

L'ANALYSE D'IMAGE APPLIQUÉE À L'ÉTUDE DE LA DIFFUSION SPATIALE D'UNE INNOVATION : LE CAS DU RÉSEAU ITINÉRIS

Céline TRITZ

UPRESA 6046 du CNRS, Laboratoire d'Analyse Spatiale
Université de Nice

Résumé

France Télécom, jusqu'alors leader sur le marché français des télécommunications, a développé ces trois dernières années son propre réseau de télécommunication mobile : Itinéris. Ce réseau est le résultat d'une récente innovation, fondée sur un nouveau standard numérique de transmission, le GSM (Global System for Mobile Telecommunications).

L'opérateur français diffuse son réseau de deux manières : d'un point de vue technique, avec l'équipement du territoire, d'un point de vue commercial, avec des politiques publicitaires alléchantes.

La plupart des travaux qui étudient la diffusion, concernent les adoptants potentiels, leur répartition et leur contagion par le phénomène. Dans notre étude, nous prenons appui sur les cartes de couverture éditées régulièrement dans les fascicules Itinéris pour analyser les processus d'expansion du réseau. La détection des formes de la diffusion et des règles qui régissent l'équipement a été menée grâce à l'analyse d'image et au moyen de la morphologie mathématique. La méthode présentée permet de coupler différentes couches d'information, mais surtout d'effectuer des mesures à l'aide de transformations d'images. Bien qu'encore à l'état d'ébauche, elle peut s'appliquer à tous types de données spatialisées et peut être utilisée pour décrire de manière qualitative et quantitative les formes, pour déterminer les règles de diffusion et, dans le cadre d'une étude prospective, pour quantifier les paramètres d'un modèle probabiliste de diffusion.

Mots-Clés

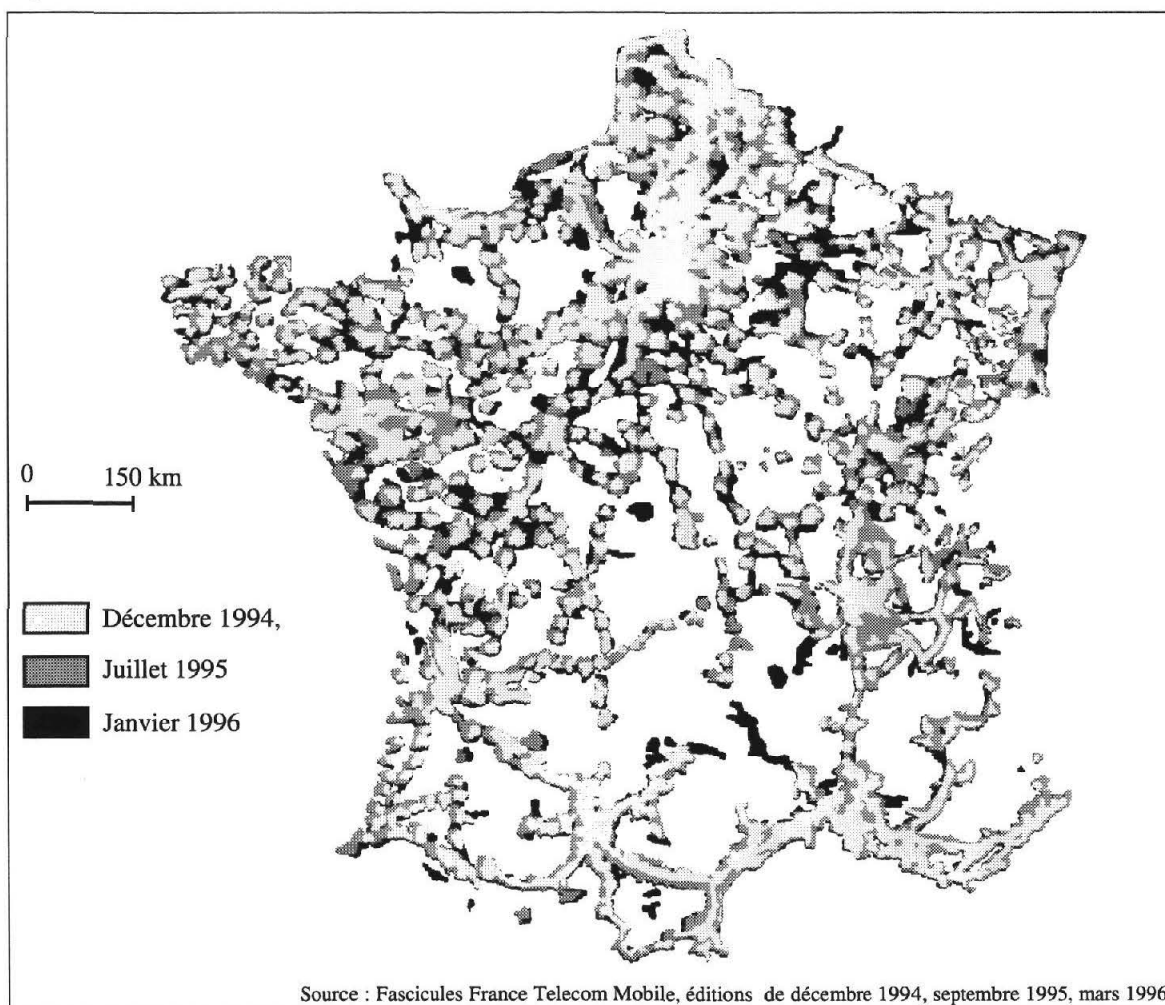
*Analyse d'image - Diffusion - Innovation - Prospective - Téléphone mobile
France*

France Télécom diffuse depuis trois ans son propre réseau de téléphonie mobile : Itinéris. Pour l'information des consommateurs, des cartes de couverture sont éditées régulièrement par l'opérateur, afin de diriger les utilisateurs à travers le territoire. Ces cartes, qui sont le témoin de l'expansion de la couverture, sont apparues comme un excellent support d'étude du phénomène de diffusion. En effet, l'espace est ici l'adoptant potentiel de l'innovation. Aussi, était-il intéressant de se pencher sur le processus qui explique sa contamination, ou non, par l'innovation. Pour ce faire, les techniques de l'analyse d'image et en particulier la morphologie mathématique ont été retenues. Les transformations d'images, la possibilité de coupler différentes couches d'information et surtout d'effectuer des mesures, ont permis de définir et d'approfondir la connaissance du processus : d'une part, par l'analyse des formes de la diffusion, et d'autre part, par la détection et la quantification des règles qui régissent le phénomène.

1. L'analyse des formes de la diffusion

Trois images qui représentent respectivement l'état de la couverture en décembre 1994, en juillet 1995 et en janvier 1996, ont été retenues pour servir de support à l'étude du processus (fig. 1).

Figure 1 : L'évolution de la couverture Itinérés



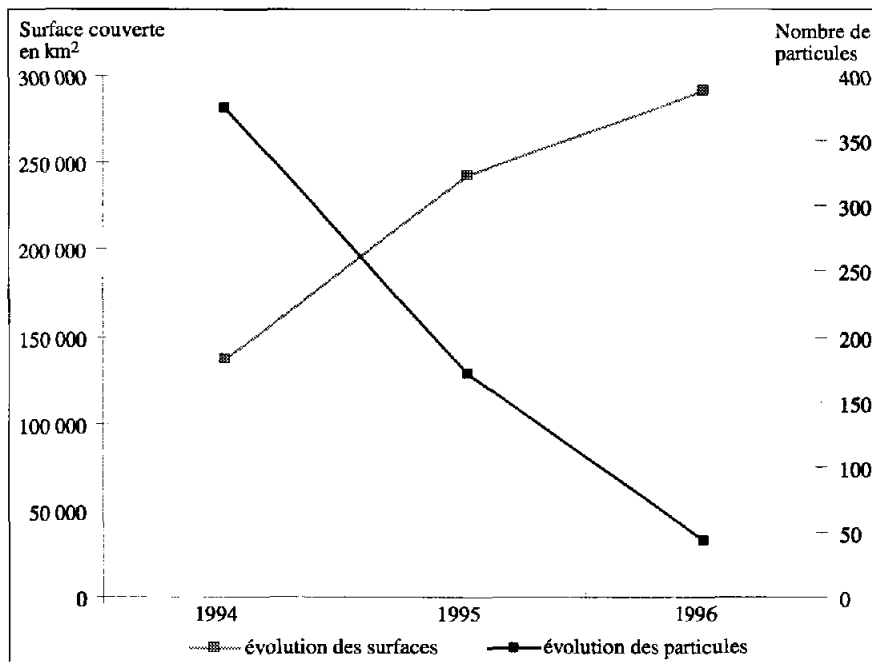
1.1. Dans un premier temps, il s'agit de savoir à quel type de diffusion l'on est confronté. Est-ce une diffusion par extension ou une diffusion par migration ?

Des calculs de surface, le comptage de particules, permettent d'apprécier l'évolution de la couverture (tab. 1 et fig. 2). Si la surface couverte augmente et le nombre de foyers diminue, la diffusion est alors le résultat d'un processus d'extension et de contagion. En revanche, si de nouveaux foyers surgissent, il s'agit d'un processus de migration.

Tableau 1 : La couverture en chiffres

Années	Surface couverte en km ²	Nombre de particules	Nouveaux foyers
1994	138 528	376	—
1995	244 450	173	19
1996	292 630	45	11

Figure 2 : Relation entre la surface couverte et le nombre de particules



Au stade primaire de la diffusion, 25 % du territoire est couvert et le nombre de foyers émetteurs est de 376. Leur répartition au sein du territoire est déjà créatrice de forts contrastes. Six mois plus tard, la surface couverte a augmenté de 76 % et concerne 40 % du territoire. Le nombre de particules est passé de 376 à 173 : deux particules sur quatre se sont agrégées. Le processus se poursuit entre 1995 et 1996 : la part du territoire couvert est désormais de 52 % et le nombre de particules est passé à 45, soit cette fois trois particules sur quatre qui se sont connectées. L'hypothèse d'une diffusion par extension semble être la bonne.

Il faut cependant s'intéresser à la part de nouveaux foyers, s'ils existent. Des reconstructions d'images permettent de les détecter : soit l'image X considérée comme masque, et l'image Y considérée comme marqueur. La reconstruction du masque X par le marqueur Y consiste à ne reconstruire que les particules dans lesquelles le marqueur est inclus.

La reconstruction de l'image de 1995 par celle de 1994 fait donc apparaître les zones touchées en 1994 plus les extensions contiguës, ce qui correspond aux zones acquises par extension ou contagion. La différence entre l'image de 1995 et celle obtenue par reconstruction permet de mettre en valeur les nouveaux foyers nés du processus de migration. Ces derniers, au nombre de 19, ne représentent en fait en surface que 1 % de la couverture. La même transformation relative aux images de 1995 et de 1996 en détecte 11, pour seulement 0,6 % de la surface totale. Ainsi, la part de la diffusion par migration est quasiment nulle.

La diffusion est donc fortement influencée par les facteurs de voisinage et de contagion et prend la forme de tache d'huile autour des foyers émetteurs. La probabilité qu'un élément de l'espace adopte l'innovation est donc fortement liée à la distance qui le sépare des foyers émetteurs. Les premiers contrastes nés de l'équipement restent les mêmes, ils perdent simplement de leur intensité.

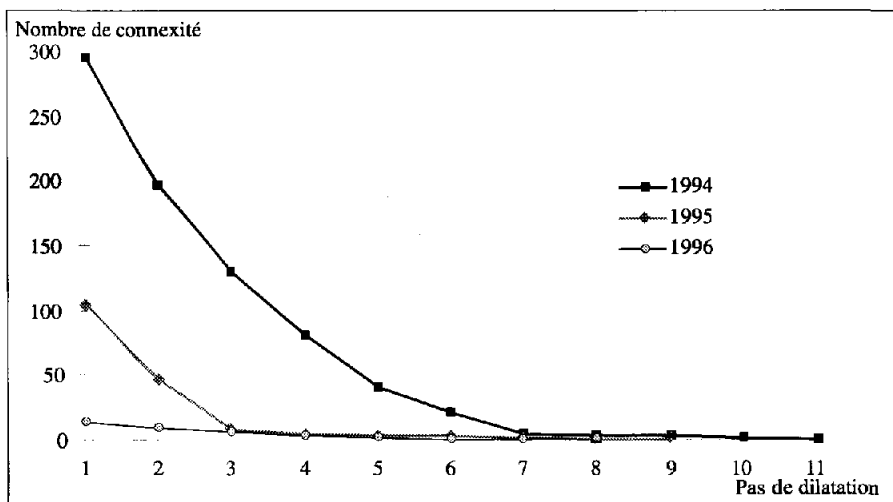
1.2. La connaissance du processus mérite alors d'être approfondie. De quelle manière évolue la distance qui sépare les particules ? Comment appréhender leur distribution de taille à travers le territoire ?

L'espacement moyen des foyers peut être apprécié par le calcul du nombre de connexités : la transformation consiste à dilater progressivement l'image de départ. Les points les plus proches se rejoignent d'abord, puis, peu à peu tous les éléments de la couverture. Après chaque dilatation, les trous éventuels à l'intérieur des regroupements étant comblés, on mesure le nombre d'agrégations réalisées : c'est le nombre de connexités.

Ces mesures ont été effectuées sur trois images (fig. 3). Les trois courbes présentent une allure régulière, mais l'agrégation des particules se fait de plus en plus tôt, au fur et à mesure que l'on avance dans le temps. En

1994, le maximum d'agrégations se fait entre les pas 1 et 3, en 1995 et 1996, entre les pas 1 et 2. La distance maximale qui sépare les particules est, pour sa part, passée de 11 à 9 puis 7. Le calcul de la distance moyenne entre composantes consiste à diviser la somme des nombres de connexité obtenus à chaque pas par le nombre de particules de départ. Celle-ci décroît rapidement en passant de 2,09 à 1,04 puis de 1,04 à 1,02. On a, de ce fait, une idée de la vitesse moyenne à laquelle se comble la distance qui sépare les particules. La visualisation des dilatations successives permet pour sa part de localiser les zones du champ où les connexions se font le plus rapidement et celles où elles tardent à se réaliser.

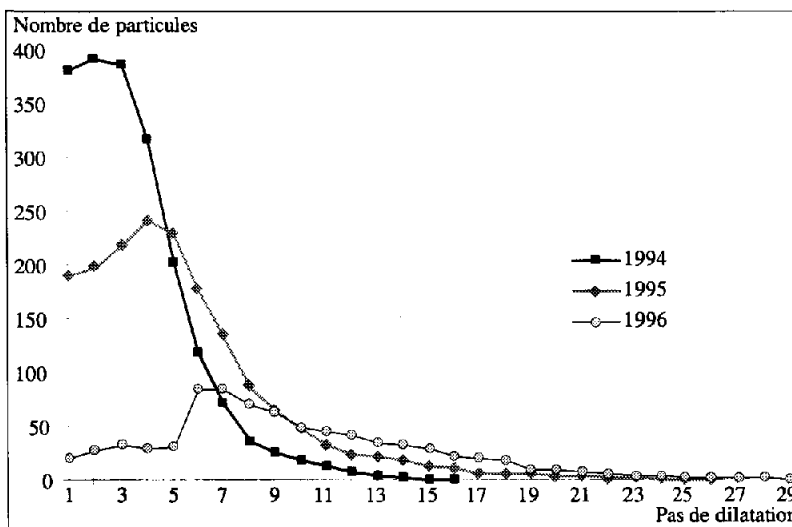
Figure 3 : Evolution du nombre de connexités



1.3. Quelle est alors l'évolution de la taille des particules et leur distribution au sein du territoire ?

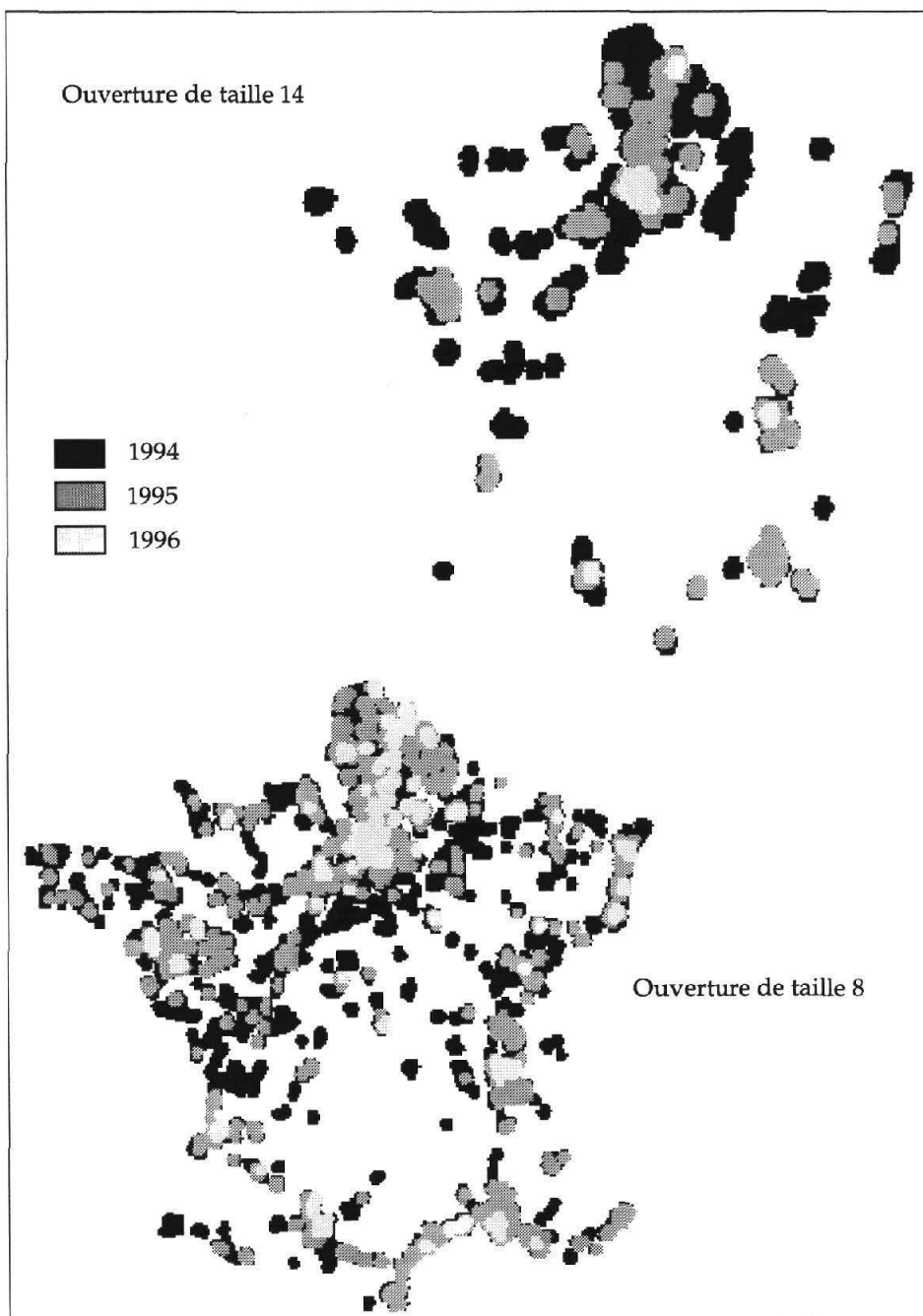
L'opération qui nous permet de répondre à cette question consiste à tamiser les composantes de nos images. Il s'agit en fait d'une granulométrie par ouverture : une ouverture de taille i est le résultat d'une érosion de taille i , suivie d'une dilatation de taille équivalente. L'opération de granulométrie consiste à augmenter progressivement le pas de l'ouverture et à compter le nombre de composantes qui subsistent. Les particules les plus petites sont peu à peu éliminées, pour ne laisser apparaître que les plus importantes. A la fin de l'opération, il ne restera plus que les composantes majeures dont la distribution souligne les plus forts contrastes.

Figure 4 : Résultats d'une granulométrie par ouverture



Les courbes de résultats (fig. 4) permettent de vérifier notre première hypothèse : la taille des composantes augmente et leur nombre décroît. En 1994, le plus grand nombre de particules est de taille comprise entre 3 et 5, en 1995, elle est de 5 à 7 et en 1996 de 7 à 9. La taille maximale passe pour sa part de 16 à 26 puis à 29. L'intérêt est alors de comparer l'évolution des tendances spatiales majeures entre nos trois dates et de comprendre comment le phénomène se déploie et conquiert le territoire. Pour cela, les résultats de deux ouvertures sont retenus, une de taille 14 où n'apparaissent que les pôles majeurs et une de taille 8 où les composantes plus petites surviennent et permettent de préciser les tendances de la diffusion (fig. 5).

Figure 5 : Images résultant d'une taille d'ouverture



Plusieurs questions surviennent alors : comment expliquer ces tendances ? Quels sont les forces ou les éléments-clés de l'espace qui sont à la base de cette distribution, de ces formes de propagation ? En fait, quelles sont les règles qui expliquent la contamination de l'espace et contribuent à la naissance de ces contrastes ?

2. L'analyse des règles qui régissent le processus

La politique de couverture est le fruit des décisions de l'opérateur ; deux axes majeurs se dessinent : d'une part toucher le maximum de population, d'autre part intégrer la mobilité.

Il s'agit alors de vérifier si ces deux objectifs sont bien les canaux explicatifs du processus. Deux images servent de support à l'analyse, l'une représentant le semis des villes de plus de 2000 habitants, et l'autre relative au tracé routier et autoroutier. Le constat est simple : en 1994, les zones couvertes sont celles où le semis est le plus dense, et elles sont quasiment toutes traversées par une route ou une autoroute.

Afin de quantifier l'influence de la ville ou de la route dans le processus de couverture, des reconstructions d'images sont de nouveau effectuées. Les images représentant la couverture sont reconstruites dans un premier temps par l'image du semis des villes, puis, dans un second temps, par l'image du réseau de télécommunication. Ne restent dans chacun des cas que les particules touchées par l'un puis l'autre phénomène.

Les calculs de surface reconstruite sont alors révélateurs (tab. 2). Les deux variables villes et routes semblent être les facteurs explicatifs majeurs de la couverture. Dès 1994, la surface couverte est expliquée à 86 % par la présence d'une ville et à 98 % par un axe de transport. En 1996, la part explicative de la ville est désormais de 99 % et celle de la route de 99,8 %. Le territoire équipé se déploie donc le long des axes de communication et autour des bassins de population.

Tableau 2 : Les facteurs explicatifs de la couverture (calcul par reconstruction)

Années	Part de la surface expliquée par une ville en %	Part de la surface expliquée par une route en %
1994	86	98,0
1995	95	99,0
1996	99	99,8

Mais de quelle manière évolue ce déploiement ? Comment quantifier son expansion autour de la ville ou relativement à la route ?

Pour évaluer cette influence, l'opération utilisée est une dilatation conditionnelle en mode euclidien : soit Y inclus dans X, une dilatation conditionnelle en mode euclidien de Y consiste à dilater Y par un élément structurant (dans notre cas, l'hexagone) de taille i puis à intersecter le dilaté de Y avec X, i variant de 1 à n .

Dans notre cas, Y est tour à tour l'image ville puis l'image route et X, l'image relative à la couverture. Après chaque pas de dilatation, on procède à des mesures de surface, soit d'une part la surface couverte totale dans un rayon croissant autour des villes mais aussi la surface totale couverte à une distance croissante des routes (fig. 6 et 7).

En ce qui concerne les villes, la surface couverte cumulée s'accroît progressivement avec la distance, mais aussi dans le temps. Elle progresse très rapidement dans un premier temps, puis tend, à partir des points d'inflexion des courbes, à ralentir puis à se stabiliser. En 1994, le point d'inflexion correspond à un pas de 4, il passe à 5 en 1995, puis à 6 en 1996. Pour les routes, le processus est le même, la surface couverte cumulée s'accroît jusqu'à un pas de 7 en 1994, un pas de 9 en 1995, un pas de 11 en 1996 puis se stabilise.

Les courbes les plus représentatives concernent en fait la surface couverte dans un rayon i autour de la ville ou à une distance i de la route (fig. 8 et 9). On sait ainsi quelle est la probabilité que l'espace proche de la ville ou de la route soit « contaminé ». En ce qui concerne la couverture de 1994, cette probabilité reste forte dans un rayon de 4 autour de la ville puis tend ensuite à diminuer. En 1995, ce rayon passe à 5, puis il est de 6 en 1996.

Figure 6 : Evolution de la surface couverte autour des villes (de plus de 2000 habitants)

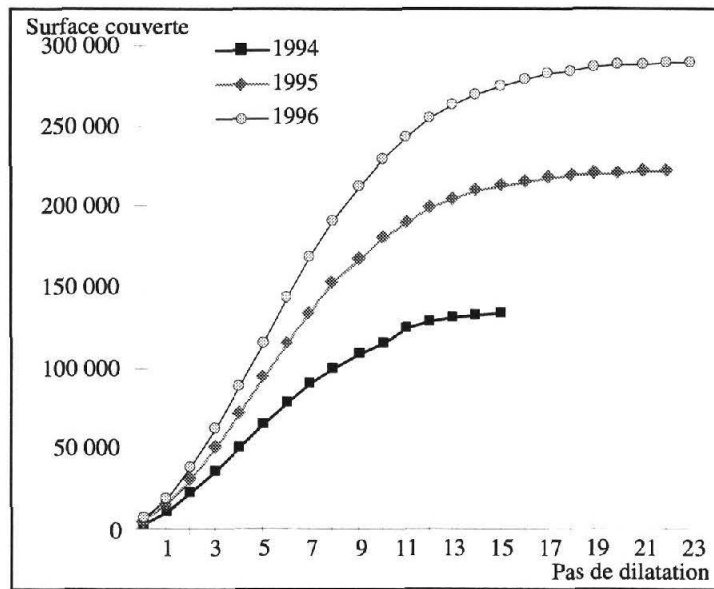
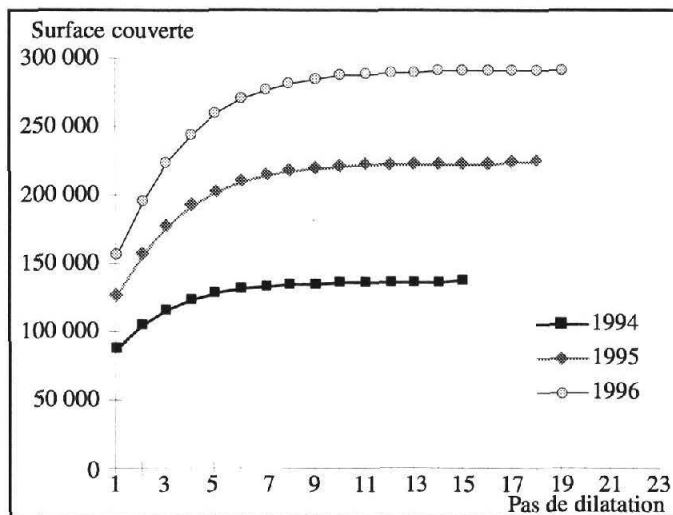


Figure 7 : Evolution de la surface couverte le long des axes routiers (nationales et autoroutes)



Pour les routes, la probabilité que l'espace soit couvert diminue aussi avec la distance, mais de manière progressive ; elle est quasiment nulle après un certain seuil : ce seuil passe de 7 en 1994, à 9 en 1995, puis 11 en 1996.

Ces transformations permettent donc de mesurer l'influence de la distance dans le processus de contagion de l'espace et ce relativement à une variable choisie, mais aussi montrer comment cette distance évolue dans le temps. Certes, ces valeurs sont des moyennes sur l'ensemble du champ, mais il est possible de découper notre espace de travail afin de vérifier si cette influence est la même sur tout le territoire. Il serait alors intéressant d'intégrer dans nos mesures une précision relative à la hiérarchie des villes, mais aussi à celle des routes afin d'affiner notre modèle.

Figure 8 : Influence de la distance aux villes dans le processus de contagion

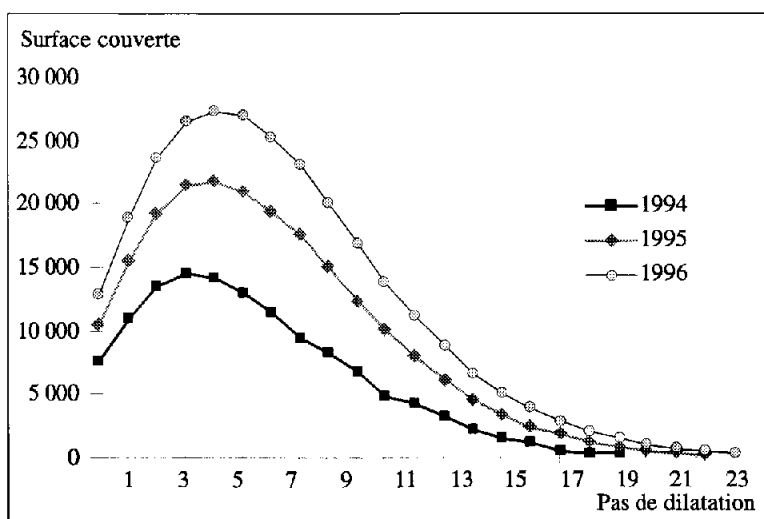
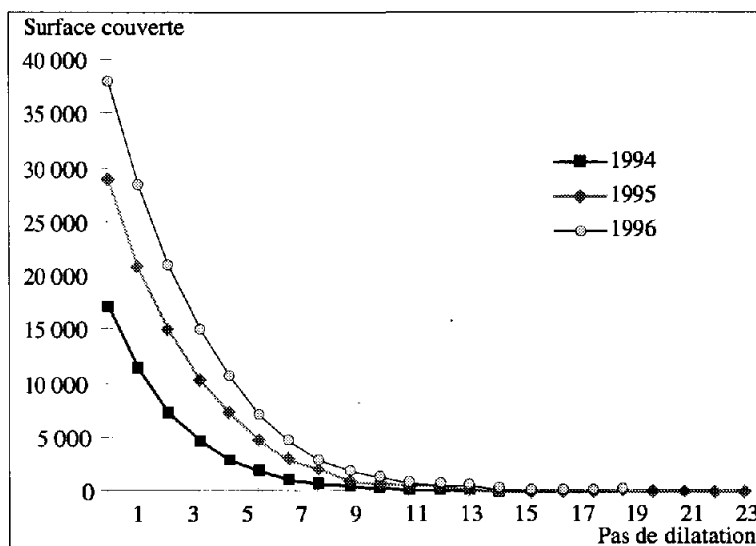


Figure 9 : Influence de la distance à un axe de communication dans le processus de contagion



Cette méthode concerne une innovation spécifique sur un espace bien délimité. Elle peut cependant s'appliquer à tout type de données spatialisées et semble être une bonne base de travail pour l'étude d'un processus de diffusion. Les mesures obtenues sur les formes de la diffusion, l'expansion de la couverture, l'influence de points stratégiques qui régissent son évolution méritent d'être utilisées : en tant que connaissance de base du processus, elles pourraient être intégrées dans un modèle probabiliste de diffusion afin de simuler le processus de couverture. La comparaison du modèle obtenu avec la réalité permettra ou non de le valider, et si non, amènera à approfondir la connaissance que l'on a du phénomène.

Bibliographie

- [1] BRUNET R., FERRAS R., THERY H., 1992 : *Les mots de la géographie, dictionnaire critique*, Montpellier et Paris, Reclus, la Documentation Française
- [2] BAILLY A., FERRAS R., PUMAIN D., 1995 : *Encyclopédie de Géographie*, Paris, Economica, Seconde édition
- [3] MAHOUX F., BERKENBAUM P., 1994 : *Guide Marabout du GSM*, Collection Marabout micro-informatique
- [4] PUMAIN D., SAINT-JULIEN T., 1989 : *Atlas des villes de France*, Montpellier et Paris, Reclus, la Documentation Française
- [5] SAINT-JULIEN T., 1992 : *La diffusion spatiale des innovations*, Reclus Mode d'Emploi n° 3
- [6] VOIRON-CANICIO C., 1995 : *Analyse spatiale et analyse d'images*, Montpellier et Paris, Reclus, La Documentation française
- [7] VOIRON-CANICIO C., 1995 : « Morphologie d'un semis de villes européennes », *Mappemonde* n° 4, pp. 17-21