

UN MODÈLE DE LOCALISATION DES BUREAUX DE POSTE

Une application à la Ville de Liège

par

Christine PARTOUNE
Université de Liège

et

Dominique PEETERS
Université catholique de Louvain

I. INTRODUCTION

Le Service des Postes comprend un grand nombre d'unités : en 1974, la Régie des Postes Belges disposait de près de 1800 bureaux. L'intérêt de méthodes de localisation plus rationnelles que les méthodes empiriques encore actuellement utilisées est donc évident.

La Poste est subdivisée en deux grandes branches d'activités. Elle s'occupe d'abord de récolter et de distribuer le courrier par l'intermédiaire des facteurs (service dit mobile [3]). Ce problème est celui de l'organisation de tournées, pour lequel des méthodes de traitement existent (cf. Eilon et al. [2]). Il ne sera pas envisagé ici. Ensuite, la Poste réalise toute une série d'opérations financières (mandats, virements,...) qui s'effectuent aux guichets des bureaux de poste. Dans ce cas, c'est la clientèle qui doit se déplacer pour recevoir la prestation du service (service dit fixe [3]). Seul cet aspect du service est abordé ici. Tous les bureaux de poste seront considérés comme équivalents ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ En fait, il existe une hiérarchie administrative des bureaux, mais celle-ci peut être négligée en première approximation (cf. Partoune [5]).

A la section 2, le modèle de localisation utilisé est exposé. Il s'agit de déterminer les sites où doivent être implantés un nombre donné de bureaux afin de minimiser le coût de l'accessibilité au système (problème de la p -médiane). A la section suivante, la méthodologie qui a été utilisée pour récolter les données nécessaires pour appliquer le modèle à la localisation des bureaux de poste est décrite. Elle a été mise au point pour le Service des Postes de Liège [5]. Les résultats sont analysés dans la section 4.

Le modèle développé ici présente un double avantage. Tout d'abord sa mise en pratique est simple et peu coûteuse. D'autre part, la méthodologie proposée est assez générale pour être appliquée à d'autres villes belges ou dans d'autres pays.

2. LE PROBLÈME DE LA p -MÉDIANE

De nombreux services publics sont implantés de manière à minimiser la distance totale parcourue par les usagers. Ce critère constitue une mesure de l'efficacité globale d'une configuration des centres fournissant ce service. Pour cette raison, il est généralement considéré comme acceptable pour l'ensemble des utilisateurs (une discussion des différents critères de localisation figure dans [4]).

Le problème traité dans cet article consiste à localiser un nombre donné p d'unités. On suppose que les utilisateurs du service public sont concentrés en un certain nombre de points de l'espace. On repère ces points par un indice i ; soit $i = 1, \dots, m$ l'ensemble des localisations des usagers. Le nombre d'utilisateurs en i est a_i . Le choix des points de demande ainsi que l'évaluation des coefficients a_i sont décrits à la section 3. Un inventaire des sites possibles pour l'implantation des centres est effectué préalablement. On suppose qu'il y a n sites retenus, représenté par l'indice $j = 1, \dots, n$. Soit d_{ij} la distance séparant le point de demande i du site j . On peut donner plusieurs interprétations à d_{ij} : ce sera par exemple la distance kilométrique entre les deux lieux, ou encore le temps nécessaire au déplacement en voiture ou par transport public. De même, d_{ij} sera soit calculé exactement, par exemple en utilisant un algorithme de plus court chemin sur le réseau de transport, soit évalué de manière approximative lorsqu'un calcul précis se révèle prohibitif.

Introduisons les variables suivantes :

$$Y_j = 1 \text{ si on décide d'implanter un centre } j \\ = 0 \text{ dans le cas contraire}$$

$$X_{ij} = 1 \text{ si les clients de } i \text{ sont affectés au centre } j \\ = 0 \text{ dans le cas contraire.}$$

Remarquons que la valeur du produit $a_i d_{ij} X_{ij}$ est nulle si $X_{ij} = 0$, ou égale à la somme des distances parcourues par les usagers localisés en i (rappelons que leur nombre est a_i) se rendant au centre j auquel on a décidé de les affecter. Dans ces conditions, l'expression :

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_i d_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

est la distance totale parcourue par les utilisateurs, c'est-à-dire le critère envisagé au début de ce paragraphe. Notre problème consiste dès lors à implanter un nombre p donné de centres de façon à minimiser (1). Il se formule comme suit :

$$\text{minimiser } F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_i d_{ij} X_{ij} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n Y_j = p \quad (4)$$

$$X_{ij} \leq Y_j \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, m \quad (5)$$

$$Y_j = 0 \text{ ou } 1 \quad j = 1, \dots, m \quad (6)$$

Les contraintes (3) expriment que tout point de demande est affecté à une unité. La contrainte (4) indique que le nombre d'unités à construire est p . Enfin, on remarque dans (5) que $Y_j = 0$ implique $X_{ij} = 0$ pour tout i . Cette contrainte empêche donc d'affecter un point de demande à un centre qui ne serait pas construit. Ce problème est connu en Recherche Opérationnelle et en Géographie Économique sous le nom de « problème de la p -médiane ». Pour plus de détails sur ce problème, ainsi que sur les méthodes de résolution correspondantes, on peut se référer à [3].

Signalons encore qu'on exige fréquemment que les usagers de chaque point de demande i n'aient pas à se déplacer au-delà d'une distance D_i pour se rendre au centre le plus proche. Le seuil D_i peut varier d'un lieu à l'autre. Un exemple d'utilisation de ces contraintes additionnelles se trouve au paragraphe 3.5. Un artifice permet leur

prise en compte sans modification de la structure du problème de la p -médiane et donc des procédures de résolution. Il suffit de remplacer d_{ij} par d'_{ij} défini par :

$$\begin{aligned} d'_{ij} &= d_{ij} \text{ si } d_{ij} \leq D_i \\ &= \text{infini, si } d_{ij} > D_i \end{aligned}$$

pour tous les i et tous les j . L'obtention d'une valeur infinie de la fonction objectif (2) à l'optimum implique que ces contraintes ne peuvent être satisfaites avec p centres.

3. DONNÉES DU PROBLÈME

L'utilisation du problème de la p -médiane requiert la détermination de :

- 1) la distribution de la clientèle dans l'espace, représentée par un ensemble I de points i , et l'intensité a_i de la demande en chacun de ceux-ci;
- 2) l'éventail des sites susceptibles d'accueillir un bureau de poste, soit l'ensemble J ;
- 3) le nombre p de bureaux à construire;
- 4) la matrice des distances entre sites et usagers;
- 5) pour certains usagers i , une contrainte sur la distance maximale à parcourir pour atteindre un bureau de poste.

La méthodologie utilisée pour la détermination de ces éléments est décrite ci-après.

3.1. *L'ensemble I des points de demande*

a) Distribution de la clientèle dans l'espace

La première étape consiste à définir la clientèle (la demande) à prendre en compte.

Etant donné les heures d'ouverture des bureaux de poste, la *clientèle potentielle* est représentée par l'ensemble des personnes se trouvant à Liège entre 9 h et 17 h. Cela comprend principalement les actifs occupés à Liège, les non-actifs y habitant et la clientèle extérieure venant y faire ses achats.

Il faut ensuite déterminer comment cette clientèle se distribue dans l'espace. Les statistiques de population ne sont relevées qu'au niveau du secteur. Pour obtenir un degré de précision supérieur, des enquêtes ont été menées dans chaque bureau sur le territoire de la ville de Liège. Au total, plus de 8000 usagers ont été

interrogés sur leur provenance immédiate (domicile ? lieu de travail ? école ? centre commercial ?...). L'adresse précise (au moins la rue ⁽²⁾) de l'origine de chaque usager a ainsi pu être déterminée. A l'aide de ces données, on a pu doter chaque bureau d'une zone d'attraction dans laquelle les rues sont distinguées selon l'importance de la clientèle observée qui en provient. Il faut remarquer que, par cette méthode, on enregistre non plus la clientèle potentielle mais la *clientèle actuelle* des bureaux de poste.

Cependant, tous les clients n'utilisent pas la poste avec la même fréquence : certains s'y rendent tous les jours, d'autres une fois par an seulement. Chaque usager doit donc être pris en compte en fonction du nombre de déplacements qu'il effectue au cours d'une période donnée. Pour cela, il a été demandé également aux usagers d'évaluer le nombre moyen de déplacements qu'ils effectuent par mois vers un bureau de poste. L'intervalle de temps de référence choisi est le mois, car une évaluation sur une période d'un an s'est avérée difficile et trop imprécise pour le client. D'autre part, la fréquentation d'un bureau de poste présente des fluctuations cycliques horaires, quotidiennes, hebdomadaires et mensuelles; c'est la variation mensuelle qui présente l'amplitude la plus faible.

Grâce à cette donnée, on effectue une *pondération* pour chaque usager, de telle sorte que l'importance de chaque rue se mesure par le nombre de déplacements qui en proviennent, enregistrés au cours de l'enquête. Pour simplifier cette pondération, trois coefficients de fréquence mensuelle ont été établis :

utilisation par mois	pois
moins d'une fois	0,5
une fois	1
plus d'une fois	4

Les poids utilisés correspondent à la fréquence moyenne pour chaque catégorie.

b) Méthode d'échantillonnage

Il reste à présent à déterminer le nombre d'enquêtes à réaliser. Pour que toutes les données soient comparables entre elles, il aurait fallu exécuter simultanément dans tous les bureaux un relevé

(²) Pour les clients qui choisissent le bureau de poste en fonction de leurs achats, c'est la rue commerçante qu'ils fréquentent principalement qui a été retenue.

exhaustif des clients par unité de temps. Pour atténuer l'impact des variations cycliques d'affluence, cette unité de temps aurait dû être le mois. Cette méthode est impraticable et exigerait un nombre d'enquêtes aussi considérable qu'inutile. En effet, l'importance relative de chaque rue en tant que « fournisseur de clientèle » ne varie plus significativement au-delà d'un certain nombre d'enquêtes. C'est pourquoi la démarche adoptée consiste à fixer le nombre d'enquêtes nécessaires, et ensuite à corriger les valeurs enregistrées (le nombre de déplacements par mois d'une rue) en les pondérant selon la fréquentation mensuelle réelle du bureau correspondant.

Le nombre de clients réels est obtenu en prenant le nombre d'opérations effectuées aux guichets, qui sont recensées chaque mois par le service des statistiques de la poste. La période de référence qui représente le mieux la fréquentation moyenne est le mois de mars.

On peut maintenant spécifier le nombre d'enquêtes à réaliser. Après avoir testé plusieurs échantillons, il est apparu qu'un *minimum de 200 enquêtes par bureau* était nécessaire pour que toutes les rues aient une probabilité significative de figurer dans l'échantillon. Ce nombre est en outre suffisant pour atteindre la stabilité des poids relatifs des rues.

La méthode utilisée permet donc d'évaluer le nombre de déplacements réels effectués chaque mois à partir de chaque rue, c'est-à-dire son poids a_i .

c) Présentation des données

Les données relatives à la demande sont présentées sous la forme d'un ensemble de points. Le milieu de la rue a été choisi comme point de départ pour tous les usagers qui en proviennent. Les rues très longues ont été subdivisées en plusieurs tronçons. Chaque point i ainsi obtenu est caractérisé par ses coordonnées (x_i, y_i) et son poids a_i . L'ensemble I comporte 1214 points.

3.2 L'ensemble J des sites possibles

En plus des sites actuellement occupés par un bureau de poste, un certain nombre de sites ont été sélectionnés. Ce choix est basé sur différents critères susceptibles de favoriser un bon fonctionnement du bureau de poste éventuel. Les critères utilisés se justifient d'eux-mêmes :

- animation commerciale;
- proximité d'une entreprise, d'un complexe de bureaux;
- proximité d'une école, d'autres services;

- accessibilité par les moyens de transport;
- lieu de passage important;
- propositions émises par la clientèle interrogée au cours des enquêtes.

Au total, 133 sites ont été retenus, y compris les 34 sites actuellement occupés.

3.3. *Le nombre de bureaux à construire*

La ville de Liège possède actuellement 34 bureaux de poste. Pour évaluer ce système ainsi que les variations d'efficacité résultant de la diminution ou de l'augmentation de ce nombre, plusieurs solutions ont été examinées :

- solutions pour une fourchette de 32 à 45 bureaux à construire, en supposant qu'aucun bureau ne soit préalablement construit;
- solutions pour la construction de 1 à 11 bureaux supplémentaires, compte tenu des 34 bureaux existants.

3.4. *La distance*

Pour représenter la distance entre tout couple de lieux, il faudrait tenir compte des différents modes de transport utilisés (déplacement pédestre, en voiture, en bus...). Cependant, même si on n'en retient qu'un seul (par exemple le réseau routier), le nombre d'opérations pour la récolte des données est trop important. C'est pourquoi on se contente d'une approximation en utilisant la distance à vol d'oiseau, ou distance euclidienne (voir [3]) qui ne nécessite que la connaissance des coordonnées des points.

Signalons qu'il est possible de tenir compte d'obstacles divers (ponts,...). Dans ce qui suit, on ne tiendra compte que des variations de relief (cf. 4.3).

3.5. *Contrainte de distance*

Une contrainte de distance maximum entre tout lieu i et le bureau le plus proche peut être introduite. Pour cela, le territoire de la ville a été subdivisé en trois types de zones en fonction de la densité de la demande :

- le centre-ville : contrainte de 500 m;
- les faubourgs : contrainte de 1000 m;
- la zone périphérique externe : aucune contrainte.

La contrainte de 500 m correspond à la distance maximale qu'un piéton accepte généralement de parcourir (cf. Verscheure [7]) et a été appliquée au centre-ville pour qu'aucun déplacement dans cette zone ne nécessite l'emploi d'une voiture.

Pour la zone intermédiaire, encore densément peuplée, une contrainte de 1000 m permet encore à la majorité des usagers d'atteindre un bureau à pied dans des temps raisonnables. D'autre part, dans cette zone, la circulation automobile est plus aisée.

Au delà, aucune contrainte n'est imposée car, comme le souligne M.B. Teitz [6], on estime que les clients qui ont choisi de s'établir dans une zone peu densément peuplée trouvent dans leur environnement des compensations à l'absence de service public proche.

4. ANALYSE DES RÉSULTATS ⁽³⁾

Les résultats fournis par le modèle diffèrent selon les contraintes auxquelles la fonction est soumise. Rappelons que nous avons fait varier le nombre p de bureaux à construire et que deux contraintes supplémentaires ont pu être introduites, séparément ou simultanément :

- l'existence au départ des 34 bureaux actuels;
- une contrainte de distance maximale pour certaines zones.

On obtient ainsi quatre classes de problèmes présentés dans le tableau ci-dessous :

	Aucun bureau construit au préalable	Les 34 bureaux actuels au départ
pas de contrainte de distance	1) 32 à 45	2) 34 à 45
	Nombre de bureaux à construire	
Contrainte de distance	3) 32 à 45	4) 34 à 45

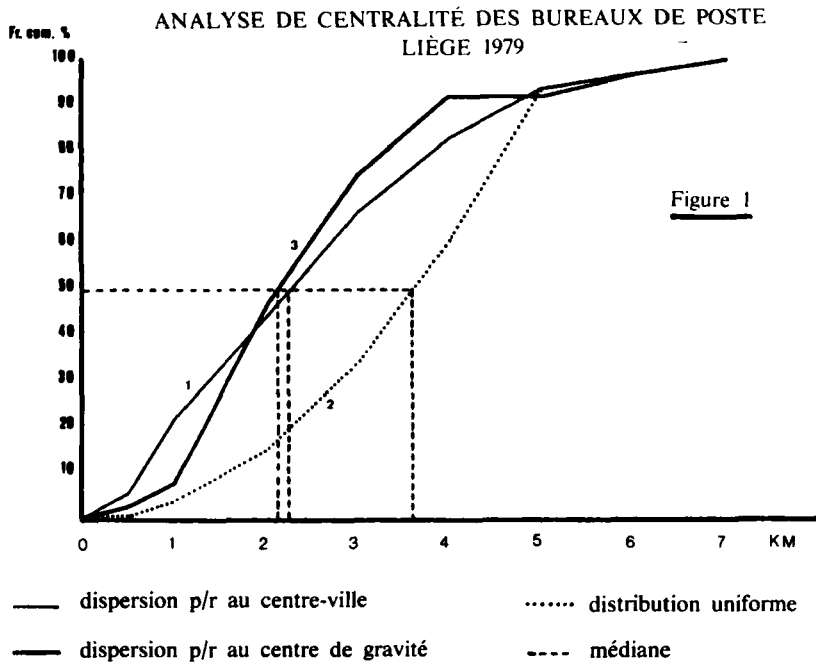
⁽³⁾ Les problèmes ont été résolus par l'algorithme BABEL décrite dans [3].

Pour chaque solution d'un problème, le modèle indique les p sites retenus parmi les 133 sites proposés, ainsi que la valeur de la fonction objectif F , qui est une mesure de l'efficacité du système. L'analyse des résultats consiste à comparer les diverses configurations entre elles de deux points de vue différents mais complémentaires. Pour chaque groupe de configurations, on peut tracer la courbe qui montre comment varie l'efficacité lorsqu'on modifie le nombre de bureaux à construire. D'autre part, les résultats peuvent être transposés sur une carte et analysés visuellement.

4.1. Répartition actuelle des bureaux de poste

Avant d'examiner les nouvelles propositions, il convient d'évaluer la répartition actuelle des bureaux de poste. Pour cela, plusieurs méthodes ont été utilisées.

D'abord des *mesures de dispersion* (cf. Beguin [1]) par rapport au centre de gravité de la distribution et par rapport au centre-ville ont été effectuées. Elles montrent une forte concentration des bureaux dans une zone entre deux pôles. La distribution est assez proche de l'uniformité au delà, puis présente une nette tendance à la dispersion (Fig. 1).



Ensuite, on a examiné la *carte de répartition* des bureaux par rapport à la densité de la clientèle, en tenant compte des contraintes de distance établies. Pour cela, il suffit de tracer autour de chaque bureau de poste un cercle dont le rayon varie en fonction de la zone considérée (500 m - 1.000 m). Si ce cercle recoupe une zone où la contrainte change, il faut procéder à un ajustement comme le montre la figure ci-dessous.

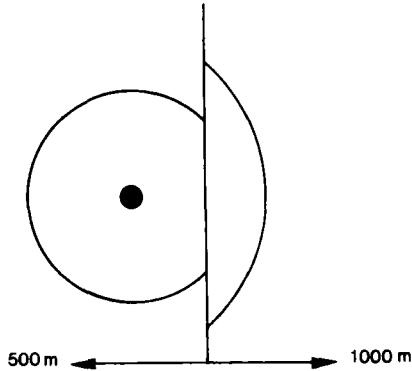


Figure 2.

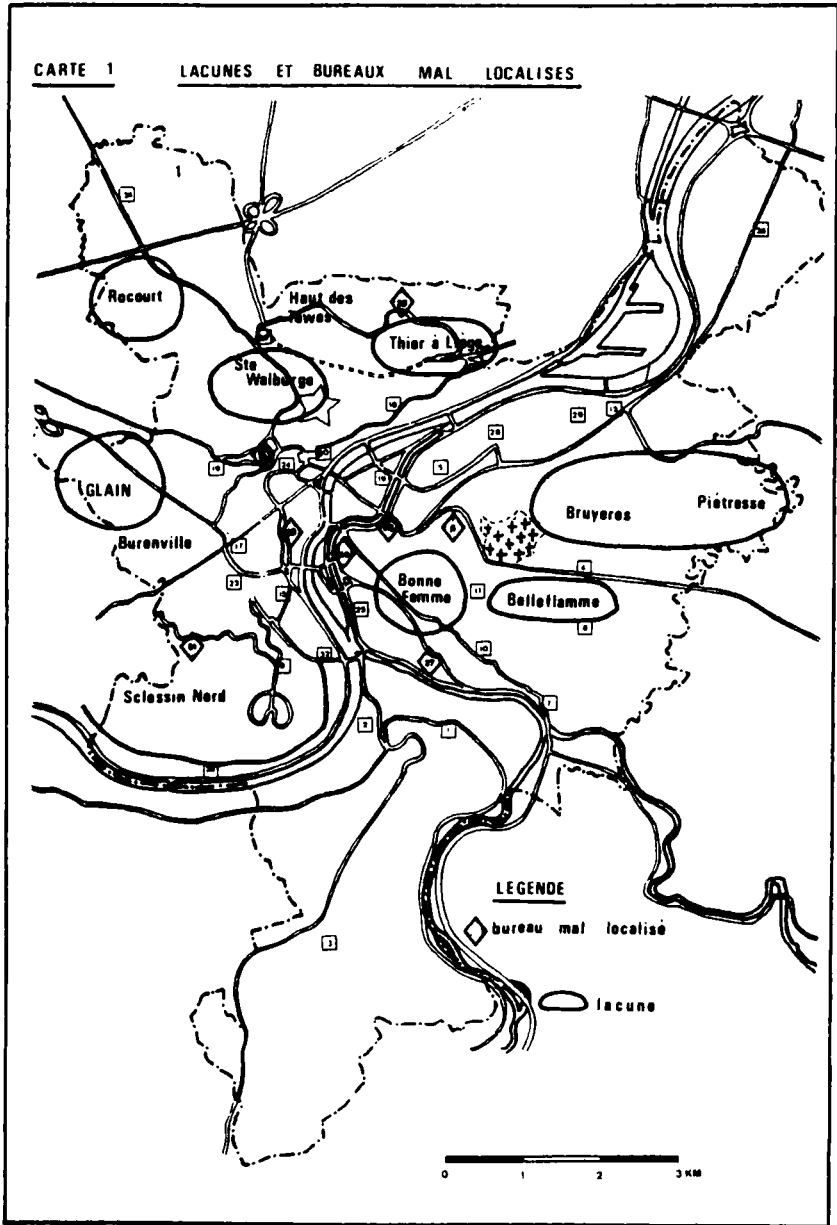
Par ce moyen, on n'a relevé que de minuscules îlots pour lesquels la contrainte n'est pas satisfaite, ce qui semble prouver qu'au moins dans les zones où l'on a imposé des contraintes, la disposition actuelle des bureaux est de ce point de vue satisfaisante. Cependant, cette contrainte est mesurée à vol d'oiseau et peut fausser l'évaluation. C'est pourquoi la densité de la demande a été examinée en relation avec le chemin à parcourir. Plusieurs lacunes ont alors été relevées.

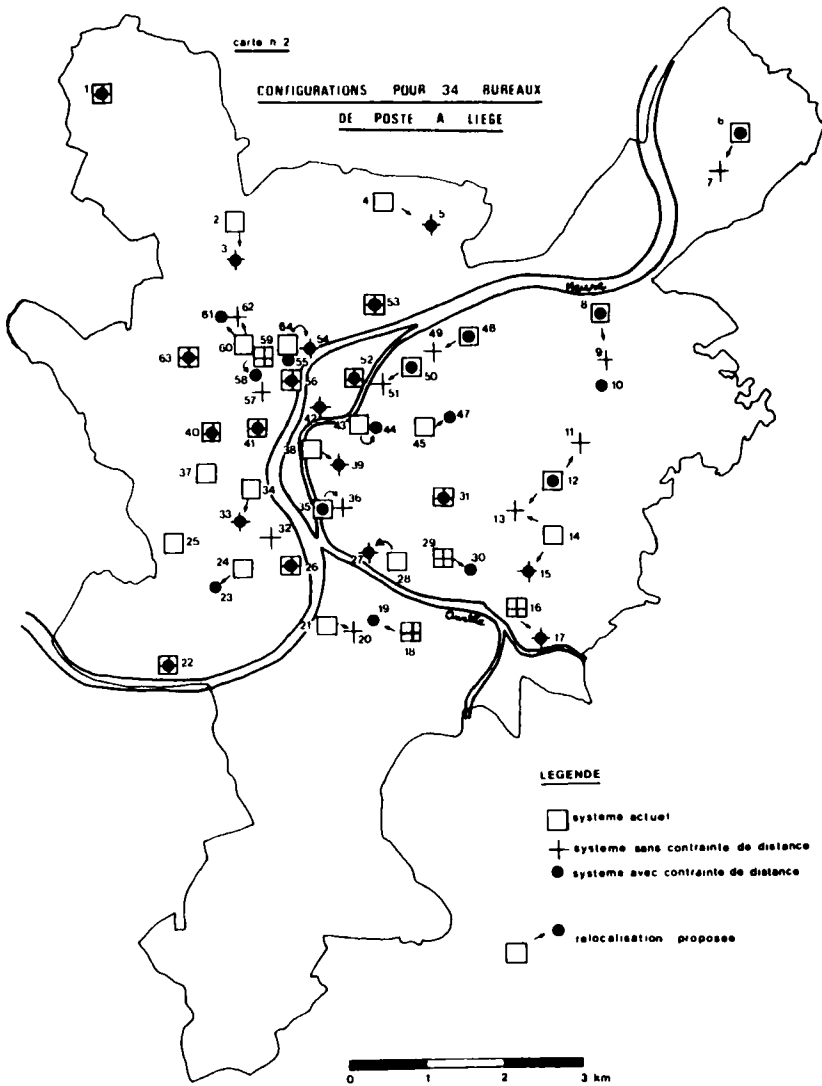
Enfin, au cours des *enquêtes*, on a pu recueillir les critiques et les propositions formulées par les usagers.

D'autre part, l'élaboration d'une hiérarchie des bureaux de poste basée sur l'importance de leur clientèle ⁽⁴⁾ a mis en évidence le mauvais fonctionnement de certains bureaux. Celui-ci se traduit par un suréquipement et un manque d'activité évidents.

La carte n° 1 donne les résultats de cette analyse.

(4) Pour plus de détails, on peut consulter [5].





4.2. Configurations optimales

A présent, il reste à examiner les résultats fournis par le modèle et à les confronter avec la situation actuelle. Cela permettra à la fois de critiquer le système actuel dans une perspective nouvelle et d'apprécier la qualité des propositions obtenues à partir du modèle lui-même.

a) *Système actuel et système optimal sans contrainte de distance* (Fig. 3, courbes 1 et 2)

Si on réorganiserait complètement le système actuel en construisant 34 bureaux, on réduirait la distance totale à parcourir de presque 10 %. Au fur et à mesure qu'on ajoute des bureaux à ce système, la distance totale décroît assez régulièrement mais de moins en moins vite pour atteindre une diminution globale de 21,9 % avec 45 bureaux.

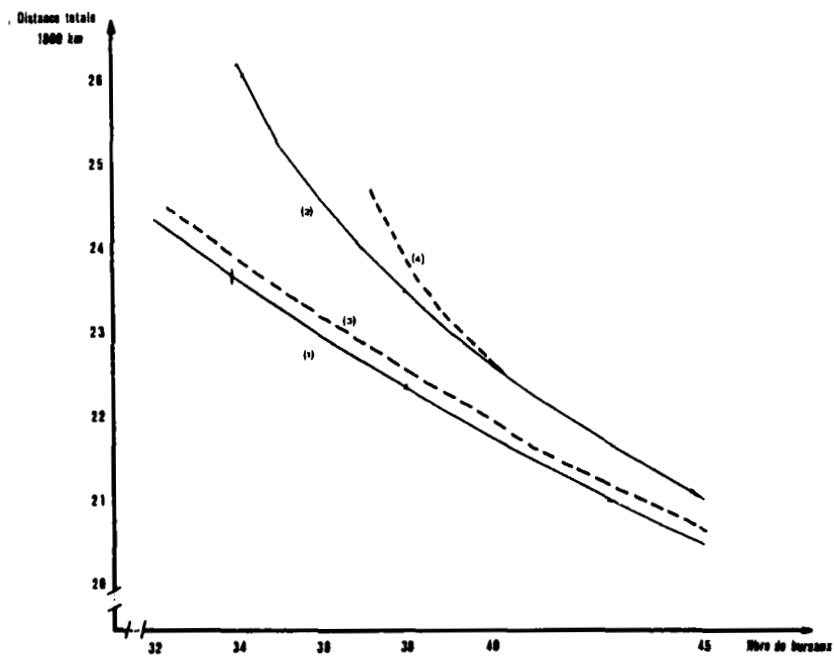
L'analyse de la carte n° 2 apporte d'autres informations. Seuls les systèmes pour 34 bureaux ont été représentés.

Dans le système optimal, 11 bureaux retenus existent déjà. Parmi les autres bureaux actuels, plusieurs sont assez proches des nouveaux sites proposés. Par un fléchage approprié, on peut imaginer sur la carte comment les bureaux pourraient être relocalisés si on tient compte des réalités locales (barrières topographiques ou par les voies de transport,...). On voit que certains déplacements sont négligeables, quoiqu'ils indiquent un site encore plus accessible (n° 17, 36). Ailleurs, des bureaux sont construits dans des zones actuellement non desservies, et comblent ainsi les lacunes relevées (n° 3, 5, 9, 11) ou d'autres insoupçonnées (n° 32, 42, 57). On peut également trouver, pour chaque bureau reconnu comme étant mal localisé, un site plus favorable (n° 5, 27, 39, 62). Une zone pourtant ne reçoit pas de bureau (Cointe).

Si on désire seulement améliorer la solution existante en y ajoutant de nouveaux bureaux, la courbe d'efficacité n° 2 montre clairement que quelques unités supplémentaires suffisent pour augmenter fortement l'efficacité du système.

Si on compare les courbes 1 et 2, l'écart entre elles s'amenuise très rapidement au début, puis on observe un net ralentissement de ce rapprochement : avec 45 bureaux, la solution existante améliorée de presque 20 % atteint la même efficacité que le système optimal de 43 bureaux. On pourrait donc en conclure qu'il vaut mieux ajouter quelques bureaux plutôt que d'opérer une réorganisation totale.

RELATION ENTRE LA DISTANCE ET LE NOMBRE DE BUREAUX



- (1) et (3) : aucun bureau au départ
(2) et (4) : 34 bureaux actuels au départ
- - - - - contrainte de distance

Figure 3

L'analyse cartographique tempère cette première impression. En effet, les nouveaux bureaux sont intercalés entre les anciens et essaient de remédier aux lacunes reconnues, mais comme aucun bureau n'est déplacé, certains se retrouvent tellement proches qu'un double emploi est à craindre.

D'autre part, si on diminue le nombre de bureaux, on voit, en extrapolant la courbe, que le système complètement réorganisé peut atteindre l'efficacité de la solution actuelle avec 28 bureaux seulement. En tenant compte des coûts de fonctionnement et d'investissement ainsi que du budget disponible, il est dès lors possible de faire un choix : soit augmenter le nombre de bureaux, soit relocaliser certains bureaux existants, soit encore adopter une solution mixte en conservant certains bureaux, en déplaçant ceux qui fonctionnent mal et en diminuant le nombre total de bureaux pour compenser les coûts occasionnés.

b) *Système actuel et système optimal avec contrainte de distance* (Fig. 3, courbes n° 3 et 4)

Dans l'hypothèse où on réorganise totalement le système (courbe n° 3), l'introduction des contraintes de distance conduit à retenir des configurations différentes des premières mais légèrement moins efficaces.

Sur la carte, les observations sont identiques à celles qui ont été faites pour les systèmes non contraints excepté sur un point : un bureau est construit à Cointe (n° 23).

Si on compare les deux systèmes, on peut observer que le choix d'un site peut se répercuter sur plusieurs bureaux.

Si on prend le cas de la zone qui va de Grivegnée à Jupille en passant par Bois-de-Breux, on constate que les bureaux d'une série s'intercalent entre ceux de l'autre série (n° 9, 11, 13, 15, et n° 8, 10, 12, 15). On observe le même phénomène au centre-ville et dans la zone « Amercœur-Bressoux-Droixhe ». L'important est de pouvoir délimiter ces zones d'interdépendance et de choisir, pour chacune d'elles, la série qui convient le mieux.

A partir des 34 bureaux existants, le problème contraint n'est pas réalisable. ⁽⁵⁾

4.3 Amélioration du modèle

L'inconvénient majeur de ce modèle est d'avoir supposé que les distances étaient en ligne droite, sans les pondérer par l'importance relative d'obstacles éventuels à franchir pour se rendre à un

(5) Il l'eût été avec 37 bureaux.

bureau de poste : pente forte, fleuve, ligne de chemin de fer ou voie rapide. Or les faubourgs de Liège sont principalement situés dans la zone des terrasses de la Meuse, de sorte que les distances y sont fortement sous-estimées, surtout en ce qui concerne la rive gauche. C'est pourquoi une variante du modèle a été mise au point. Elle consiste à délimiter les zones accidentées et à appliquer un facteur de pondération dans le calcul des distances, proportionnel à la pente moyenne de la zone considérée. Pour le reste du territoire, les distances sont inchangées.

Les zones accidentées sont approximées par 5 polygones, 3 sur la rive droite et 2 sur la rive gauche. On joint chaque couple de points, représentant un site possible et un usager, par un segment de droite. Pour chaque polygone, on pondère la longueur de la portion du segment éventuellement incluse dans le polygone par un facteur propre à ce dernier.

Une procédure de tâtonnement a conduit à retenir les valeurs 1,2 pour les polygones de la rive droite et 1,5 pour ceux de la rive gauche.

Cette transformation a pour effet d'attribuer un plus grand nombre de bureaux dans les zones accidentées. Elles se trouvent ainsi moins défavorisées par rapport au centre-ville. Cela comble certaines lacunes observées pour les solutions des modèles précédents.

BIBLIOGRAPHIE

1. H. BEGUIN, *Méthodes d'analyse géographique quantitative*, Paris, Librairies Techniques, 1979.
2. S. EILON, C.D.T. WATSON-GANDY & N. CHRISTOFIDES, *Distribution Management : Mathematical Modeling and Practical Analysis*, Londres, Griffin, 1971.
3. P. HANSEN, D. PEETERS & J.-F. THISSE, « Méthodes de localisation des services publics : un rapport introductif », *Annales de l'économie publique, sociale et coopérative*, Liège, 1980.
4. —. « Location Theory, Cost-Benefit Analysis, and 0-1 Programming », Communication au Colloque Analyse spatiale et services publics de l'ASRDLF, Louvain-la-Neuve, septembre 1979.
5. C. PARTOUNE, *Problèmes de localisation des services publics ; élaboration d'un modèle pour les bureaux de poste à Liège*, Mémoire de licence en sciences géographiques, Université de Liège, 1978-1979, non publié.
6. M.B. TEITZ, « Toward a Theory of Urban Public Facility Location », *Papers of the Regional Science Association*, vol. XXI, 1967, pp. 35-51.
7. G. VERSCHEURE, *Matériaux pour la détermination des grilles de services au public*, Bruxelles, Bureau du Plan, 1979.