

La démographie appliquée à la gestion publique et des entreprises

*Actes du séminaire de l'AIDELF en Calabre (Cosenza, avril 1995),
et de la session spéciale du Congrès de l'EAPS (Cracovie, juin 1997)*

Édité par :

*Giuseppe De Bartolo
et Michel Poulain*



ASSOCIATION INTERNATIONALE DES DÉMOGRAPHES DE LANGUE FRANÇAISE
AIDELF

Analyse spatiale et modèles de localisation optimale. Outils opérationnels d'aide à la décision.

Isabelle THOMAS

F.N.R.S., Département de Géographie de l'U.C.L.

1. Introduction

Les *services* prennent de plus en plus d'importance dans nos économies tant au point de vue du personnel employé, du coût de fonctionnement, de la qualité des services à rendre aux utilisateurs que des équipements ou de la consommation d'espace et des externalités qui en découlent. Aujourd'hui, plus que jamais, leur gestion doit être efficace et optimale. Mettre un service à la disposition du public c'est, notamment, veiller à le rendre géographiquement aussi *accessible* que possible. Par conséquent, la *localisation* d'un service ne peut être choisie approximativement : elle doit répondre à des critères précis et tenir compte de contraintes diverses clairement exprimées. Quelle que soit l'échelle à laquelle un problème d'organisation est étudié, les enjeux spatiaux sont plus que jamais une réalité dont il faut tenir compte. Le rôle du géographe est alors de produire les outils et connaissances utiles pour faciliter la décision de choix spatial.

La *géographie* a pour but (I) de comprendre pourquoi les activités humaines s'installent en certains lieux, (II) d'expliquer les structures spatiales qui en résultent (notamment la manière dont les individus se comportent dans un cadre géographique) et donc aussi (III) de fournir des outils permettant d'agir sur l'espace et sur sa gestion. Cette problématique concerne les géographes mais aussi les économistes et les chercheurs opérationnels. Des éléments de réponse ont été élaborés au sein de ce qu'il est convenu d'appeler la *théorie de la localisation*. Nous n'aborderons pas ici l'ensemble des méthodes mais nous nous limiterons à un seul aspect, à un seul type de démarche et à un exemple. Parmi les activités structurantes de l'espace, nous nous limiterons à la localisation de *services*. Les modèles de localisation se préoccupent de la localisation optimale d'activités mais aussi de l'affectation des clients aux installations: l'objectif des *modèles de localisation-affectation* est donc de déterminer à la fois les localisations optimales de services et l'affectation de la clientèle aux sites choisis. Dans la plupart des modèles proposés jusqu'à présent, ces localisations optimales résultent d'un compromis entre les coûts de fonctionnement du service et les bénéfices que retirent les usagers de la proximité de ce service sous forme de coût de transport, d'accessibilité ou de temps d'intervention. Les exemples sont nombreux : quel bureau de poste supprimer afin de minimiser les inconvénients de la fermeture et la perte de clientèle ? Où localiser un parc à conteneur afin de rencontrer les besoins de la population et de minimiser les effets néfastes ? Comment organiser les zones d'intervention des services d'incendie ? Comment organiser les zones téléphoniques ?

L'*objectif* de cette contribution est d'expliquer le plus simplement possible comment fonctionnent les modèles de localisation optimale, d'illustrer les modèles par un cas concret, d'insister sur quelques problèmes d'applicabilité auxquels la recherche essaie de répondre, et, enfin, de réfléchir sur l'interaction potentielle entre la démographie et la géographie pour faire de ce type d'approche un outil pluridisciplinaire pleinement opérationnel pour les services publics.

2. Les modèles de localisation-affectation

2.1 Définition.

Les problèmes liés à l'organisation spatiale optimale des services publics ont donné naissance à une littérature scientifique qu'il n'est pas dans notre intention d'inventorier ici (Beaumont, 1981; Domschke et Drexler, 1985; Hansen e.a. 1987; Current et Shilling, 1990). L'optimalité spatiale d'un service public comporte diverses facettes : la localisation des installations fixes, l'organisation d'éventuelles unités mobiles, le découpage en zones de compétence, la concurrence entre sites d'offre, l'affectation de la clientèle, le comportement spatial des usagers. Rares sont les modèles tentant d'intégrer plusieurs facettes.

Face à cette multitude de problèmes, les *modèles de localisation-affectation* sont nombreux. Le choix d'un modèle dépend de la formulation précise du problème considéré. Une formulation fréquemment utilisée est celle de la *p-médiane*. Ce modèle présente l'avantage de trouver des solutions exactes et d'avoir une formulation souple se rapprochant ainsi de bien des situations concrètes d'aménagement. Notons aussi, qu'une application récente des modèles de localisation aux services d'incendie a permis de démontrer l'utilité de la *p-médiane* par rapport à d'autres modèles (Richard e.a., 1990). Nous retiendrons la *p-médiane* pour illustrer nos propos.

La *p-médiane* consiste à choisir la configuration géographique des unités d'offre de manière à minimiser la somme des distances parcourues sous une série de contraintes énoncées par l'utilisateur. Le modèle assure la couverture efficace (voire équitable) du milieu. Dans bien des cas de services, l'hypothèse du plus court chemin est tout à fait soutenable. La *p-médiane* présente l'avantage d'être facilement adaptée aux spécificités du problème posé par l'utilisateur et d'être résolue par des méthodes efficaces, rapides et souples (Hanjoul et Peeters, 1985; Hansen, e.a., 1987). Ce modèle permet non seulement de s'attacher à la forme des aires et aux localisations optimales, mais également de suggérer le nombre idéal de services et de simuler des solutions sous diverses contraintes et hypothèses.

Le problème consiste donc à choisir la configuration géographique des unités d'offre j de manière à minimiser la somme pondérée des distances parcourues par les utilisateurs. F^* est notée comme étant la solution qui optimise F :

$$\text{Min} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_i x_{ij} d_{ij}$$

où :

i : indice des points de demande, j : indice des sites potentiels d'offre, a_i : poids affecté au point i , d_{ij} : coût de transport entre i et j , n : nombre de localisations potentielles d'offre, m : nombre de points de demande, x_{ij} : portion de la demande émanant de i et allouée en j ,

Ce problème est contraint :

A. La totalité de la demande doit être satisfaite par les p sites localisés .

$$\sum_j x_{ij} = 1$$

B. La demande de i allouée en j ne peut être satisfaite que si un site est implanté en j .

$$0 \leq x_{ij} \leq y_j$$

où y_j vaut 1 lorsqu'une facilité est localisée en j , et 0 si non.

C. p est le nombre d'équipements à localiser, ou, le budget alloué pour la construction des unités.

$$\sum_j y_j = p \text{ et } y_j = 0 \text{ ou } 1$$

D. (facultatif) Une contrainte de distance maximale à parcourir par les utilisateurs entre leur localisation i et l'unité d'offre j peut être imposée. Le modèle propose alors une solution telle qu'aucun point de demande ne soit séparé de plus de cette quantité d_{max} du service le plus proche.

A l'optimum, chaque point de demande i est satisfait par l'unité j la plus proche, et la localisation est telle que le coût total d'accès de l'ensemble des points i inclus dans l'aire de service de chaque unité j est minimum.

Traduisons ce problème en termes concrets de planification publique.

2.2 Un exemple

La liste de situations concrètes d'application est longue et impossible à dresser. Les modèles de localisation-affectation s'appliquent tant à des exemples micro-géographiques (la localisation des bulles à verres au sein d'une commune, suppression d'une école primaire, la localisation d'un parc à conteneurs), que des exemples méso-géographiques (organisation des districts de gendarmerie, organisation des zones téléphoniques à l'échelle nationale) ou macro-géographiques (implantation de sièges de multinationales en Europe). Les exemples peuvent tant concerner des services attirant le client (crèches, écoles, piscines), que se déplaçant vers le client (pompiers, ambulances) ou ayant les deux fonctions à la fois (la poste, la police), ou encore des services dont la fréquentation est obligée (écoles primaires) ou non (bibliothèques).

Les problèmes d'aménagements peuvent être très variés : (I) le service peut ne pas encore exister et il convient de le mettre en place. Dans ce cas, on peut imaginer un ensemble de sites potentiels et proposer/évaluer les solutions; (II) l'offre existe déjà et elle est localisée en n points. Dans ce cas, on peut imaginer évaluer la situation existante, devoir supprimer k sites ou au contraire en proposer des additionnels. Il importe dans chaque cas de connaître les localisations et la taille des services ainsi planifiés.

Prenons un exemple afin d'illustrer la démarche modélisatrice : la localisation optimale des bureaux de Poste à Namur (Thomas, 1983, 1984).

2.2.a Le problème

Namur est une commune de 100.000 habitants dont seul le tissu urbain sensu stricto a été délimité à l'aide d'une approche géographique multivariée. Le milieu est représenté par 420 points, chacun correspondant à une portion de secteur statistique (figure 1). La demande est mesurée par le nombre de visites mensuelles à la Poste émanant de chaque point i de demande. Cette quantité a été estimée par enquêtes et les mécanismes étudiés avec précision. Un modèle économétrique a été construit. Dans cet exemple, la demande ne dépend pas de la distance séparant la demande de l'offre : on ne fréquente pas plus le service quand on en est proche mais la règle de fréquentation du bureau de poste le plus proche a été vérifiée. Chaque étude particulière doit être précédée d'une analyse fine du comportement de l'utilisateur : comportement en matière de demande, comportement de choix spatial.

La distance entre chaque point du réseau est mesurée sur carte et exprimée en kilomètres. Il n'est pas tenu compte de la distance-temps. Plus de 100 points de demande sont retenus comme localisation potentielle de l'offre (figure 2).

La p -médiane a été appliquée à cet ensemble de données (1) pour suggérer au décideur quel est le nombre idéal de bureaux pour desservir la zone urbaine namuroise, (2) pour voir quels seraient les bureaux à supprimer tout en maintenant un niveau d'efficacité et d'équité raisonnables, et (3) pour évaluer la situation existante (18 bureaux) face à une situation optimale.

FIGURE 1 :
DISTRIBUTION DES 420 POINTS DE DEMANDE

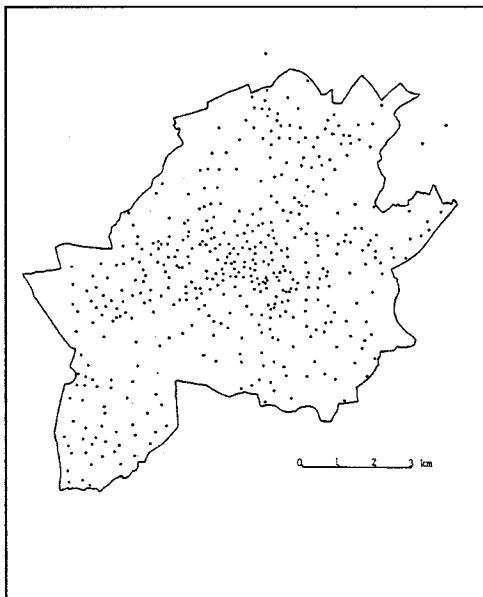
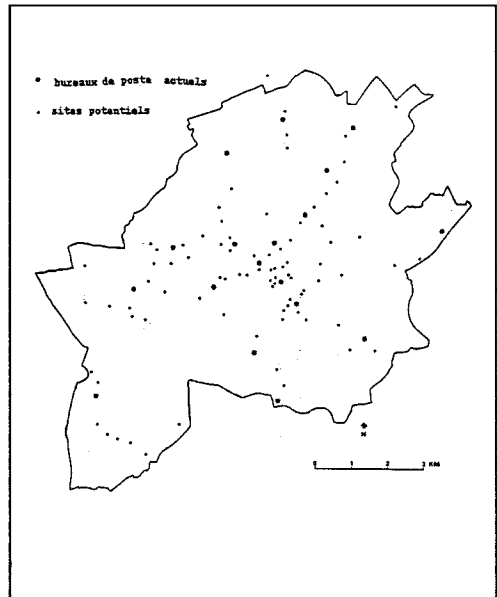


FIGURE 2 :
DISTRIBUTION DES SITES POTENTIELS D'OFFRE

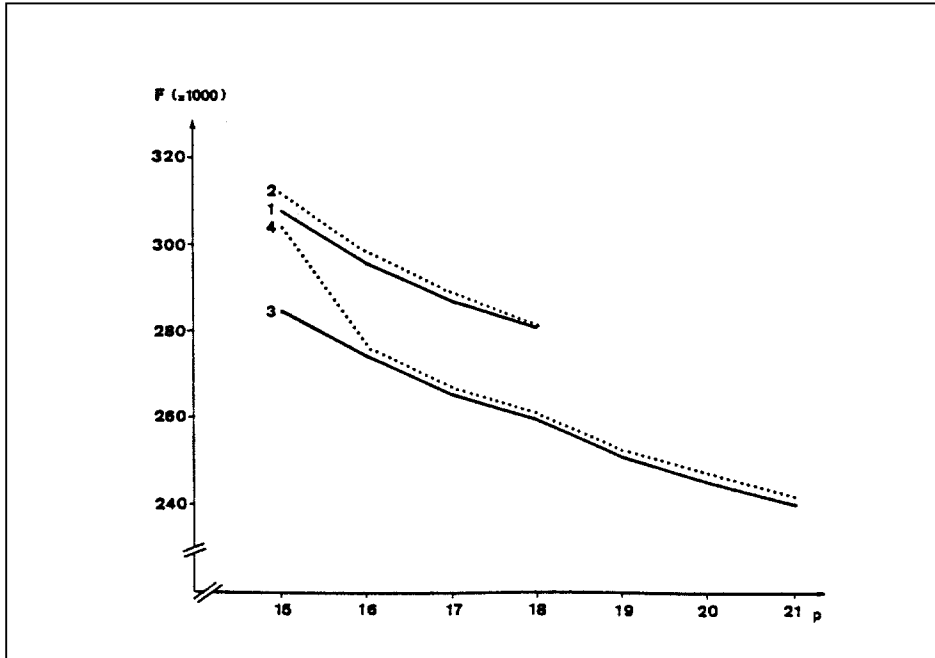


Les outputs de la p -médiane sont : l'accessibilité totale du système, la distance moyenne parcourue par un usager et la distance maximale séparant l'utilisateur le plus mal localisé d'un site d'offre, la localisation optimale des bureaux, l'affectation de la clientèle aux services et la forme des zones desservies.

2.2.b Évaluation en terme de distances

La figure 3 rend compte de la valeur de la fonction objectif F^* , c'est-à-dire le coût total d'accès aux services. Au plus on localise de bureaux au plus la clientèle est proche d'un service et au moins elle parcourt de kilomètres : quand p augmente, F^* diminue. La courbe 1 rend compte de la situation actuelle (18 bureaux) dont on supprime successivement un, deux ou trois bureaux de poste. Supprimer un ou deux bureau(x) ne coûte pas beaucoup en terme d'accroissement du déplacement. En supprimer trois coûte beaucoup plus cher car ces suppressions affectent alors des lieux centraux (tableau 1). La courbe 3 rend compte du coût de déplacement vers les bureaux de poste localisés idéalement : le modèle a choisi p bureaux parmi l'ensemble des sites potentiels; la courbe indique donc que 16 bureaux localisés idéalement à Namur fonctionnent aussi bien que les 18 bureaux actuels ! L'allure de ces deux courbes montre clairement la croissance du coût de déplacement associé à la réduction du nombre d'équipements implantés. En plus, F^* présente une cassure légèrement plus marquée lorsque p vaut 16 : nous pouvons donc considérer cette valeur comme candidat à l'optimum susceptible de retenir l'attention du décideur.

FIGURE 3 : ÉVOLUTION DU COÛT TOTAL DE TRANSPORT F^* AVEC LE NOMBRE DE BUREAUX DE POSTE (P)
 Courbes 1 et 3 pas de contrainte de distance maximale, courbes 2 et 4 contrainte de distance maximale.



Les courbes 2 et 4 rendent compte des résultats du modèle pour lequel une contrainte de distance maximale a été envisagée : la distance maximale que peut parcourir l'utilisateur le plus défavorisé est limitée à 6.1 km. Le choix de cette quantité est basé sur la configuration actuelle : elle correspond à la plus petite valeur nécessaire pour assurer le recouvrement total du milieu par le service. En effet, si la contrainte est trop stricte (valeur trop petite de la distance maximale), le modèle de la p -médiane ne trouvera plus de solution : il existe des points de demande séparés de plus de d_{max} du bureau de poste le plus proche. Or, le modèle postule que tout point de demande doit être affecté à une unité d'offre.

Le tableau 1 résume les principales caractéristiques des solutions proposées : la valeur de la fonction objectif F^* , la distance maximale parcourue par l'utilisateur le plus mal desservi et la distance moyenne parcourue par l'utilisateur. Quelle que soit la restriction effectuée sur le nombre actuel de sites, la distance maximale parcourue par le client le plus mal localisé varie très peu. Cette forte valeur concerne quelques usagers localisés dans les communes périphériques de la ville. Ces communes ont été incluses dans le milieu d'étude pour des raisons administratives de dépendance postale uniquement : elles n'appartiennent pas au milieu homogène urbain namurois défini par ailleurs. La distance moyenne est peu élevée (587 mètres) : les bureaux de poste actuels sont très proches de la majeure partie de la clientèle. La distance actuelle parcourue par l'utilisateur moyen correspond donc au seuil de distance maximal qu'un piéton accepte généralement de parcourir (500 mètres). Cette bonne adéquation au public s'explique partiellement par la manière dont le budget est utilisé : dans le cas des services récréatifs, par exemple, la totalité du budget est affecté aux coûts de fonctionnement. Par contre, dans le cas des services tels que la Poste, une partie de cette somme doit être attribuée au coût de transport à charge de l'État c'est-à-dire les coûts engendrés par la distribution et la collecte du courrier. Cette fonction du service postal est ignorée dans notre modèle, car elle représente un problème

totalemment différent. Nous devons cependant être conscients de son existence pour l'explication de l'adéquation.

TABLEAU 1 : ÉVOLUTION DE L'EFFICACITÉ (D_{MOY}) ET DE L'ÉQUITÉ (D_{MAX}) EN FONCTION DU NOMBRE DE SITES CHOISIS (P).

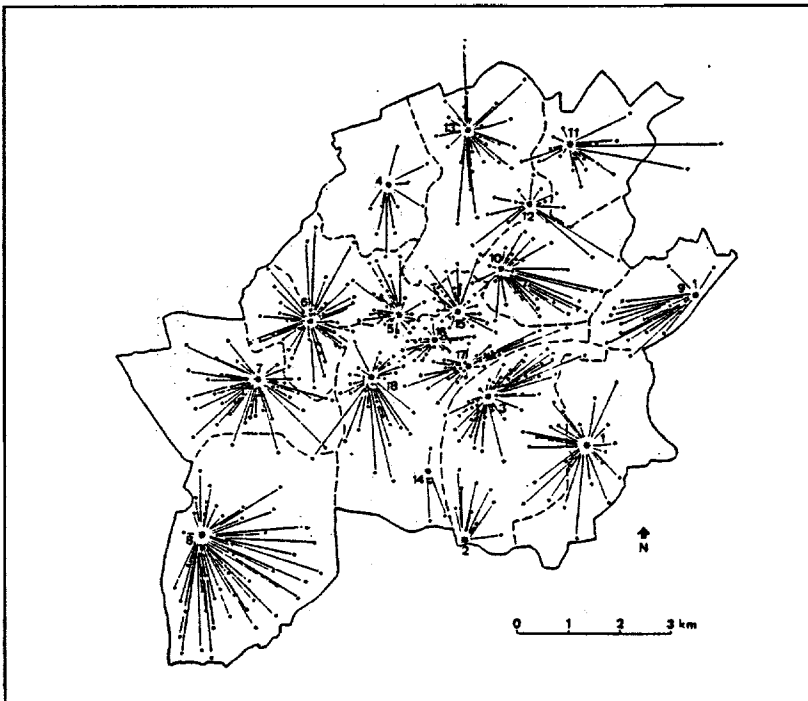
p	F^*	(1)	d_{moy}	d_{max}
18	280827	-	587	6100
17	286977	2.2	600	6100
16	295318	5.2	621	6100
15	307801	9.6	643	6100

(1) représente la réduction de la valeur de F^* par rapport à la situation actuelle de 18 unités d'offre.

2.2.c Évaluation en terme de localisations

La figure 4 rend compte des décisions spatiales suggérées par le modèle. La première suppression affecte la halte postale de Saint Marc, soit l'installation représentant le plus petit volume de travail (0.5 % du volume d'heures de travail prestées, 0.2 % du volume des opérations de guichet enregistrées). Cette fermeture affecte très peu le coût de déplacement à charge de la collectivité (+2.2 %) et réduit faiblement les frais de fonctionnement à charge du décideur. Notons que les deux autres haltes sont maintenues car elles représentent un volume de travail plus important et leurs localisations sont mieux justifiées par rapport aux autres bureaux actuels, à la demande et aux autres services namurois.

FIGURE 4 : SOLUTION PROPOSÉE PAR LE MODÈLE (THOMAS 1984)



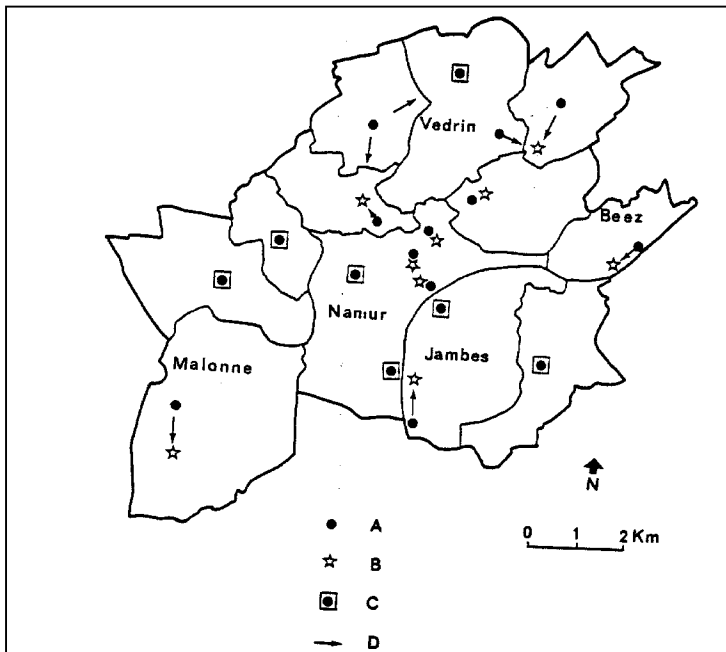
La deuxième suppression touche un autre bureau périphérique : Champion, dont la clientèle est rattachée à un petit bureau actuel (Vedrin 2). L'imposition d'une contrainte de distance maximale à parcourir par l'utilisateur le plus défavorisé modifie cette situation en faveur du bureau supprimé; cette suppression est aussi l'exemple d'un effet de frontière certain. La troisième restriction retenue concerne le bureau de Namur 3 situé en milieu urbain, à proximité d'autres bureaux. Au-delà de trois suppressions, la perte d'efficacité dépasse 10 % et entraînerait certainement une transformation des habitudes de consommation de la part des usagers qui se dirigeraient peut-être vers des services concurrents mieux répartis dans l'espace.

La planification des restrictions en termes d'équipements postaux a été simulée sous deux hypothèses réalistes (I) restrictions simultanées de plusieurs bureaux et (II) restrictions successives. La première suppose qu'en aucun cas, un bureau n'ait déjà été préalablement éliminé. Les 18 bureaux actuels sont affectés par la fermeture simultanée de k sites. La seconde hypothèse envisage des restrictions séquentielles opérées successivement dans le temps : étant donné une première fermeture, quel est, dans l'ensemble des bureaux restant, celui qui correspond au coût supplémentaire minimal en terme de distance à parcourir par l'utilisateur ? Cette deuxième hypothèse est plus conforme à la réalité : la répartition actuelle est le résultat d'une séquence d'actions et non d'une planification systématique. Dans cet exemple simple, les deux types d'approches convergent.

2.2.d Évaluation en terme d'affectation

Puisque le modèle alloue chaque point de demande i à un site d'offre j , la somme des poids a_i affectés en j donne l'affectation, la taille du service. Cet output du modèle permet de voir si l'espace planifié est isotrope, c'est-à-dire que tous les services sont de même taille, ou, au contraire, de fortes différences apparaissent, une hiérarchie du service peut être envisagée. Le tableau 2 reprend les écarts entre l'affectation planifiée et l'affectation observée pour les 18 bureaux de Poste existants à Namur.

FIGURE 5 : LOCALISATION ACTUELLE DES BUREAUX ET AFFECTATION OPTIMALE (THOMAS 1986)



Une analyse de la *forme des aires* de service des bureaux de Poste peut également être envisagée. Bien des services accordent de l'importance à cette notion. La figure 5 illustre la situation postale optimale à Namur. L'analyse détaillée des aires de service attendues (figure 4) permet de confirmer l'utilité de la p -médiane en planification, et dans ce cas-ci de l'utilité de la p -médiane pour la planification des bureaux de Poste. La formulation la plus simple retenue dans cet exemple ne rend cependant pas compte de l'attractivité différentielle des sites d'offre de tailles extrêmes (très petits et très grands bureaux). La différence observée entre les aires théoriques et attendues des bureaux moyens varie en fonction des circonstances locales.

Bien d'autres exemples opérationnels ont déjà été développés (piscines, crèches, pompiers, ambulances, distributeurs de billets de banque, écoles, bibliothèques, etc.). Tous confirment l'opérationnalité du modèle utilisé dans sa forme la plus simple ou dans une forme plus complexe incorporant des procédures économétriques d'estimation de la demande ou du comportement spatial du consommateur.

3. Sensibilité des modèles à la formulation des inputs

L'application des modèles de localisation-affectation à des cas concrets soulève malheureusement encore de nombreux problèmes (Leonardi, 1981; Rushton, 1989) : représentation et inclusion du comportement du consommateur et/ou du décideur, estimation de la demande, représentation de la distance, comparaison efficace des solutions, effet de l'agrégation et de l'échelle spatiale sur les résultats, inclusion et mesures de la réalité administrative et décisionnelle, forme du réseau, effet de frontière, sont autant de problèmes non encore résolus. Les résultats des modèles de localisation sont hypothéqués par ces choix. La plupart de ces problèmes trouvent une solution partielle dans l'analyse des données spatiales (Haining, 1990); leur discussion n'est pas neuve pour le géographe mais leur extension aux modèles de localisation-affectation est récente.

Appliquer un modèle de localisation-affectation signifie choisir des mesures qui représentent le fonctionnement du service dans le milieu étudié. Envisageons de façon générale quelques-uns de ces choix dont l'importance n'est pas négligeable dans les résultats opérationnels de modèles.

3.1 La demande

La demande pour un service se localise en un point i et se représente par une quantité a localisée en i . Il importe donc de mesurer avec exactitude la demande exprimée en unités adéquates, de la localiser en des lieux préalablement définis et de connaître les mécanismes qui la génèrent. La demande est hétérogène en quantité, nature et conséquences : crimes, accidents, vols, fausses alarmes sont autant d'exemples faisant la diversité du travail du gendarme. Toute analyse de localisation optimale doit être précédée d'une analyse approfondie de la demande et de ses composantes spatiales. Mieux comprendre ces mécanismes signifie mieux les estimer et donc construire un modèle de localisation plus réaliste et conduire à de meilleures simulations. Des développements théoriques et empiriques sont encore nécessaires dans ce domaine; ils relèvent de l'analyse des données.

Chaque service mène à une *estimation* différente des mécanismes générant la demande. La demande peut éventuellement dépendre de la distance qui la sépare du service (élasticité). Le rôle de l'aménageur est de trouver la bonne estimation de cette quantité a_i qui s'avère souvent être une fraction de la population d'un secteur, quartier ou commune. Il importe de bien cerner cette fraction et éventuellement son comportement dans le temps et l'espace. La sensibilité des modèles à la manière de mesurer la demande a été vérifiée (par ex.: Beguin e.a., 1992, Thomas, 1986 et 1993-b, Richard, 1985). Ces auteurs y démontrent que dans le cas des localisations optimales des bibliothèques, des bureaux de Poste ou des casernes de pompiers, il

n'est pas nécessaire de recourir à l'enquête : la simple estimation de la demande par la population conduit à des résultats similaires. Ceci permet de conclure à une bonne estimation du volume de la demande par une mesure de *population* mais n'exclut aucunement des mécanismes spécifiques liés à certaines études de cas.

Outre la quantité a , il importe également de bien définir les lieux i : le chercheur a rarement le choix du niveau d'*agrégation spatiale* avec lequel il travaille; son choix est contraint par la disponibilité des données. Chaque lieu i correspond à une observation localisée dans l'espace; cette observation est rarement une donnée individuelle et fréquemment un agrégat d'individus (exemple : secteurs statistiques, communes, arrondissements). L'effet de l'agrégation des données sur les résultats d'analyses statistiques spatiales est connu depuis longtemps (voir : Arbia, 1989; Haining, 1990). Le problème des unités surfaciques modifiables (M.A.U.P.) se décompose en problème de taille (ou d'échelle) et de forme (niveau et mode d'agrégation). Ce problème ne connaît pas encore de solution dans le domaine de la localisation optimale (Casillas, 1987; Current et Schilling, 1987; Daskin e.a., 1989; Debeer et Thomas, 1994; Hodgson et Neuman, 1993) : les résultats sont contradictoires et méritent une attention particulière. Le rôle de l'agrégation de la demande dans les modèles de localisation inquiète les chercheurs sans qu'aucune solution efficace et standard ne soit proposée afin d'en éviter les biais. L'aménageur doit être conscient du biais introduit par son choix. Il n'a souvent pas le contrôle de ce biais : les données lui sont données par l'autorité publique.

Le chercheur dispose parfois de données individuelles: lorsque les données sont totalement *désagrégées* dans l'espace (voire même dans le temps), le phénomène est représenté par un nuage de points dans lequel la structure spatiale est souvent difficilement décelable (exemple : la distribution des accidents de la route peut être considérée comme aléatoire). L'existence d'un point de demande serait donc d'autant plus aléatoire que la durée de la période d'observation est courte et/ou l'agrégation spatiale est faible. Récemment plusieurs auteurs ont développé des solutions pour tenir compte de la composante aléatoire de la demande, du temps de déplacement ou de la disponibilité d'un véhicule dans les modèles de localisation (Daskin, 1987; Goldberg et Paz, 1991). Ils ont introduit un modèle de type « file d'attente » comme sous-routine à la p -médiane (Berman, Larson et Parkan, 1987) : cette démarche comble certaines lacunes, mais la solution devient rapidement énorme en termes informatiques.

Si les modèles de type « file d'attente » sont excellents pour réfléchir sur un problème d'organisation spatiale microscopique, ils deviennent vite inapplicables avec des tailles importantes (échelle régionale, par exemple). Doit-on modéliser d'abord une situation générale et ensuite tenir compte de situations particulières et donc rares ? A l'échelle microspatiale, la décision humaine n'est-elle pas aussi opérationnelle que le meilleur modèle stochastique ? En d'autres termes, n'est-il pas opportun de réfléchir sur l'organisation d'un service à une échelle macrospatiale et ensuite résoudre empiriquement certains problèmes locaux telle l'occurrence aléatoire d'un appel supplémentaire, ou l'adresse précise du service à localiser ?

Le choix du modèle serait-il lié au niveau d'agrégation spatiale ? Agrégation spatiale et déterminisme sont étroitement liés. A un niveau microspatial, l'occurrence d'un événement peut être le résultat d'un processus aléatoire, mais un service est rarement créé pour quelques unités de demande. L'analyse de la distribution spatiale de nombreux événements dans un environnement conduit à reconnaître des groupes de faits : certains crimes sont concentrés dans des quartiers urbains défavorisés, certains accidents dangereux se concentrent les nuits de week-end, etc. Ceci signifie que même si UN incident peut être considéré comme aléatoire, l'occurrence de nombreux événements conduit à considérer une explication partiellement déterministe et à faire appel à l'autocorrélation (Odland, 1988; Griffith, 1992). *Agrégation et autocorrélation* spatiale sont intimement associées à toute application d'un modèle spatial et a fortiori aux problèmes de localisation optimale. Leur impact exact et les solutions pour éviter leur biais mériteraient plus d'attention.

Le niveau d'agrégation de la demande et l'estimation de la quantité de demande sont deux problèmes auxquels l'aménageur doit bien réfléchir : comme dans toute démarche modélisatrice, ses résultats peuvent en dépendre.

3.2 Forme du réseau, mesure de la distance et externalités

L'espace étudié est représenté par un réseau composé de noeuds et d'arcs. Les noeuds du réseau correspondent aux sites d'offre et de demande. A chaque arc est associée une mesure de coût de déplacement. La mesure et l'estimation de la *distance* séparant deux lieux i et j est un problème ancien en géographie. Il trouve un nouveau domaine d'application dans les modèles de localisation. En effet, plusieurs auteurs se préoccupent de connaître la sensibilité des résultats aux mesures de la distance (voir par exemple Hodgson et Storrier, 1994); d'autres s'intéressent à l'influence de la forme du réseau sur les résultats (Peeters et Thomas, 1995) soulevant ainsi de nombreux problèmes complexes tels que l'influence de la position optimale d'un périphérique urbain sur les localisations optimales.

Dans la plupart des modèles proposés jusqu'à présent, les localisations optimales résultent d'un compromis entre les coûts de fonctionnement du service et les bénéfices que retirent les usagers de la proximité de ce service sous forme de coût de transport, d'accessibilité ou de temps d'intervention. Or, toute décision d'implantation affecte aussi l'environnement des particuliers, même de ceux qui ne sont pas directement concernés par le service en question. Ceci est connu en économie sous le nom d'*externalités*; celles-ci peuvent être positives lorsque l'environnement est modifié d'une façon favorable (par exemple par une augmentation des valeurs immobilières) ou négatives lorsque le service est source de nuisances (les écoles engendrent du bruit et des problèmes de trafic à certaines heures, les casernes de pompiers ont leurs sirènes et leurs parkings pour engins spéciaux, etc.). L'inclusion des externalités spatiales dans les modèles de localisation soulève une difficulté méthodologique supplémentaire : alors que les déplacements de et vers les usagers s'effectuent généralement au moyen d'un réseau routier, c'est par d'autres canaux (air, cours d'eau, sol, etc.) que se diffusent les externalités, dont les nuisances et pollutions. Si un réseau routier peut être bien défini, le vent - par exemple - est une variable qui se traite de manière beaucoup plus complexe étant donné ses multiples directions potentielles. L'espace géographique est ainsi doté simultanément de deux types de distances : une *distance-transport* (entre l'utilisateur et le site d'offre visité) et une *distance-externalité spatiale* (entre l'utilisateur et tous les points d'offre, telle la distance-pollution). De plus, la demande pour le service en question émanant d'un point du territoire n'est pas nécessairement liée aux externalités dont bénéficie ou que subit la population située en cet endroit. Ce double aspect des implantations de services n'a reçu jusqu'à présent aucun traitement satisfaisant : soit on ignore les externalités comme dans les modèles traditionnels, soit on ne prend en compte qu'elles seules dans une famille de modèles spécifiquement liés aux services polluants.

Appliquer un modèle simple de localisation ne pose aucun problème méthodologique. Incorporer des formes différentes de coûts de transport (congestion, externalités, etc.) rend le modèle plus réaliste mais complique à la fois la récolte des données et son inclusion dans le modèle opérationnel.

3.3 Comment définir l'optimalité ?

Définir « *la* » fonction objectif n'est pas toujours chose simple : la structure administrative et la disparité des tâches accomplies par un service rend difficile l'optimisation d'un seul critère et oriente la recherche vers des méthodes multicritères. Considérons un exemple de service : la gendarmerie. Habituellement les modèles de localisation optimale minimisent les temps de déplacement; cela suppose que les équipes rentrent immédiatement après l'intervention. Comment tenir compte des « tournées » ? Comment tenir compte des

temps variables passés sur place ? Comment tenir compte du travail de prévention accompli éventuellement sur le chemin de retour ? Faut-il tenir compte des temps de réaction ? des délais d'intervention ? Le temps de déplacement n'est qu'une fraction de la réalité d'intervention.

Sur le terrain, les équipes d'intervention fixes et mobiles coexistent. Comment concilier ces deux types de service ? Toutes peuvent répondre à un appel. Chaque type d'équipe doit-elle correspondre à l'application d'un modèle différent ? Étant donné leurs différences, peuvent-elles être considérées comme un tout ? Comment synthétiser l'optimalité et les disparités spatiales ? L'optimalité spatiale est-elle stable dans le temps ? La plupart des modèles s'occupent de représenter une situation à un moment déterminé. Or, les heures d'ouverture du service, les fluctuations saisonnières ou journalières de trafic, le caractère saisonnier de certains délits, etc. sont autant de fluctuations perturbant l'organisation spatiale d'un service et posant la question de la signification d'une situation moyenne. L'organisation spatiale optimale basée sur une situation moyenne est-elle compatible avec ces sources de variation ? Doit-on construire différents modèles ? Une réflexion plus profonde doit permettre de construire une méthodologie générale pour ce type de problème.

Dans l'étude d'un cas concret, l'organisation réelle du service devient tellement complexe que le choix d'UNE fonction-objectif est difficile, si non impossible. Le coût d'un modèle multiobjectif se justifie-t-il ? Il serait intéressant de tester les différences entre un modèle mono-objectif et un modèle complexe afin de juger du surcoût engendré par une meilleure représentation de la réalité. Chaque facette de la réalité spatiale doit-elle être prise en compte par un modèle particulier ou une situation moyenne est-elle suffisante ? N'est-il pas temps de comparer les résultats de plusieurs techniques (mono-, multi-critères) ?

Théorie et analyse des données sont intimement liées : les données ne sont pas sans conséquences sur les formulations d'hypothèses et sur les choix de modélisation. La diversité des services et des environnements spatiaux engendrent tellement de disparités qu'il sera difficile de définir une seule méthodologie.

3.4 Qu'est-ce qu'une limite de zone d'affectation ?

Soit l'exemple d'un service d'urgence minimisant le temps moyen de déplacement. Au moment où l'appel arrive, le service doit veiller à ce qu'une équipe soit disponible pour répondre à l'appel dans le périmètre de l'appel. Les conséquences d'un découpage spatial en zones ont rarement retenu l'attention des chercheurs. Or, ce découpage influence l'efficacité du service : les auteurs comparent les localisations centrales mais négligent la forme des aires. Leurs limites définissent des aires d'intervention exclusives du service. La signification de ces limites revêt toute son importance lorsqu'on sait que chaque service concerné par un accident (médical, pompier, police, gendarmerie, arrondissements judiciaires, zones téléphoniques, etc.) définit son découpage spatial propre. La coordination des services et la construction d'un modèle spatial unique permettrait de lever bien plus de dysfonctionnements spatiaux que l'optimisation d'un seul service.

Les modèles tel que la p-médiane permettent de définir des aires de service. Ces limites ne constituent pas une règle à ne pas transgresser mais bien un point de référence, comme l'est toute abstraction ou tout modèle. Ces limites seront d'autant plus floues que le comportement du consommateur sera impliqué. En matière d'urgence, la gendarmerie actuelle transgresse ses limites de districts dans moins de 5% des interventions. Faut-il en tenir compte dans une modélisation ? La résolution humaine au cas par cas peut être tout aussi efficace pour ces quelques interventions.

Enfin, n'oublions pas les effets de frontière, d'autant plus importants que l'application concerne un petit espace : le fait d'ignorer le « reste du monde » perturbe les résultats en marge du milieu d'études.

3.5 Urbain ou rural : deux réalités à considérer séparément ?

Les modèles de localisation optimale des services d'urgence ont particulièrement été appliqués en *milieu urbain* : les différences d'efficacité y sont mesurées en secondes plutôt qu'en minutes vu la densité du réseau routier, de l'offre et de la demande. La congestion du réseau routier ou du service pèsent considérablement dans le fonctionnement du service : l'incertitude associée à chaque tronçon est forte en milieu urbain (Rushton, 1989)

En *milieu rural*, la distance kilométrique revêt tout son sens; elle est déterminante dans l'organisation optimale d'un service : les distances sont mesurées en minutes plutôt qu'en secondes (Halseth et Rosenberg, 1991). Le nombre de points d'offre et de demande y est peu élevé, la densité d'usagers potentiels est faible alors que les distances à parcourir sont beaucoup plus longues.

Étant donné ces différences, est-il possible de trouver une formulation commune pour les deux types d'environnements ? Les échelles spatiales sont différentes. Les milieux mixtes (rural, urbain) ont rarement attiré l'attention des chercheurs car il est difficile d'y trouver un bon compromis entre équité et efficacité. Traiter le rural et l'urbain séparément signifie précéder toute étude d'organisation spatiale optimale d'une approche socio-économique afin de définir avec précision les limites de ces deux milieux. Cette procédure est bien connue du géographe; elle est remise à l'ordre du jour avec les modèles de localisation. Le problème régional revêt ici toute son importance : par définition une région comprend villes et campagnes. Une solution consisterait à procéder en *deux étapes* : d'abord définir les mésozones à l'échelle macrospatiale à l'aide de programmation linéaire telle la *p*-médiane; ensuite, à l'intérieur de ces mésozones, concevoir l'organisation spatiale précise avec éventuellement d'autres techniques (hypercube, etc.). Il serait alors important de mesurer dans quelle proportion cette solution en deux temps s'écarte de la solution tenant compte d'un espace unique.

3.6 Les administrations disposent-elles de données fiables ?

Appliquer un modèle de localisation optimale signifie disposer de nombreuses données sur l'environnement géographique, sur le service, sur le comportement des usagers et du décideur. La plupart des données ont une composante spatiale et/ou temporelle, ajoutant une dimension au problème. Les services publics ne disposent généralement pas d'une telle base de données répondant aux exigences du modèle de localisation. Certaines données sont récoltées, d'autres sont informatisées, d'autres encore sont récoltées par différents organismes, posant ainsi le problème de la *compatibilité* et de la *comparabilité* des bases de données. De nombreuses données sont inaccessibles au planificateur. Il n'existe souvent aucune mesure de *fiabilité* des données récoltées, information primordiale en analyse de données.

Citons l'exemple des bureaux de poste : la Poste ne connaît pas la clientèle qui se rend dans ses bureaux. Seule une enquête coûteuse permet de combler cette lacune, particulièrement lorsque l'on veut localiser la clientèle. Autre exemple : les interventions d'urgence à la gendarmerie. Le nombre et la nature des appels d'urgence ne sont connus que par l'intermédiaire d'une statistique manuelle, dans laquelle aucune mention n'est faite - par exemple - du nombre d'hommes/heure nécessaire pour chacune d'entre elles, (c'est-à-dire des charges de travail).

Une des raisons du développement de modèles simples ou du petit nombre d'applications réalistes trouvées dans la littérature peut donc être le manque de données concernant les inputs

du modèle. Le fonctionnement du service est mal compris et certainement mal mesuré. La collecte et la gestion des données devraient être facilitées par l'avènement des SIG (Systèmes d'Information Géographique) et leur inclusion dans les dispatchings. Le succès de ces nouvelles techniques informatiques dépend toutefois de la récolte et de la fiabilité des données. Chercheurs et décideurs gagneraient à collaborer plus étroitement : une meilleure connaissance de l'utilité des statistiques motiverait les administrations publiques à améliorer la qualité des données et à mieux cibler leur récolte.

4. Conclusion

Qu'ils soient publics ou privés, firmes et services sont de plus en plus conscients de l'importance du choix d'une implantation adéquate. Les modèles de localisation-affectation constituent un outil très attrayant pour orienter le choix de telles décisions spatiales. Ils permettent d'aider à la prise de décision par un outil scientifiquement justifié. A l'aménageur - géographe, démographe ou économiste - d'analyser consciencieusement tous les problèmes d'estimation qui sont associés à la localisation optimale : connaissance et compréhension du service à localiser, mesure et localisation des quantités demandées au moment de l'analyse et ultérieurement, connaissances de mécanismes de comportement des usagers et du décideur, estimation du coût de déplacement, etc.

Les potentialités d'applications sont multiples; communes et administrations publiques se posent de nombreux problèmes de restriction (quelle école supprimer ?) ou de création de services (où localiser le tri sélectif des immondices ?). Population et pouvoirs publics usent de leur influence. Le modèle propose un outil simple qui permet d'orienter le débat sans prendre en compte les luttes d'influence. Utilisé simplement, il oriente le débat. Utilisé avec plus de minutie quant aux inputs, il peut proposer des solutions très précises. Enfin, pour le scientifique, ce type de modèle offre encore de nombreuses perspectives de recherche. En effet, comme dans bien d'autres travaux de modélisation, les problèmes soulevés dans cet article relèvent de la recherche scientifique. Soulever ces questions ne signifie pas diminuer l'utilité des modèles mais en poser les limites actuelles : la plupart relèvent de la modélisation conceptuelle mais davantage encore de l'*analyse des données*. Comment associer les problèmes d'analyse spatiale des données au problème étudié ? Le modèle doit-il tenir compte de toute la réalité environnementale, comportementale et administrative ? Un modèle n'est-il pas avant tout une abstraction de la réalité ? Pour arriver à un bon choix, chercheurs et décideurs doivent collaborer. Plusieurs disciplines scientifiques peuvent apporter leur savoir-faire.

Les modèles de localisation-affectation semblent techniquement mûrs, mais de nombreux problèmes généraux se posent quant à leur applicabilité - comme dans bien d'autres types de modèles économétriques ou démographiques. Gageons que le développement des systèmes experts et des systèmes d'information géographiques facilitera l'application et l'applicabilité des modèles, aidera les chercheurs à réfléchir sur les nombreux biais introduits et les aménageurs à faciliter leur mise en application.

BIBLIOGRAPHIE

- ARBIA G. (1989), *Spatial Data Configuration in Statistical Analysis of Regional Economics and Related Problems*. Doordrecht, Kluwer, 256p
- BEAUMONT J. (1981), Location-Allocation Problems in a Plane : A Review of Some Models. *Socio-Economic Planning Science* 15 : 217-229.
- BEGUIN H., THOMAS I., VANDENBUSSCHE D. (1992), Weight Variations within a Set of Demand Points, and Location-allocation Issues: a Case Study of Public Libraries. *Environment and Planning-A*, 24, 1769-1779.
- BERMAN O., LARSON R. et PARKAN C. (1987), The Stochastic Queue p -median Problem. *Transportation Science* 21 : 207-216.
- CASILLAS P. (1987), Data Aggregation and the p -median Problem. In *Spatial Analysis and Location-Allocation Models*. Edited by Ghosh, A. and Rushton, G. 327-344. New-York: Van Nostrand.
- CURRENT A., SCHILLING D. (1987), Location Modeling : Perspective and Overview. *Geographical Analysis* 22 : 1-3.
- DASKIN M. (1987), Location, Dispatching, and Routing Models for Emergency Services with Stochastic Travel Times. In *Spatial Analysis and Location-Allocation Models*. Edited by Ghosh and Rushton. 224-265. New York: Van Nostrand.
- DASKIN M., HAGHANI A., KHANAL M., MALANDRADRAKI C. (1989), Aggregation Effects in Maximum Covering Models. *Annals of Operations Research*, 18, pp. 115-140.
- DEBEER I., THOMAS I. (1994), Sensibilité de la p -médiane à l'agrégation spatiale de la demande. Une illustration. *Acta Geographica Lovaniensia*, 34, 715-727.
- DOMSCHKE W., DREXL A. (1985), Location and Layout Planning. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* (Springler Verlag, Berlin and New York) 238.
- GOLDBERG J., PAZ L. (1991), Locating Emergency Vehicle Bases when Service Time Depends on Call Location. *Transportation Science* 25 : 264-279.
- GRIFFITH D. (1992), What is Spatial Autocorrelation ? Reflections on the Past 25 Years of Spatial Statistics, *L'Espace Géographique*, 3, 1-16
- HAINING R. (1990), *Spatial Data Analysis in the Social and Environmental Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press.
- HALSETH G., ROSENBERG M. (1991), Locating Emergency Medical Services in Small Town and Rural Setting. *Socio-Economic Planning Sciences* 25 : 295-304.
- HANJOUL P., PEETERS D. (1985), Comparison of Two Dual-Based Procedures for Solving the p -Median Problem. *European Journal of Operational Research*. 20:387-396
- HANSEN P., LABBÉ M., PEETERS D., THISSE D. (1987), Facility Location Analysis. *Fundamental of Pure and Applied Economics*, 22, pp.1-70.
- HODGSON M., NEUMAN S. (1993), A GIS Approach to Eliminating Source Aggregation Error in p -Median Models, *Location Science*, 1:2, pp. 155-170.
- HODGSON M., STORRIER A. (1994), Functional Error in Geographical Analysis: the Case of Spatial Separation in Location-allocation. *Geographical Systems* (in press).

- LEONARDI G. (1981), A Unifying Framework for Public Facility Location Problems-Part 1 : A Critical Overview and some Unsolved Problems. *Environment and Planning A* 13 : 1001-1008.
- ODLAND J. (1988), *Spatial Autocorrelation*. London : Sage. 87p.
- PEETERS D., THOMAS I. (1995), The Effect of the Spatial Structure on the p -Median Results. *Transportation Science* (in press).
- RICHARD D. (1985), *La localisation des services d'incendie dans le province de Luxembourg*. Thèse de doctorat, U.C.L., Département de Géographie
- RICHARD D., PEETERS D., BEGUIN H. (1990), The Location of Fire Stations in a Rural Environment : a Case Study. *Environment and Planning A* 22 : 39-52.
- RUSHTON G. (1989), Applications of Location Models. *Annals of Operations Research* 18 : 25-42.
- THOMAS I. (1983), Amélioration du découpage géographique des agglomérations urbaines. Proposition d'une méthode simple d'agrégation. *L'Espace Géographique*. 3, 207-214
- THOMAS I. (1984), Towards the Simplification of Location Models for Public Facilities: the case of the Postal Service. *Papers of the Regional Science Association*, 55, pp. 47-58.
- THOMAS I. (1986), *La localisation optimale des services publics. Une méthode opérationnelle et son application au service postal*. Louvain-la-Neuve, Cabay, Revue des Thèses, n°11, 269 p.
- THOMAS I. (1993-a), Appliquer un modèle de localisation-affectation à une situation concrète : une gageure ? *Revue d'Economie Régionale et Urbaine* 2, pp. 201-214.
- THOMAS I. (1993-b), Sensibilité du découpage spatial optimal des services d'urgence à la définition de la demande. Quelques réflexions sur un exemple mésogéographique. *L'Espace Géographique*. 4, 318-332