteurs initiateurs du mouvement. Cette force initiale de propagation étant un déterminant essentiel de la diffusion, on pressent que tous les lieux n'ont pas la même vocation à être des foyers émetteurs. En la matière, le rôle joué par les grandes et très grandes villes, par les grands foyers économiques, par tous les grands centres, dans et autour desquels se structurent d'efficaces réseaux de contact et de circulation, est déterminant.

Pour se déclencher le processus de diffusion spatiale doit pouvoir compter sur des *récepteurs potentiels*. A certains objets diffusés sont associés des récepteurs individuels, des personnes physiques. Ainsi en va-t-il de la diffusion d'objets de consommation, de services à la personne, de mode de vie, ou de comportements démographiques (les pratiques contraceptives par exemple, dont les récepteurs potentiels sont des personnes tout au plus des couples en âge de procréer). A l'inverse, certaines innovations concernent des personnes morales, au rang desquelles des entreprises, des institutions (innovation technique, mode d'organisation, mode de gestion, etc.), voire des entités territoriales telles par exemple des Etats, des villes, des collectivités territoriales, dans le cas de la diffusion d'un équipement collectif, d'un système de représentation, d'un mode d'administration), etc. Ces destinations particulières contribuent à introduire des spécificités dans les processus, qu'il s'agisse des relations entre émetteurs et récepteurs ou encore des modes d'inscription spatiale de chacun et, en particulier, des échelons géographiques auxquels se manifeste une diffusion.

L'échelon de diffusion ne saurait être confondu avec l'échelon auquel le processus sera finalement étudié. Pour une part, ce dernier passe par le type de maillage spatial au moyen duquel seront comptabilisés les éléments concernés par la diffusion, ou susceptibles de le devenir. Certes, le choix de ce niveau n'est jamais indépendant de la nature du processus étudié et donc du type de récepteurs concernés. Cependant, il peut se faire que les modes de recensement du phénomène adoptés au cours du temps imposent un niveau d'approche qui n'est pas toujours le plus adapté au processus étudié. Ainsi dans leur étude de la diffusion spatiale des méthodes contraceptives en Grande Bretagne au XIXe siècle, J.-P. Bocquet-Appel et L. Jakobi [BOC 97] partent d'une observation disponible à l'échelon des Comtés pour cerner la diffusion de ces pratiques. Les auteurs considèrent que cet échelon imposé par les sources est beaucoup trop grossier pour saisir le moment où est en chaque lieu adoptée la contraception. La carte de la Grande-Bretagne a été subdivisée en pixels. Au moyen de la méthode du « krigeage à partir des valeurs des points échantillonnées aux chefs-lieux des comtés, des valeurs ont été estimées aux centres des pixels, fournissant ainsi une représentation en quasi continu de la répartition de la variable démographique. On peut aussi se trouver dans le cas où un niveau géographique particulier ne s'impose pas *a priori* alors que, précisément, un des objets de l'étude est de retrouver l'échelon géographique pertinent pour comprendre les enjeux du processus. Il est alors légitime d'explorer le même processus à des échelons géographiques différents. C'est ce que fait par exemple A. Guerreau [GUE 81] qui, pour cerner les spécificités de la diffusion des ordres mendiants dans la France médiévale, examine successivement la propagation de ces derniers à l'échelon des villes et à celui des départements, ce qui apporte un éclairage original sur le processus étudié.

5.2.2. Distances et canaux de propagation

La propagation a lieu à condition qu'émetteurs et récepteurs aient été mis en relation, elle résulte directement des modalités d'interaction spatiale entre émetteurs et récepteurs, des canaux ou cheminements de la diffusion. Dans la pratique, on repère certaines régularités de ces cheminements. Le *contact direct* entre émetteurs et récepteurs est un canal privilégié. En règle générale, les probabilités de contact diminuent avec la *distance*. Pour un objet donné, la propagation dans l'espace est fonction de la distance entre émetteurs et récepteurs. Ce rôle de la distance est complexe dans la mesure où la distance physique n'est pas nécessairement seule en cause. Distance-temps, distance-coût, distance sociale ou encore, économique ou culturelle, distance perçue, peuvent intervenir pour expliquer une relative proximité ou un relatif éloignement des émetteurs et des récepteurs. De plus, aux stades successifs d'un processus, ces différents types de distances jouent un rôle, soit successivement (le bouche à oreille dans un premier stade, la communication à moyenne distance par la suite, etc.), soit en se combinant. Enfin, toutes choses égales quant à la nature de la distance, la diminution de la probabilité de contact avec l'éloignement pourra suivre une règle différente. Les fonctions les plus usuellement retenues pour décrire cette diminution des interactions avec la distance sont soit des fonctions exponentielles négatives, soit des fonctions puissance, soit même une combinaison des deux. Pour un inventaire des différents types de distance et des fonctions usuelles rendant compte de la diminution des interactions avec la distance, on se reportera à Pumain, Saint-Julien [PUM 97, PUM 00].

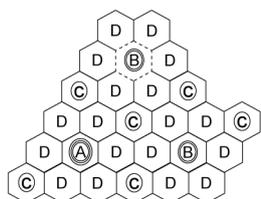
De très nombreuses études empiriques ont montré combien *l'organisation hiérarchique de l'espace* jouait aussi un rôle important. L'observation a assez systématiquement rappelé que le canal descendant de la hiérarchie urbaine était privilégié dans un grand nombre de processus de diffusion avec, dans cette hiérarchie, des positions relatives très inégales des centres (Figure 5.1). On a souligné le rôle essentiel des plus grandes villes comme foyers d'impulsion. Dans la mesure où ces villes concentrent de fortes masses de récepteurs potentiels dans une grande proximité, elles sont les mieux placées pour que l'adoption de l'innovation y soit rapide et massive et qu'elles acquièrent ainsi rapidement des capacités émettrices qui les placent en position hiérarchique favorable pour impulser la diffusion en direction de centres de moindre importance. Ainsi, à distance égale, la diffusion a tendance à se faire des grands centres vers les petits, suivant le sens descendant de la hiérarchie urbaine. Conformément au même principe, à distance égale, la diffusion sera plus rapide entre centres de grande taille qu'entre centres de petite taille. On note que le canal hiérarchique de propagation est souvent prépondérant à petite et à moyenne échelle, alors qu'il tend à être supplanté par le canal du contact direct à grande échelle. On remarque donc que, dans un grand nombre de processus, la propagation suivant le canal de la hiérarchie urbaine et la propagation de proche en proche se conjuguent de manière différente en fonction

des échelons géographiques. La diffusion en France des clubs de football de haut niveau donne une bonne illustration de cette combinaison ([RAV 98], Figure 5.2). La diffusion partie des pays limitrophes de la France a donc en premier lieu touché les régions frontalières. Le football de haut niveau s'est donc en premier lieu propagé de proche en proche dans les régions périphériques du territoire français et dans quelques très grandes villes. Cette pratique sportive ne s'est largement diffusée dans les villes moyennes de l'ensemble du territoire que plus tardivement.

L'aire de diffusion : forme cristalline de la distribution de peuplement $k=3$

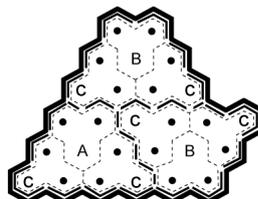
Nombre de centres de niveau égal ou supérieur

A : 1 ; B : 3 ; C : 9 ; D : 27

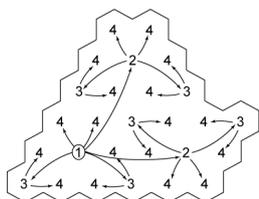


Limites d'un partage strict des dépendances

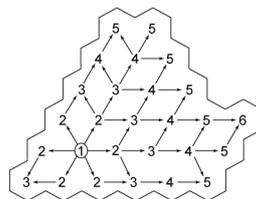
A : 27 unités spatiales ———
centres de niveau B : 8 unités - - -
centres de niveau C : 3 unités
C



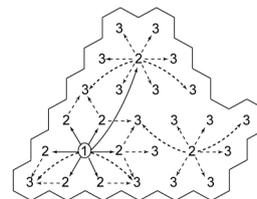
Diffusion strictement hiérarchique à partir de A



Diffusion par contact dans le voisinage à partir de A



Processus combinant contact et canal hiérarchique à partir de A



Les nombres 1,2,3,4,5,6 indiquent les étapes successives de la diffusion.

Figure 5.1. Les canaux de la diffusion, d'après [HAGG 77]

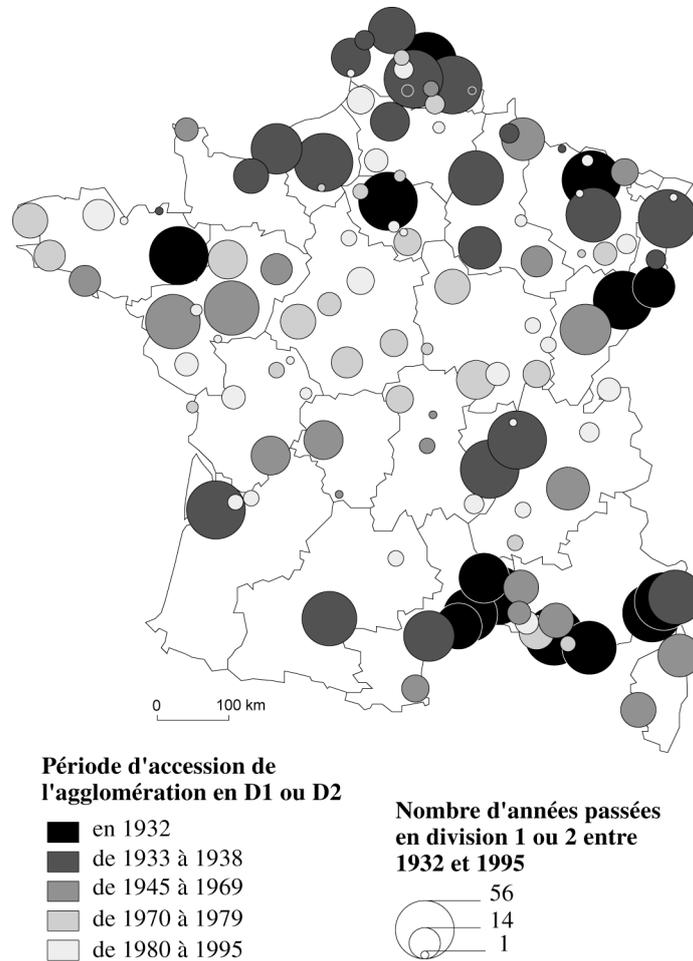


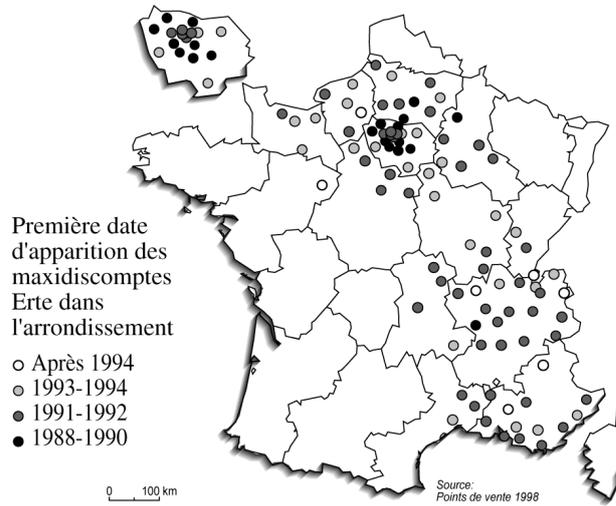
Figure 5.2. Un exemple de diffusion qui associe proximité et canal hiérarchique : la diffusion du football de haut niveau (1932-1995), d'après [RAV 98]

Dans le cas de la diffusion de certains biens et services, la composante territoriale de la logistique des entreprises entre en ligne de compte. La diffusion spatiale du bien ou du service peut être orchestrée en misant sur les conquêtes de proximité, la diffusion régionale est privilégiée pour asseoir le produit et rôder les stratégies d'expansion sur un marché connu. A l'inverse le choix peut se porter sur une certaine catégorie de centres en vue de diversifier d'emblée les acquisitions d'expérience et, en démultipliant les centres émetteurs, de mieux préparer une

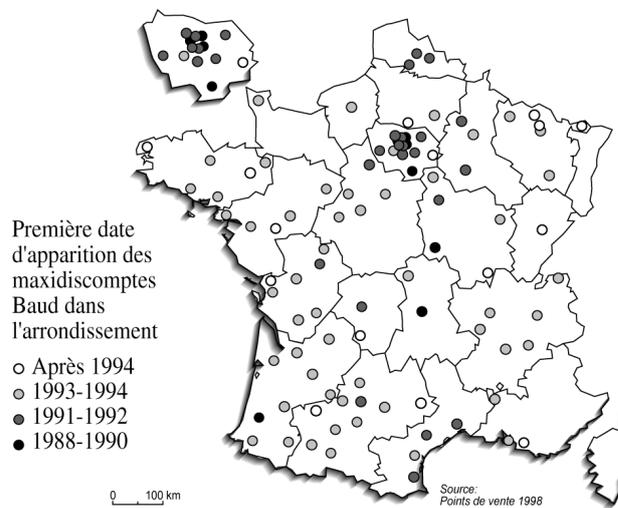
expansion ultérieure sur une aire très étendue et régionalement diversifiée. Mais le choix peut aussi consister simplement à exploiter au mieux les canaux « naturels » de la diffusion spatiale en ajustant sur ces derniers les stratégies de conquête du marché, jugées aptes à en accentuer l'efficacité. Ces stratégies doivent en outre tenir compte des caractéristiques territoriales des systèmes de concurrence. La diffusion spatiale à partir de l'Ile-de-France des supermarchés de deux groupes du «hard discount » de la grande distribution sur le territoire français montre les spécificités de ces stratégies ([SAI 99], Figure 5.3). Le groupe Erte, qui se lance le premier à la conquête du marché national, privilégie les régions dont les densités de population urbaine sont les plus élevées. Il évite cependant les régions du Nord et le Nord-Est qui, durant la même période, voient se déployer à partir de l'Allemagne la diffusion des supermarchés de groupes de « hard discount » initialement implantés dans ce pays. Erte oriente donc ses créations en direction principalement des régions du Centre-Est puis du Sud-Est. Un peu plus tardive, la diffusion du groupe Baud s'effectue privilégiant l'Ouest et le Sud-Ouest peu touchés jusque-là par ce mode de distribution. La diffusion tient donc compte à la fois de la localisation du foyer émetteur, des avancées antérieures des groupes concurrents sur le territoire, et de stratégies de propagation propres à chacun des groupes.

Au total, les *structures de l'espace géographique* et le niveau technique des réseaux reliant émetteurs et récepteurs au moment de la diffusion sont déterminants. Les réseaux de communication et toutes les chaînes de mise en relation sont toujours des accélérateurs de la diffusion. Ainsi en va-t-il des réseaux sociaux [DEG 94] ou encore, dans la propagation des épidémies, de tous les modes de mise en connexion tels que l'eau, les chaînes alimentaires, etc.), qui sont d'efficaces supports de propagation. A l'inverse, des barrières freinent ou contrecarrent la diffusion spatiale. Comme les distances, celles-ci peuvent être de natures très variées (physiques, politiques, sociales ou culturelles). Leur identification est relative au processus considéré, à l'échelon d'observation et au moment auquel celui-ci est pris en considération. Les modélisations des processus de diffusion sont appelées à intégrer les inégales perméabilités des barrières qui peuvent soit arrêter la diffusion soit, plus souvent, la ralentir ou en dévier les trajectoires.

Groupe Erte : diffusion à partir de l'Ile-de-France



Groupe Baud : diffusion à partir de l'Ile-de-France



Source : *Atlas de France*, volume 10, Services et Commerces, 1999, [SAI99]

Figure 5.3. Diffusion spatiale en contexte concurrentiel

5.2.3. *La diffusion spatiale dans le temps*

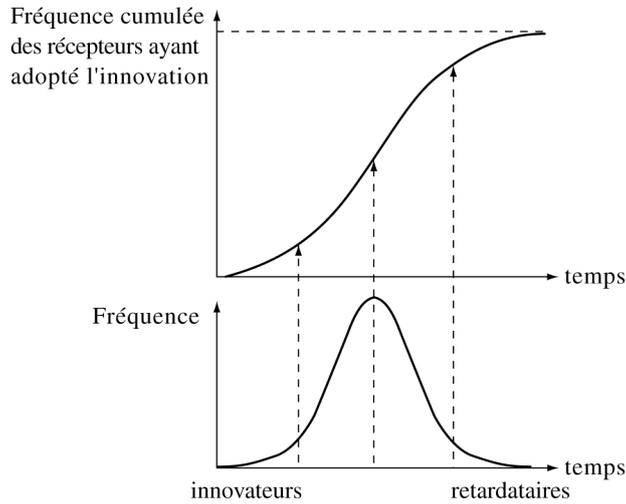
On a pu enfin repérer les régularités suivant lesquelles les processus de diffusion se déploient dans le temps. Si on reporte en abscisse le temps et en ordonnée le taux de pénétration de l'innovation dans le système spatial, les taux s'ordonnent suivant une courbe en S (Figure 5.4a). Ces courbes, à la forme bien connue des fonctions de type logistique, ont deux limites, qui correspondent respectivement au nombre de récepteurs déjà touchés au démarrage du processus (X_0), et au nombre total de récepteurs susceptibles d'accueillir l'innovation durant le temps de la diffusion ($X_T=N$). Les décalages entre les courbes correspondant à la diffusion d'un même objet dans des systèmes spatiaux différents traduisent des différences au niveau des taux de pénétration atteints à l'état initial, et surtout des disparités de taux de croissance, indicateurs du degré de réactivité du milieu à l'adoption de l'innovation.

On peut associer à ces courbes les grandes étapes des processus de diffusion spatiale (Figure 5.4b). Au stade primaire, la diffusion est relativement lente, le ou les premiers centres émetteurs sont isolés. Au stade de la diffusion proprement dite la croissance encore très vive au centre est beaucoup plus rapide en périphérie, les lieux concernés par la diffusion se démultiplient, l'aire de propagation s'étend rapidement. Au stade de condensation, le processus se ralentit, croissance au centre et croissance en périphérie s'effectuent à des rythmes comparables. Avec la saturation, le processus touche à sa fin. La presque totalité des lieux récepteurs potentiellement concernés ont été atteints.

5.3. **Simuler un processus de diffusion spatiale, l'approche pionnière de T. Hägerstrand**

On doit aux travaux de T. Hägerstrand [HAG 53] sur la diffusion spatiale des innovations, d'avoir donné à la modélisation de ces processus une impulsion décisive. Bien que par la suite des raffinements méthodologiques n'aient cessé d'être apportés, les grands principes à la base de la démarche étaient ainsi posés. Au-delà des évolutions technologiques qui ont bouleversé les méthodes de simulation, on reste frappé par certaines continuités dans l'esprit des démarches retenues. Les caractéristiques du modèle de base de la diffusion spatiale proposé par Hägerstrand peuvent être résumées de la manière suivante.

a) La diffusion dans le temps



b) La diffusion dans le temps et dans l'espace

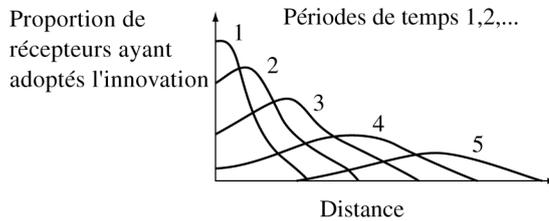


Figure 5.4. Les grandes étapes de la diffusion spatiale

5.3.1. Un modèle probabiliste

Pour un processus donné, on définit en tout point de l'espace les probabilités de contact entre émetteurs et récepteurs (Tableau 5.1). Ces probabilités correspondent au choix d'une fonction d'interaction spatiale qui tient compte à la fois du phénomène dont on veut simuler la diffusion et du contexte spatial général de cette diffusion. L'ensemble de ces probabilités, définies dans une grille à partir d'une cellule émettrice, constituent le champ de contact. La maille centrale de la grille correspond à la localisation du foyer émetteur au temps T_n . La probabilité de contact y est donc plus élevée qu'ailleurs. Les probabilités décroissent de cette maille

centrale vers les mailles périphériques suivant la fonction retenue pour incorporer l'effet de la distance dans le modèle.

a) Le champ de contact

0,0096	0,0140	0,0168	0,0140	0,0096
0,0140	0,0301	0,0547	0,0301	0,0140
0,0168	0,0547	0,4432 ♣	0,0547	0,0168
0,0140	0,0301	0,0547	0,0301	0,0140
0,0096	0,0140	0,0168	0,0140	0,0096

Probabilité de réception de l'innovation à partir d'un émetteur localisé dans la cellule centrale (♣).

b) Le champ moyen d'information

0-95	96-235	236-403	404-543	544-639
640-779	780-1080	1081-1627	1628-1928	1929-2068
2069-2236	2237-2783	2784-7214 ♣	7215-7761	7762-7929
7930-8069	8070-8370	8371-8917	8918-9218	9219-9358
9359-9454	9455-9594	9595-9762	9763-9902	9903-9999

Le champ moyen d'information est construit à partir du champ de contact. Les intervalles de probabilités de chaque maille sont exprimés en dix millièmes du total du champ. A chaque stade de la procédure de simulation, celui-ci est successivement centré sur chacune des cellules émettrices.

Le champ moyen d'information n'est donc qu'une autre expression du champ de contact. Celle-ci permet de désigner, par un tirage au sort sur une table de nombres au hasard, la cellule atteinte durant l'intervalle T_n-T_{n+1} .

Tableau 5.1. Exemple de champ de contact dans l'hypothèse d'une distribution homogène des récepteurs potentiels (d'après Hägerstrand [HAG 53])

5.3.2. Les règles du modèle de base

5.3.2.1. La diffusion dans un espace homogène

- la zone étudiée est un espace homogène sur lequel sont répartis de manière uniforme les adoptants potentiels (Tableau 5.1). Elle est divisée par une grille régulière. Chaque maille réunit le même nombre d'adoptants potentiels,

- le temps du processus de diffusion est lui-même discrétisé en intervalles d'égale durée. Au moment initial retenu T_0 on repère les mailles sources, c'est-à-dire toutes celles qui ont déjà accueilli au moins une fois le phénomène nouveau en cours de diffusion et qui se trouvent donc en position de transmettre l'innovation à une autre unité de la maille ou à des unités localisées dans d'autres mailles,

- à partir d'une maille source, le message ne peut être transmis qu'une seule fois pendant chaque période discrète de temps. La transmission se fait par contact entre deux mailles seulement. La probabilité que des mailles reçoivent l'information d'une source dépend du champ de contact défini. L'adoption est réalisée dès qu'un message a été reçu. Une maille reçoit le message au temps T_1 et le retransmet au temps T_2 ,

- une information reçue par des cellules qui ont déjà adopté l'innovation n'affecte pas la situation. Les messages tombant en dehors des frontières sont considérés comme perdus,

- à chaque intervalle de temps, le champ moyen d'information est successivement centré sur chaque cellule source. La localisation de la cellule du champ de contact qui reçoit l'innovation est déterminée par une procédure aléatoire,

- la diffusion peut s'interrompre à n'importe quel stade du processus,

- lorsque toutes les cellules ont reçu l'innovation, le processus de diffusion est achevé. Après un grand nombre de tirages, on obtient la forme la plus probable de l'extension spatiale du processus de diffusion.

5.3.2.2. La diffusion dans un espace hétérogène

Le modèle de base a subi de nombreux enrichissements pour s'adapter aux processus particuliers qui ont été étudiés et modélisés. On note en particulier l'intégration de formes d'hétérogénéité de l'espace géographique (Tableau 5.2)

- l'inégale répartition des adoptants potentiels est prise en compte dans la probabilité de contact entre la cellule émettrice et la cellule réceptrice. On recourt en général à une pondération des probabilités telle que la probabilité que l'innovation soit acceptée dans une maille augmente avec le nombre des adoptants potentiels de la maille, et diminue ensuite, au fur et à mesure que la maille se rapproche de la saturation,

- l'existence de barrières qui freinent ou bloquent la diffusion dans la zone

a) Répartition des adoptants potentiels N_{ij} autour de la maille x_3, y_3 .

	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
x_1	6	9	4	12	1
x_2	1	3	2	2	16
x_3	8	23	4	7	2
x_4	5	21	9	12	6
x_5	2	6	11	26	5

La répartition des adoptants potentiels varie en fonction de la cellule émettrice prise en compte.

b) Champ de contact

0,01	0,014	0,017	0,014	0,0096
0,014	0,03	0,055	0,03	0,014
0,017	0,055	0,443♣	0,055	0,017
0,014	0,03	0,055	0,03	0,014
0,01	0,014	0,017	0,014	0,01

Les probabilités d'adoption de l'innovation P_{ij} sont définies pour toute la durée de la procédure ; elles dépendent de la fonction d'interaction spatiale choisie pour caractériser le processus.

♣ celle centre du champ de contact

c) Probabilités P_{ij} pondérées par la population N_{ij} , dans le cas où l'émission provient de la maille x_3, y_3

	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
x_1	0,056	0,126	0,068	0,168	0,01
x_2	0,014	0,09	0,109	0,06	0,224
x_3	0,134	1,258	1,773	0,383	0,034
x_4	0,0700	0,6321	0,4923	0,3612	0,0840
x_5	0,0192	0,084	0,1848	0,3640	0,0480

d) Probabilités d'adoption pondérées et standardisées, dans le cas où l'émission provient de la maille x_3, y_3

	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
x_1	0,008	0,018	0,01	0,025	0,001
x_2	0,002	0,013	0,016	0,009	0,033
x_3	0,02	0,184	0,259	0,0559	0,0049
x_4	0,01	0,092	0,072	0,053	0,012
x_5	0,003	0,012	0,027	0,053	0,007

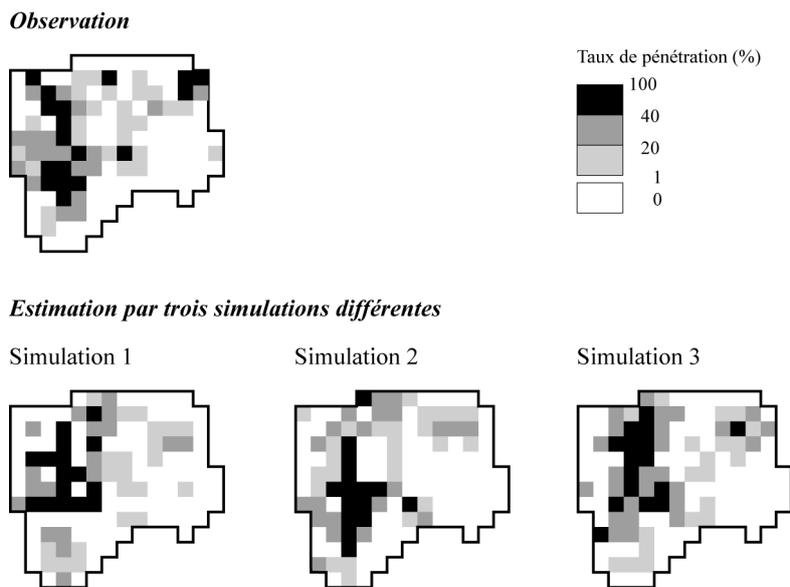
Tableau 5.2. Exemple de champ de contact dans l'hypothèse d'une distribution hétérogène des récepteurs potentiels

étudiée est introduite dans le modèle en considérant que, quand une barrière s'interpose sur la trajectoire du contact, la probabilité que ce dernier ait lieu est réduite. Cette réduction est fonction des hypothèses faites sur la perméabilité de la barrière dans le cas du processus étudié,

- l'inégale résistance des zones à l'adoption de l'innovation est prise en compte en corrigeant la règle selon laquelle l'adoption est réalisée dès qu'un message est reçu. On pourra à ce propos se reporter aux propositions faites par la suite par Cliff et Ord [CLI 75].

5.3.3. La procédure de simulation

La simulation du processus de diffusion est obtenue par une procédure de type Monte Carlo. A chaque temps T_n , le champ moyen d'information était centré successivement sur chaque cellule source. Le tirage au sort permet de désigner la cellule réceptrice. Dans la mesure où ils permettent d'opérer à l'échelon et d'intégrer des procédures de tirage au sort de type Monte Carlo, on peut considérer que les outils de la micro simulation pourraient à terme être adaptés à des démarches de simulation du type de celle préconisée par Hägerstrand quand il étudiait la diffusion de la pratique des prairies artificielles dans le canton d'Asby en Suède (Figure 5.5).



Source : Hagerstrand, 1953

Figure 5.5. La simulation de la pénétration de la prairie artificielle dans le Comté d'Asby en 1932

Les modèles de simulation des processus de diffusion spatiale peuvent avoir l'ambition de prévoir et de prévenir les avancées spatiales du processus. Bien des modélisations, en particulier dans le domaine de l'épidémiologie, ont été construites dans ce but. La démarche consiste alors à tester la validité du modèle en confrontant la propagation spatiale simulée à la propagation observée, à modifier si besoin est le modèle pour rapprocher autant que possible les distributions simulées des distributions observées, et à recourir à ce dernier pour prévoir, sur une durée compatible avec les hypothèses du modèle, la forme de la diffusion spatiale à laquelle on risque d'être confronté. Hors de ce champ bien particulier, où les modèles de simulation n'ont d'ailleurs pas toujours fait preuve de l'efficacité escomptée, les modèles de simulation appliqués à la diffusion spatiale ont davantage été utilisés à des fins heuristiques. Il s'est agi avant tout de tenter de formaliser les connaissances acquises sur un processus, la simulation de la diffusion spatiale d'un phénomène ou un ensemble de simulations, effectuées sous différentes hypothèses de développement du processus, étant confrontées à une diffusion observée. C'est la démarche qu'avait empruntée Hägerstrand quand il avait proposé une modélisation de la diffusion des prairies artificielles dans le comté d'Asby en Suède. Sur cet exemple relativement simple, l'auteur montrait à la fois la bonne convergence des résultats de trois simulations successives et la restitution satisfaisante de la distribution spatiale des exploitations agricoles ayant adopté l'innovation. Le constat d'un certain nombre d'écarts entre la distribution observée et les distributions simulées renvoyait l'auteur à une réflexion sur les limites du modèle qui, trop restrictif selon lui, n'intégrerait dans la définition des canaux de propagation que des propriétés de proximité d'ordre spatial. Reprenant le même exemple Cliff et Ord [CLI 73] concluaient dans des directions un peu différentes. Ils soulignaient l'autocorrélation spatiale des résidus entre distribution observée et distribution simulée et considéraient que le modèle avait eu tendance à surestimer l'impact de la diffusion dans et à proximité des cellules initialement atteintes, imputant ces écarts à deux causes. La première tenait selon eux à ce que la fonction d'interaction qui définissait le champ de contact correspondait à une diminution trop lente de la probabilité de contact entre émetteur et récepteur avec la distance. La seconde cause invoquée par ces auteurs concernait la manière dont avait été défini le degré de perméabilité des barrières, des barrières imperméables ou perméables à seulement 50% isolant des périphéries du territoire, rendaient l'accès de ces dernières peu probable, y accentuant les chances de sous estimation de la diffusion.

De telles investigations ont aussi pu conduire à l'exploration de formes possibles de la diffusion spatiale engendrées en jouant sur la modification soit des conditions initiales, soit des paramètres du processus proprement dit. Tant qu'elles se sont inscrites dans cette direction, les modélisations des processus de diffusion ont évolué dans le sens d'un raffinement des fonctions d'interaction et des procédures de simulation que les récentes évolutions des modélisations informatiques devraient faciliter.

5.4. Modèles d'analyse, modèles interprétatifs

En 1992, P. Gould remarquait à propos des recherches épidémiologiques, que, en dépit d'outils de simulation de plus en plus puissants, les modélisations à visées prédictives mises en œuvre pour simuler des diffusions spatiales n'avaient pas connu les développements escomptés. Il imputait cette faiblesse à une trop grande méconnaissance préalable des processus à l'œuvre. Cette remarque peut être élargie à l'ensemble des travaux de simulation des processus de diffusion spatiale. Pendant longtemps, les recherches ont davantage porté sur le raffinement des formalisations et des procédures de simulation que sur une exploration approfondie et formalisée des processus à l'œuvre dans un mouvement de propagation. P. Gould invitait donc chacun à mieux utiliser les nouveaux outils informatiques pour une prospection plus systématique et plus formalisée des formes spatiales des processus de diffusion identifiés, pour une exploration plus systématique quitte à revenir ensuite, pour ces processus, à des simulations plus réalistes et probablement plus efficaces dans le cas de perspectives appliquées.

C'est bien dans ces directions que, au cours des dernières années, les modélisations relatives aux processus de diffusion spatiale ont été développées. On a insensiblement glissé d'une démarche de type « tout se passe comme si » à une démarche visant à mieux cerner le comment des choses, à mieux qualifier les mécanismes sous tendant la propagation spatiale. Ces modélisations ont davantage visé soit la définition de la forme spatiale de la diffusion pour en inférer des hypothèses sur le processus lui-même, soit la modélisation d'un ensemble d'hypothèses susceptibles de rendre compte du processus étudié. Moins ambitieuses en apparence, ces explorations s'avèrent pourtant particulièrement fécondes en ce qu'elles permettent de mieux pénétrer dans la grande complexité des processus de diffusion spatiale. En prenant appui sur quelques exemples, on se propose d'évoquer ces directions de recherche qui devraient, à terme, beaucoup enrichir notre compréhension de ces processus. On choisit en premier lieu de rappeler l'intérêt de l'analyse liée à la phase de repérage, d'identification d'un processus de diffusion spatiale. On s'arrête dans un deuxième temps sur le type de démarche qui vise à modéliser la forme prise par le processus de diffusion en ne faisant intervenir dans cette modélisation que les seuls attributs spatiaux ou spatio-temporels des lieux concernés ou potentiellement concernés par le processus. Dans un troisième temps, on attire l'attention sur la construction de modèles dont l'objectif est d'interpréter un processus particulier de diffusion spatiale en recourant non seulement à des attributs spatiaux des lieux mais aussi à des attributs sémantiques de ces mêmes lieux.

5.4.1. Repérages

En préalable à toute entreprise de modélisation, l'analyse des données est souvent utilisée pour identifier un processus de diffusion spatiale, en repérer les cadres majeurs. Quelques questions simples guident en général cette exploration. Peut-on repérer un ordonnancement de l'apparition d'un phénomène qui combine régularité spatiale et régularité temporelle ? Le processus s'est-il développé à partir d'un ou de plusieurs pôles ? La diffusion a-t-elle été continue dans le temps ?

Dans son étude sur la diffusion des couvents mendiants dans la France médiévale, en tant que traces du développement urbain, A. Guerreau [GUE 81] considère les 609 couvents créés entre 1235 et 1450. Pour chacun, l'auteur connaît la congrégation d'affiliation, la date de fondation et la localisation. Il agrège l'information recensée à l'échelon des départements et dénombre pour chacun de ces derniers les couvents de chacun des quatre principaux ordres mendiants, au terme de 7 périodes successives de temps. Une analyse factorielle effectuée sur ce tableau permet d'individualiser des séquences de diffusion et des modèles spatiaux différents pour la France du Nord et pour la France du Sud. Dans le Nord, à un démarrage plus rapide et à un essoufflement plus précoce du mouvement correspond une diffusion fortement hiérarchisée qui se fait largement en auréoles concentriques à partir du cœur du Bassin parisien (quadrilatère formé autour de Sens, Orléans, Chartres et Paris, foyers initiaux du mouvement). Dans le sud à l'inverse, aucune structure spatiale d'ensemble ne se dessine. A un démarrage plus lent et à des flux de créations par la suite plus puissants, sont associés plusieurs foyers situés le long d'un axe : Nice, Marseille, Narbonne, Toulouse et La Rochelle. Dans ces villes, les créations précoces sont relativement denses mais autour d'elles aucune structure spatiale de diffusion n'est discernable. A partir de ce constat, A. Guerreau formule l'hypothèse d'une moindre intégration des centres touchés par ces 369 fondations méridionales, et de l'existence de plusieurs strates de diffusion. L'auteur retrouve la strate des villes d'un réseau urbain méridional relativement bien intégré d'une part, et celle privilégiant les circuits d'échange locaux très actifs et peu intégrés à l'ensemble du réseau d'autre part.

En préalable à une modélisation des fondements du développement de la transition démographique en France durant le XIXe siècle N. Bonneuil [BON 97] prend appui sur une classification ascendante hiérarchique des départements qui ordonne ces derniers en fonction des courbes des taux de fécondité enregistrés entre 1806 et 1906. Cette classification permet à l'auteur d'identifier, à l'échelon de l'ensemble de la France, trois pôles où les taux, continûment les plus bas, ont été prématurément touchés par le déclin : Normandie et pays de la Loire, Champagne et nord de la Bourgogne, et enfin pays de la Garonne. Pour chacun de ces pôles, l'auteur note qu'une rapide convergence au déclin s'est manifestée en interne et de proche en proche, comme dans le dernier cas par exemple, où la diffusion partie du

Tarn et Garonne se serait manifestée en direction de la Gironde d'une part et de la Haute-Garonne d'autre part. Des enclaves rurales telles le Limousin, la Bretagne, les Hautes-Alpes et la Corse ont correspondu aux derniers départements atteints. Associé au constat d'une réduction du niveau de la moyenne et de la dispersion des taux départementaux de fécondité, le repérage de ces tendances spatio-temporelles régulières a permis à l'auteur de poser les premiers jalons de l'hypothèse centrale de sa recherche. D'une part, la manière dont la transition démographique s'est propagée sur le territoire national justifiait bien que cette propagation soit appréhendée comme un processus de diffusion spatiale. D'autre part, ce processus devait être intégré en tant que tel au schéma interprétatif du développement de la transition en France durant le XIX^e siècle.

5.4.2. *Modèles de forme*

Au-delà de ces explorations préliminaires, la modélisation peut correspondre à une recherche d'explicitation des règles du processus de diffusion spatiale par la définition de la forme de ce dernier. La démarche consiste à identifier quelles fonctions connues rendent compte des distributions spatiales aux différents stades de la diffusion. On confronte en général les distributions spatiales observées à ce qu'elles auraient été si elles avaient été engendrées par des lois de formation connues et conformes aux hypothèses faites sur le développement du processus étudié. Pour définir la forme des semis de points issus d'un processus de diffusion, on privilégiera en général d'autres références que celle d'un semis de points strictement aléatoire (loi de Poisson). Ainsi, la loi binomiale servira de référence quand, au cours de la propagation, la probabilité qu'un élément se localise dans une maille diminuera en fonction du nombre d'éléments déjà concentrés dans cette maille, le processus engendrant un semis plus régulier que celui issu d'une la loi de Poisson. C'est la référence à une loi binomiale qui a été testée par A. Guerreau pour retrouver les points d'équilibre entre semis des couvents mendiants et réseaux des villes de la France du Nord et de la France du Sud. Le modèle ne s'est avéré pertinent que pour la France du Nord (Tableau 5.3).

L'auteur démontre en effet que, dans la France du Sud, le semis des couvents correspond en fait à deux semis, celui des couvents localisés dans les villes, qui serait mieux décrit par une loi binomiale et celui des couvents rattachés à des bourgades rurales, en prise sur des réseaux monétaires locaux qui échappent de fait au réseau urbain de l'époque, ce semis de bourgades correspondant plutôt à un semis de points strictement aléatoire. Quand la diffusion s'accompagne d'une tendance à la concentration spatiale, la loi binomiale négative paraît plus adaptée. Dans ce cas de figure, souvent rencontré à propos de la diffusion spatiale de certaines épidémies, la première localisation est équiprobable mais, par la suite, la probabilité qu'un élément se localise dans une maille dépend de la présence du

nombre d'éléments déjà localisés dans la maille, et cette probabilité augmente avec le nombre de points qui y sont déjà concentrés.

Dans ces exemples, l'autocorrélation temporelle n'est pas prise en compte, les distributions sont analysées à chaque date, indépendamment de l'état du système aux dates précédentes.

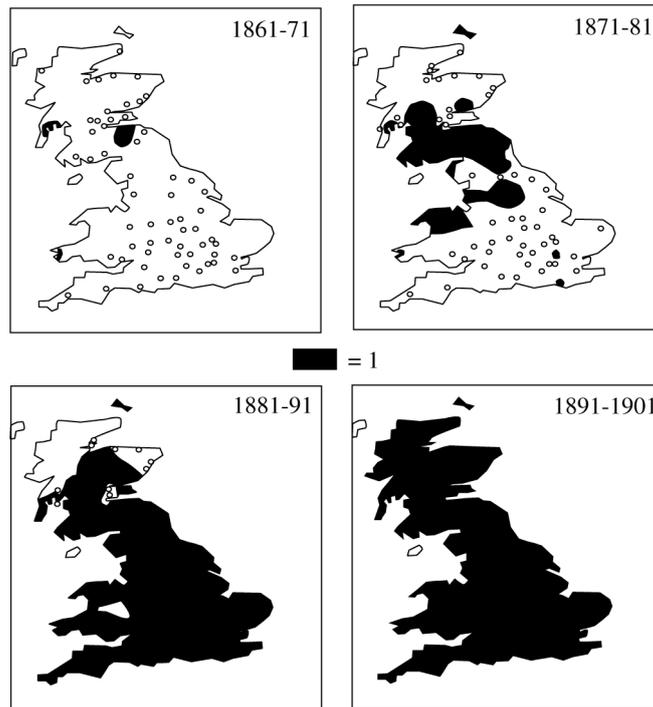
a) France du Nord							
<i>Années</i>	<i>1235</i>	<i>1250</i>	<i>1265</i>	<i>1280</i>	<i>1300</i>	<i>1350</i>	<i>1450</i>
<i>Nombre de couvents</i>	54	82	107	126	140	165	219
<i>Nombre de départements à</i>							
0 couvent	16	9	3	2	2	1	0
1 couvent	9	8	10	9	5	3	2
2 couvents	11	15	14	10	10	9	4
3 couvents	2	1	4	8	9	8	5
4 couvents	3	4	4	2	5	6	8
..
11 couvents	0	0	0	0	0	0	2
Probabilité de correspondance entre la distribution observée et la distribution théorique dans le cas :							
d'une loi binomiale	0.22	0.02	0.37	0.24	0.94	0.88	0.79
d'une loi normale	0,22	0,05	0,07	0,40	0,69	0,64	0,95
b) France du Sud							
<i>Années</i>	<i>1235</i>	<i>1250</i>	<i>1265</i>	<i>1280</i>	<i>1300</i>	<i>1350</i>	<i>1450</i>
<i>Nombre de couvents</i>	33	76	129	190	254	324	369
<i>Nombre de départements à</i>							
0 couvent	26	14	7	4	3	1	0
1 couvent	7	9	4	3	2	2	1
2 couvents	5	6	10	4	5	4	1
3 couvents	4	8	6	10	4	5	3
4 couvents	1	2	6	4	4	2	5
..
18 couvents	0	0	0	0	0	2	3
Probabilité de correspondance entre la distribution observée et la distribution théorique dans le cas :							
d'une loi binomiale	0.025	0.025	0.66	0.26	0.013		
d'une loi normale	0,02	0,61	0,86	0,37	0,58	0,97	0,94

Tableau 5.3. *La diffusion des couvents mendiants dans la France médiévale*

Il est possible de recourir à des familles de modèles qui caractérisent le processus à l'œuvre, en prenant simultanément en compte les dimensions de l'espace et du temps. Dans la large panoplie des outillages possibles, le recours aux modèles spatiaux auto-régressifs a été fréquent et ce d'autant plus que, désormais les formalisations informatiques du type automates cellulaires facilitent leur mise en œuvre. Ces modèles tendent à expliquer l'état d'un lieu à un temps T , en tenant compte de l'état de ce lieu et de celui des lieux voisins dans le passé. Des paramètres du modèle significatifs d'une auto-régression spatiale positive seraient révélateurs d'une diffusion. Pourtant, ces modèles qui, d'une manière générale, rendent bien compte des changements spatiaux dans le temps posent un problème particulier quand ils sont appliqués à un processus de diffusion spatiale. En effet, s'ils cernent bien l'autocorrélation spatiale du changement, ils ne sont pas capables de discerner les spécificités d'un processus de diffusion, c'est-à-dire d'un processus qui repose sur des mécanismes d'interaction spatiale. Ils peuvent assimiler à une diffusion une croissance qui, au cours du temps, s'adapte de mieux en mieux à un gradient géographique, du fait de simples mécanismes de rétroaction capables à eux seuls d'entraîner ce type de variation. Différentes solutions ont été recherchées pour contourner ce type de difficulté. A titre d'exemple, on évoque ici la solution imaginée par J.-P. Bocquet-Appel et L. Jakobi dans une étude sur la diffusion spatiale de la contraception en Grande-Bretagne.

Les auteurs cherchaient à définir les canaux de diffusion et la forme prise par la propagation des méthodes contraceptives en se demandant si les localités qui, à chaque date, s'engageaient dans la transition démographique étaient distribuées dans le temps et dans l'espace de manière aléatoire. A partir d'un échantillon de chefs-lieux de comtés pour lesquels l'information était connue à différentes dates entre 1861 et 1901, les auteurs ont en premier lieu procédé à une estimation spatiale quasi continue de la fécondité sur l'ensemble de la Grande-Bretagne. Pour chacune de ces distributions spatiales, et pour chaque date, ils ont alors construit un indice (Z) qui, en tout lieu, définit l'entrée d'une localité dans la transition démographique (noté 1 si l'entrée a eu lieu et 0 dans le cas contraire). Cet indice se présente donc sous la forme d'une variable binaire qui précise si la localité a passé (localité « transiente ») ou n'a pas passé un seuil relatif de taux de variation de la fécondité. Afin de discerner les cheminements de la diffusion, J.-P. Bocquet-Appel et L. Jakobi ont, à chaque date, considéré les distributions spatiales cumulées de cette nouvelle variable Z (Figure 5.6). Pour un point donné, les proximités ont été définies simultanément par deux distances, l'une spatiale et l'autre temporelle. L'interaction spatio-temporelle est testée sur cette variable binaire à l'aide du test de Knox dont l'hypothèse nulle est la suivante : les localités qui effectuent la transition démographique dans le temps se distribuent-elles de manière aléatoire dans l'espace, ce qui équivaudrait à l'absence d'un processus de diffusion, ou bien sont-elles simultanément plus proches en moyenne dans le temps et dans l'espace ce qui

**Distribution spatiale cumulée des pixels de la variable Z (0,1),
indicateur de l'introduction de la contraception pour les quatre
périodes, de 1861-1871 à 1891-1901**



**Distribution spatio-temporelle des paires de localités ayant
effectué la transition pour deux proximités géographiques**

Proximité temporelle	Proximité géographique			
	proximité : distance < 383 km		proximité : distance < 100 km	
	localités proches	localités éloignées	localités proches	localités éloignées
localités proches	755	391	116	1030
localités éloignées	869	988	111	1746

Figure 5.6. La diffusion de la contraception en Grande-Bretagne entre 1861 et 1901

équivalent au repérage d'un processus de diffusion. Deux distances l'une géographique et l'autre temporelle sont fixées pour déterminer respectivement la proximité et au-delà, l'éloignement, dans chacun des deux espaces. En l'absence de toute information sur le rayon géographique de la diffusion supposée, deux valeurs ont été fixées pour définir la proximité géographique moyenne entre toutes les paires de localités soit, 383 km d'une part et 100km d'autre part. La proximité dans le temps a été déterminée de telle manière que seules les localités effectuant la transition au cours de la même période chronologique soient prises en considération. Pour un ensemble N de localités, la statistique X de Knox dénombre parmi les $(N(N-1)/2)$ paires de localités celles qui sont simultanément proches dans le temps et dans l'espace (Figure 5.6). Au total, la méthode a permis aux auteurs d'individualiser un processus de diffusion, d'en définir la forme spatio-temporelle, identifiant ses deux foyers originels, et montrant que le processus est parti en Grande-Bretagne de zones de fécondité très élevée.

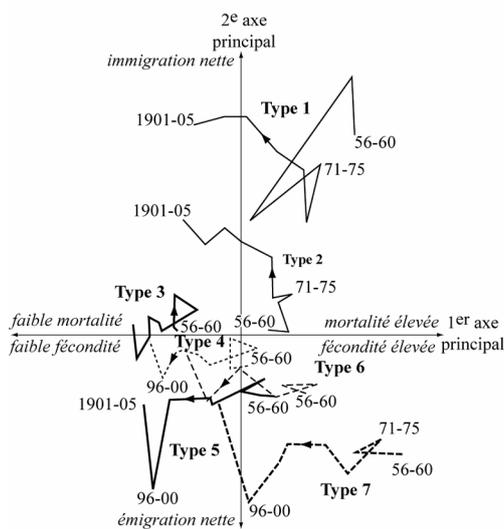
5.4.3. Modèles interprétatifs

Les formalisations précédemment évoquées rendent compte d'une dynamique spatiale en mobilisant, à propos des lieux potentiellement concernés par la diffusion, des propriétés spatiales, voire spatio-temporelles. Une autre démarche consiste à chercher à interpréter un processus de diffusion comme résultant de la combinaison spatio-temporelle de plusieurs vecteurs de changement spatial. Dans ce cas, la mise en œuvre de modèles dynamiques combine à la fois des variables spatiales et des variables sémantiques. Il est hors de portée de prétendre brosser un panorama de ces explorations. A partir de deux exemples particuliers, on illustre simplement toute la richesse de telles investigations.

Les travaux de N. Bonneuil [BON 97] relatifs à la diffusion de la transition démographique sur le territoire français durant le XIXe siècle sont une illustration particulièrement intéressante de ce type d'exploration. La démarche retenue par l'auteur met en œuvre un modèle auto-régressif multivarié, ce qui la rapproche de démarches relativement classiques en économétrie pour l'analyse des séries chronologiques. Au moyen d'une classification ascendante hiérarchique, N. Bonneuil définit des classes de départements homogènes pour leur évolution démographique durant 10 périodes quinquennales successives (entre 1856 et 1906), l'évolution étant cernée par les variations des taux de fécondité, de l'espérance de vie, et des taux de migration nette des femmes âgées de 20-24 ans et de 25-29 ans. L'auteur considère que l'ensemble de ces types est représentatif de l'espace temps de la transition démographique en France (Figure 5.7). Il fait l'hypothèse que d'autre part, les changements intervenus sur le long terme dans les taux de fécondité

résultent d'un ajustement progressif de ces variations aux conditions locales,

a) Les types de trajectoires départementales



Les types de trajectoires démographiques des départements français, entre 1856-1860 et 1901-1905, sur le premier plan factoriel d'une analyse en composantes principales.

b) L'espace-temps de la transition, d'après les types d'évolutions démographiques des départements

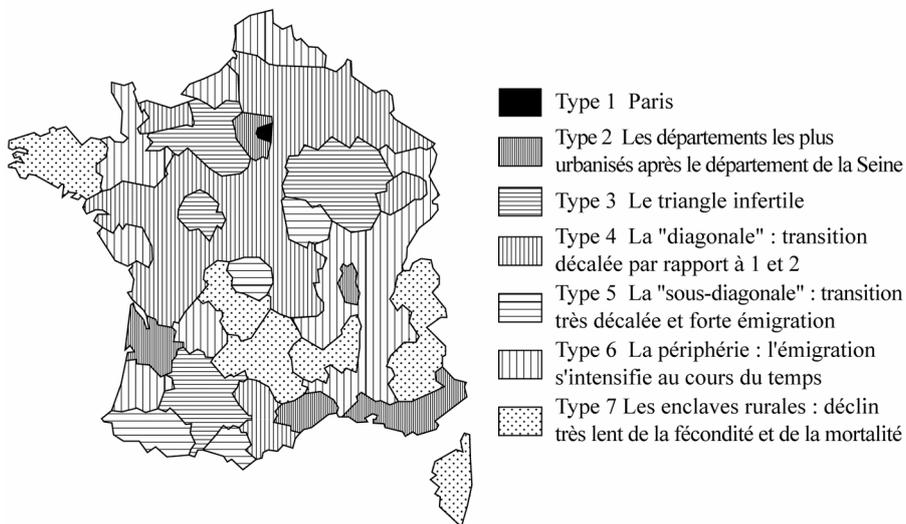


Figure 5.7. L'espace-temps de la transition démographique en France, d'après N. Bonneuil, 1997

lesquelles résultent d'effets conjoints liés aux changements des taux de mortalité, des taux de migration, des taux d'urbanisation et des niveaux d'éducation. Appliquant ce modèle aux différents types spatio-temporels précédemment définis (classes de départements), l'auteur confirme la force du modèle d'un espace-temps de la transition et par là même celui d'une diffusion spatiale de cette transition. La méthode d'analyse des relations entre séries temporelles a permis de mettre en évidence les évolutions jointes de séries temporelles non stationnaires qui se vérifient sur le long terme. Elle permet à l'auteur de montrer que l'équilibre entre fécondité et évolution de l'environnement local s'effectue sur le long terme, des interactions de court terme ne semblant se manifester que dans les parties les plus rurales du territoire, là où l'importance des flux migratoires en direction de Paris amortit l'influence des conditions locales sur les variations de long terme des taux de fécondité. L'originalité de la démarche tient ici à une exploration des ajustements temporels qui sous-tendent un processus de diffusion spatiale composite.

Dans la lignée des démarches interprétatives des processus de diffusion, L. Sanders [SAN 92] explore une autre voie. A propos de la seconde moitié du XXe siècle, l'auteur souhaite définir et interpréter, les évolutions de l'attractivité des villes françaises, cette attractivité étant lue comme un indicateur de la diffusion du changement économique dans le système des villes. Afin de modéliser ces attractivités, L. Sanders emprunte le cadre conceptuel de la synergétique qui a pour objet l'analyse des systèmes complexes composés de nombreux sous systèmes reliés entre eux par des relations de coopération. La modélisation de la dynamique des populations des villes ne prend ici en compte que la croissance d'origine migratoire interne au système. Une des originalités du modèle dynamique mis en œuvre est d'intégrer *a priori* peu d'hypothèses relatives à la théorie urbaine et aucune variable spécifiquement géographique. En revanche, le calibrage du modèle fournit plusieurs indicateurs caractéristiques des redistributions de la population entre les villes.

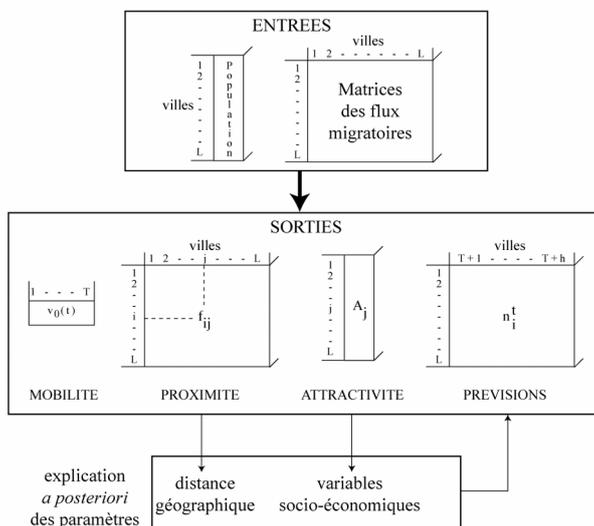
De la confrontation de ces indicateurs (effet de la proximité et attractivité) et de variables décrivant l'environnement économique et social du système résulte la formulation d'hypothèses relatives au processus de diffusion du changement économique dans le système des villes. Au moyen d'une analyse de régression, L. Sanders teste les hypothèses selon lesquelles l'attractivité des villes dépendrait à chaque séquence de temps d'une part, de l'importance de leur population à travers le double effet de mécanismes d'agglomération et de saturation et d'autre part, de la préférence associée à une ville indépendamment de sa taille, compte tenu de sa situation et de ses caractéristiques culturelles, économiques et sociales. Le modèle met en évidence la grande inertie des attractivités qui apparaissent fortement dépendantes de la structure hiérarchique des tailles de villes et pour lesquelles les effets de saturation jouent un rôle mineur. L'analyse des résidus de régression, véritables indicateurs de l'existence d'attractivités différentielles, met très clairement en évidence des contrastes régionaux qui évoluent rapidement dans le

temps et qui peuvent être rapprochés des modalités spatio-temporelles de la diffusion des nouvelles activités économiques dans le système des villes (Figure 5.8). Les différences d'attractivité relative des agglomérations françaises reflètent bien les positions privilégiées de ces dernières par rapport à des cycles d'innovation successifs. Le modèle de la synergétique prend en compte ces deux dimensions. La première transparait avec l'effet de taille des villes, la seconde est bien mise en lumière par les indicateurs d'attractivité préférentielle. Au total, en relation directe avec le concept de la synergétique, la modélisation de la dynamique des populations urbaines à partir des migrations interurbaines, a permis la production d'indicateurs (attractivité, et attractivité préférentielle), particulièrement significatifs de la diffusion spatiale des cycles d'innovation dans le système des villes.

5.5. Conclusion

Parmi les lectures possibles de l'état des travaux sur la modélisation des processus de diffusion spatiale il en est sans doute une qui tendrait à conclure au relatif éclatement des recherches actuelles et, par voie de conséquence, à celui d'une certaine perte de la lisibilité de ces dernières au regard de ce que serait un schéma un peu simpliste des processus de diffusion spatiale des innovations. Cette représentation des choses ne nous semble pas convenir. Oser s'aventurer au cœur de la complexité de ces processus est le grand enjeu de ces recherches. Une telle ambition interdit les chemins tracés d'avance qui nous ont probablement déjà appris l'essentiel de ce qu'ils pouvaient nous apprendre. En conclusion, c'est donc moins cette perte de lisibilité immédiate qui doit retenir l'attention que la richesse toute en nuances de ce foisonnement de recherches exploratoires. A terme, ces recherches sont de nature à donner une compréhension profondément renouvelée des processus de diffusion spatiale.

Fonctionnement du modèle



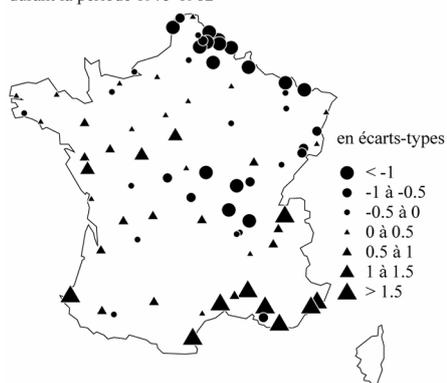
Décomposition de l'attractivité

$$A_i(t) = K n_i(t) - \sigma n_i(t)^2 + \delta_i(t)$$

attractivité
effet d'agglomération induit par la taille de la ville
effet de saturation
résidu de régression, préférence

La diffusion d'un cycle d'innovation

Préférences des agglomérations du système durant la période 1975-1982



Changement de cycle

Le changement de préférence entre 1954-62 et 1975-82

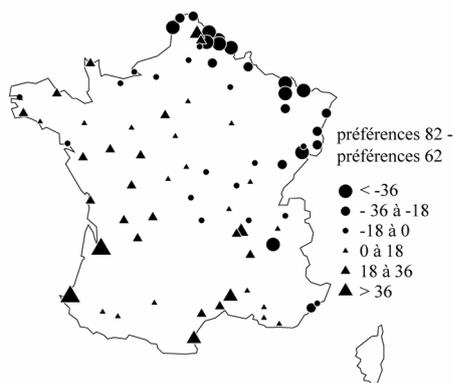


Figure 5.8. Modèle dynamique issu des concepts de la synergie, d'après L. Sanders, 1992

Bibliographie

- [AMA 90] AMAT-ROZE J. M., « Le sida en Afrique Noire : approche géographique d'une infection », *Revue Belge de Géographie*, n°4, p. 195-205, 1990.
- [BOA 40] BOAS F., *Race, language and culture*, New York, 1940.
- [BOC 97] BOCQUET-APPEL J.-P., JAKOBI L., « Diffusion spatiale de la contraception en Grande-Bretagne, à l'origine de la transition », *Population*, n°4, p. 977-1004, 1997.
- [BON 97] BONNEUIL N., *Transformation of the French demographic landscape 1806-1906*, Oxford University Press, 1997.
- [BOU 72] BOUDEVILLE J. R., *Aménagement du territoire et polarisation*, Paris Editions M. T. Genin, 1972.
- [BRO 81] BROWN L.A., *Innovation diffusion, a new perspective*, London, Methuen, 1981.
- [CAU 76] CAUVIN R., RIMBERT S., *Lecture numérique des cartes*, Editions de l'Université de Fribourg, 1976.
- [CLI 73] CLIFF A., ORD J.K., *Spatial autocorrelation*, London, Pion, 1973.
- [CLI 81] CLIFF A. D., HAGGETT P., ORD J.K. VERSEY G.R., *Spatial diffusion, an historical geography of epidemics in an Island Community*, London, Cambridge University Press, 1981.
- [COH 72] COHEN Y.S., *Diffusion of an innovation in an urban system. The spread of planned regional shopping centers in the United States 1949-1968*, Chicago, University of Chicago, Research Papers Series, 1972.
- [DEG 94] DEGENNE A., FORZÉ M., *Les réseaux sociaux*, Paris, A. Colin, 1994.
- [ELI 97] ELIOT E., « La diffusion du VIH à Bombay », *Espace Population Société*, n°2-3, p. 253-264, 1997.
- [FRE 85] FREEMAN C., « Long waves of economic development », dans *The information technology revolution*, Forester T. (edit.), Oxford, Blackwell, 1985.

- [FRI 69] FRIEDMANN J., *General Theory of polarized development*, Austin, Texas, 1969.
- [GEO 51] GEORGE P., « Critique de la notion de genre de vie. » dans *Introduction à l'étude géographique de la population du monde*, Paris, PUF, INED, Cahier 14, 1951.
- [GOU 68] GOUROU P., *Pour une géographie humaine*, Paris, Flammarion, 1968.
- [GOU 92] GOULD P., « Epidémiologie et maladie », dans *Encyclopédie de la Géographie*, BAILLY A., FERRAS R., PUMAIN D. (dir.), Paris, Economica, p. 969-990, 1992.
- [GUE 81] GUERREAU A., « Analyse factorielle et analyses statistiques classiques : le cas des ordres mendians dans la France médiévale », *Annales Economie Sociétés Civilisations*, n°5, p. 869-912, 1981.
- [HAG 52] HÄGERSTRAND T., « The propagation of innovation waves », *Lund Studies in Geography*, série B, n°4, 1952.
- [HAG 53] HÄGERSTRAND T., *Innovation diffusion as a spatial process*, Translation by Pred 1967, Chicago, University Press, 1953.
- [HAGG 77] HAGGET P., CLIFF A.D., FREY A., *Locational Models*, Arnold, Bristol, 1977
- [HAI 82] HAINING R., « Interaction models and spatial diffusion processes », *Geographical Analysis*, n°2, p. 95-108, 1982.
- [HAI 83] HAINING R., « Spatial and spatial temporal interactions models and the analysis of patterns of diffusion », *Transactions Institute of British Geographers, New Series*, n°2, p. 158-186, 1983.
- [HAL 88] HALL P., PRESTON P., *The carrier wave new information technology and the geography innovation 1846-2003*, Sage Publishers, 1988.
- [HUD 69] HUDSON J.C., « Diffusion in a central place system », *Geographical Analysis*, n°1, p. 45-58, 1969.
- [LAK 84] LAKE L.A., SEYDOU-NOUROU-TOURÉ E.M., *L'expansion du bassin arachidier au Sénégal, 1954-1979*, Dakar, IFAN, 1984.
- [LAN 83] LANGDALE J., « Competition in the United States long distance telecommunications industry », *Regional Studies*, p. 393-409, 1983.
- [LEV 58] LÉVI-STRAUSS C., *Anthropologie structurale*, Paris, Plon, 1958.
- [LYT 89] LYTT I., « Spatial diffusion of the human immunodeficiency virus infection epidemic in the United States, 1985-1987 », *Association of American Geographers*, n°1, p. 25-43, 1989.
- [MAH 85] MAHAJAN V., PETERSON R. A., *Models for innovation diffusion*, Newbury Park, Sage, 1985.
- [MEN 70] MENDRAS H., *La fin des paysans*, Paris, A. Colin, 1970.
- [MEN 79] MENSCH G., *Stalemate in technology*, Cambridge, M.A. Ballinger, 1979.
- [MOR 65] MORRILL R.L., « The negro ghetto, problems and alternatives », *Geographical Review*, n°55, p. 339-361, 1965.

- [MOR 89] MORRILL R., GAILE G.L., THRALL G.I., *Spatial diffusion*, London Sage Publications, Scientific Geography series, n°10, 1989.
- [MUR 77] MURRAY G.D., CLIFF A.D., « A stochastic models for measles epidemics in a multi-region setting », *Transactions Institute of British Geographers, New Series*, n°2, p. 158-174, 1977.
- [PAL 91] PALMA DE A., DROESBEKE J.-J., LEFEVRE C., *Modèles de diffusion en marketing*, Paris, PUF, 1991.
- [PED 70] PEDERSON P.O., « Innovation diffusion within and between national urban systems », *Geographical Analysis*, n°3, p. 203-254, 1970.
- [PER 57] PERROUX F., *Théorie générale du progrès économique*, Cahiers de l'ISEA, série 1, 1957.
- [PRE 66] PRED A., *The spatial dynamics of U.S., urban industrial growth 1800-1914, Interpretive and theoretical essays*, Cambridge, MIT Press, 1966.
- [PRE 73] PRED A., TORNQVIST G., *Systems of cities and information flows*, Lund, Gleerup, 1973.
- [PRE 75] PRED A., « Diffusion organizational spatial structure and city system of development », *Economic Geography*, n°51, p. 242-268, 1975.
- [PUM 97] PUMAIN D., SAINT-JULIEN Th., *L'analyse spatiale, volume 1. Localisations*, Paris, Colin, Cursus, 1997.
- [PUM 00] PUMAIN D., SAINT-JULIEN Th., *Les interactions spatiales, volume 2. Interactions*, Paris, Colin, Cursus, 2001.
- [RAV 98] RAVENEL L., *La géographie du football de haut niveau en France*, Paris, PUF, 1998.
- [ROG 83] ROGERS E.M., *Diffusion of innovations*, (third ed), New York, The Free Press, 1983.
- [SAI 82] SAINT-JULIEN Th., *Croissance industrielle et système urbain*, Paris, Economica, 1982.
- [SAI 85] SAINT-JULIEN Th., *La diffusion spatiale des innovations*, Montpellier, Reclus Mode d'Emploi, 1985.
- [SAI 92] SAINT-JULIEN Th., « Diffusion spatiale », dans *Encyclopédie de la Géographie*, BAILLY A; FERRAS R., PUMAIN D. (dir.), Paris, Economica, p. 577-598, 1992.
- [SAI 99] SAINT-JULIEN Th., *Services et commerce. Atlas de France, volume 11*, Reclus La Documentation Française, 1999.
- [SAN 92] SANDERS L., *Système de villes et synergie*, Paris, Economica-Anthropos, 1992.
- [SCH 34] SCHUMPETER J., *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*, Traduction en français 1935 *Théorie de l'évolution économique*, 1934.
- [SCH 35] SCHUMPETER J., *Business cycles: a theoretical historical and statistical analysis of the capitalist process*, New York, 1935.

- [SOR 48] SORRE M., « La notion de genre de vie et sa valeur actuelle », *Annales de Géographie*, n°306, p. 98-108, n°307, p. 193-204, 1948.
- [STR 98] STRONG D., SOULE S.A., « Diffusions in organizations », *Annuals Review Sociology*, vol. 24, p. 265-290, 1998.
- [THO 75] THOUVENOT C., *Les consommations et les habitudes alimentaires dans la France du Nord-Est*, Lille, RT, 1975.
- [TOR 70] TÖRNQVIST G., *Contact systems and regional development*, Lund, Gleerup, 1970.
- [VAN 81] VAN DER LEEUW S.E., « Information flows, flow structures and the explanation of change in human institutions », dans *Archeological approaches to the studies of complexity*, Amsterdam, Instituut voor Prae-en Protohistorie, 1981.
- [VAN 89] VAN DER LEEUW S.E., TORRENCE R., *What's new? A closer look at the process of innovation*, London, Unwin and Hyman, 1989.
- [VID 11] VIDAL DE LA BLACHE, « Les genres de vie dans la géographie humaine », *Annales de Géographie*, n°111, p. 193-212, n°112, p. 199-304, 1911.
- [WEB 78] WEBBER M.J., JOSEPH A.E., « Spatial diffusion processes 1: a model and an approximation method », *Environment and Planning*, n°6, p. 651-666, 1978.
- [WEB 79] WEBBER M.J., JOSEPH A.E., « Spatial diffusion processes 2: numerical analysis », *Environment and Planning*, n°3, p. 335-348, 1979.