
MORPHOLOGIE URBAINE ET MOBILITÉ PÉDESTRE

IDENTIFICATION DES CONFIGURATIONS SPATIALES DÉTERMINANT LES CARACTÈRES LOCAUX DES DÉPLACEMENTS PIÉTONNIERS

Mehdi FLITTI : *THEMA UMR 6049, CNRS - Université de Franche-Comté*

E-mail : mehdiflitti@yahoo.fr

Arnaud PIOMBINI : *THEMA UMR 6049, CNRS - Université de Franche-Comté*

E-mail : arnaud.piombini@univ-fcomte.fr

RÉSUMÉ. *Les pratiques pédestres au sein des espaces urbanisés demeurent mal connues. Afin de mieux comprendre ce type de déplacement et ainsi aider à son développement, nous proposons dans cet article d'étudier les liens entre morphologie urbaine et mobilité piétonnière. Cette exploration repose sur l'observation des variations spatiales des comportements moyens de marche à pied dictés par la configuration du réseau viaire en chaque lieu. Le niveau d'analyse considéré est celui des différents tronçons composant la voirie, où sont agrégés les attributs des trajets piétonniers d'une part, et des indicateurs de morphologie urbaine (configuration du réseau...) d'autre part. Cette mise en relation doit permettre d'identifier des configurations spatiales plus ou moins aptes à favoriser le trafic pédestre.*

ABSTRACT. The pedestrian practices into the urbanised spaces remain poorly known. In order to better understand these practices and thus to help to its development, we propose in this paper to study the relationships between urban morphology and pedestrian mobility. This exploration is made through the observation of spatial variations of average behaviours of walking which are dictated by the configuration of the street network in each place. The analysis considers the different sections composing the street network: on the one hand, pedestrian journeys attributes are aggregated and on the other hand, urban morphology indicators (street network system...). Investigating the relationship between urban morphology and pedestrian mobility should allow the identification of spatial configurations more or less adapted for favouring pedestrian traffic.

MOTS-CLÉS : *Réseau viaire, paysage urbain, morphologie urbaine, cheminements pédestres, plus courts chemins, Besançon.*

KEY WORDS: Street network, urban landscape, urban morphology, pedestrian practices, shortest paths, Besançon.

La régulation de la mobilité urbaine, pour remettre en cause quarante années de dépendance à l'automobile (Dupuy, 1999), semble être une nécessité établie et admise. L'un des enjeux principaux est sans doute le rééquilibrage modal entre les modes de déplacement doux et l'automobile. Ainsi, nombre de déplacements motorisés, inférieurs à un kilomètre, pourraient être avantageusement remplacés par des pratiques pédestres. Ceci reviendrait, à cette échelle, à inverser le processus de « transition urbaine » (Wiel, 1999) qui a conduit ces dernières années au passage d'une ville pédestre à une ville dominée par le trafic automobile.

Pour favoriser le développement des déplacements piétonniers, il est nécessaire de mieux en comprendre les pratiques, qui demeurent mal connues. En effet, les travaux menés sur la mobilité se contentent de nous renseigner sur les origines et les destinations mais ignorent les trajets. Or, les cheminements effectués sont, à notre sens, d'un grand intérêt car ils mettent en évidence l'attitude des piétons. Ces derniers, étant très sensibles à l'environnement qui les entoure, réagissent directement aux stimuli produits par la ville. La mobilité pédestre fait donc référence à une certaine pratique de l'espace urbain, fondamentalement différente de celle observée pour les autres modes de déplacement.

Pénétrer cette sphère décisionnelle des marcheurs laisse présager une meilleure compréhension de leurs exigences. C'est une perspective d'une indéniable richesse qui peut ouvrir la voie à de nombreux questionnements :

- Quelles sont les rues, les tronçons qui sont particulièrement répulsifs, attractifs dans un espace urbain donné ?
- Comment caractériser morphologiquement ces tronçons ?
- Quelles sont les variables de morphologie¹ urbaine les plus explicatives ?
- Y a-t-il une hiérarchie clairement définie pour ces variables ?
- Cette hiérarchie s'applique-t-elle de manière homogène dans l'espace urbain ?

Afin de répondre à ces questions et de combler le manque de connaissance concernant l'organisation de la mobilité pédestre, une enquête a été réalisée sur les déplacements quotidiens à Besançon. La spécificité de cette enquête réside dans le géoréférencement des origines et des destinations des déplacements, ainsi que dans le recensement des trajets correspondants. Le jeu de données collecté a ensuite été implémenté dans un Système d'Information Géographique (Foltête *et al.*, 2002).

Dans ce contexte, et en s'appuyant sur les informations collectées, notre étude se base sur l'hypothèse selon laquelle les déplacements pédestres sont conditionnés par un certain nombre de paramètres urbains. Cette mise en correspondance entre formes urbaines et pratiques s'inscrit dans la logique d'autres travaux qui ont analysé les interactions entre structures urbaines et mobilité. Ainsi, Hess *et al.*, (1999) ont étudié la relation entre trafic piétonnier, densité de population, revenu des ménages et occupation du sol afin de modéliser le volume de trafic pédestre en différents milieux urbains (dans un rayon de 800 m).

Notre objectif, dans cet article, est de présenter les étapes de construction d'un modèle de prédiction de la fréquentation pour chaque tronçon² du réseau viaire connaissant la fréquentation théorique fondée sur les plus courts chemins entre origines et destinations. Cette démarche s'intéresse aux variations spatiales des comportements moyens de marche à pied en un lieu. La voirie est ici considérée comme une juxtaposition de tronçons, caractérisables par des variables de morphologie urbaine et support des nombreux trajets pédestres effectués à l'échelle intra-urbaine.

Dans un premier temps, nous présenterons les résultats de l'enquête qui nous a permis d'obtenir une carte de charge de la voirie, c'est-à-dire de l'intensité de la pratique pédestre, et nous a conduit à la réalisation d'une carte de fréquentation « théorique » par les plus courts chemins. Nous dévoilerons ensuite les étapes de la modélisation de la relation entre charge observée et charge simulée. Pour finir nous, présenterons des perspectives de recherche qui semblent essentielles à la compréhension des choix de déplacements piétonniers.

1 De l'enquête à la détermination de l'intensité du trafic pédestre

1.1 Introduction à la mobilité pédestre

La mobilité pédestre implique un rapport privilégié à l'espace, relevant du domaine de la cognition spatiale propre à chaque individu. Par cognition spatiale, nous entendons l'intermédiaire entre la ville, combinaison d'éléments concrets (morphologie urbaine) et les pratiques : elle permet aux personnes d'interagir avec « *l'espace tel qu'il est vu, mais aussi imaginé et construit avec l'adjonction des connaissances intériorisées* » (Cauvin, 1999).

¹ Le terme de morphologie urbaine regroupe un ensemble de paramètres morpho-structuraux relatifs aux apparences extérieures de la ville (bâti, voirie, trafic automobile...).

² Nous désignons par le terme de tronçon chaque portion du réseau viaire compris entre deux nœuds.

Afin d'adopter une approche plus compréhensive des comportements de marche à pied, nous proposons dans cet article une méthodologie permettant de prendre en compte les différents « niveaux d'exigence » des piétons lors du choix d'un itinéraire. Notre postulat de base est le suivant : les rues s'offrent à la cognition des piétons ; le choix d'un itinéraire par un piéton est déterminé par plusieurs variables morphologiques caractérisant les rues.

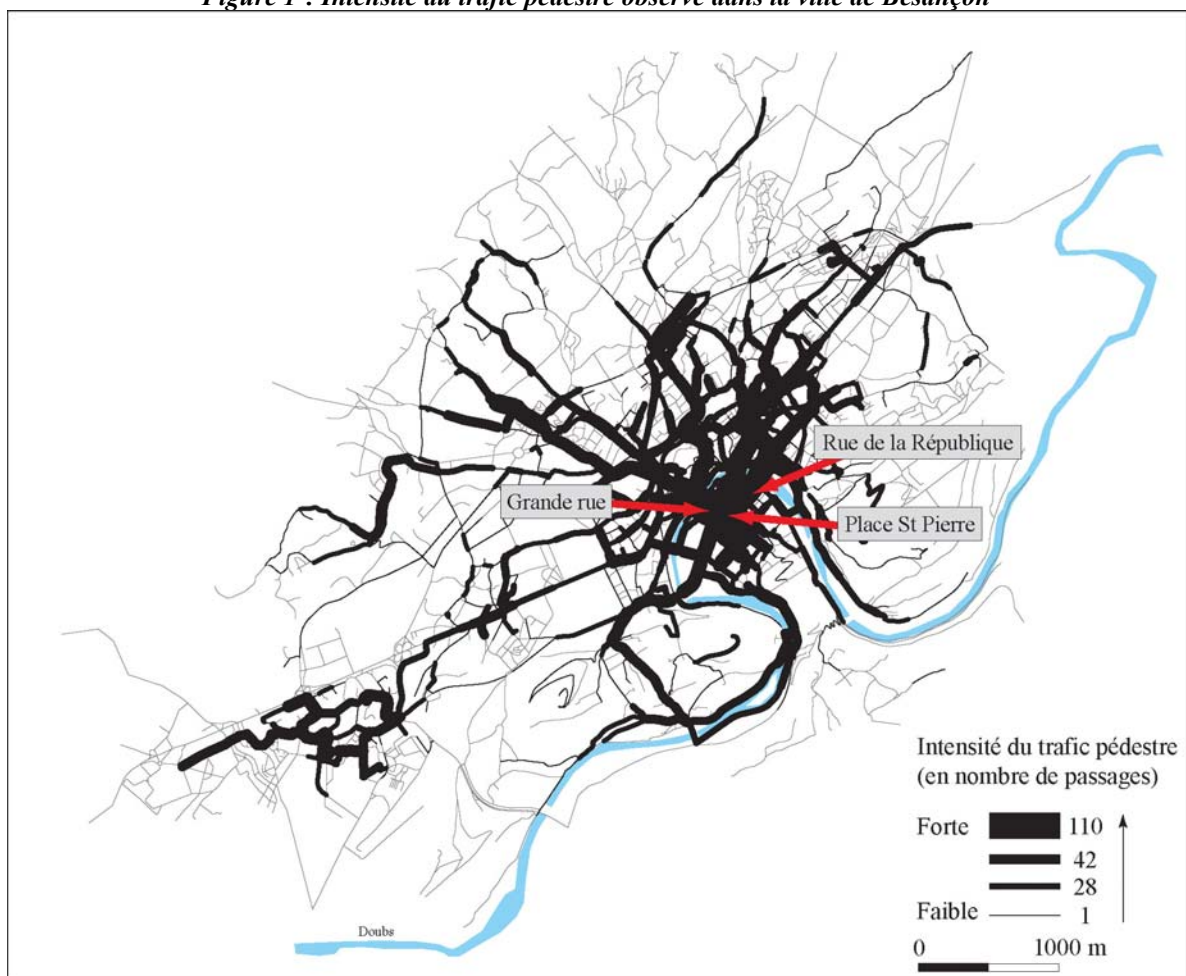
1.2 Une enquête spécifique pour relever un ensemble de trajets pédestres urbains

Les enquêtes traditionnelles de mobilité, essentiellement quantitatives, sont habituellement réalisées auprès d'un grand nombre de personnes puis codées sous la forme de matrices origine-destination. Pour analyser ces jeux de données, les modèles gravitaires (Pumain, Saint-Julien, 2001) sont couramment employés et l'on ne s'intéresse au réseau viaire que par une méthode d'affectation des trafics prévisibles (automobiles, pédestres...). Par cette entrée, on tente de comprendre le mode de fonctionnement urbain. Cependant, nous ne pouvons nous satisfaire de cette méthode qui considère le mouvement comme une simple action consistant à rallier une origine à une destination et qui fait abstraction des caractéristiques du déplacement.

L'objectif principal de l'enquête est de spatialiser la mobilité piétonnière. Les données géoréférencées collectées sont originales pour plusieurs raisons : elles ont été recueillies par téléphone pour être saisies simultanément d'une part, dans une base de données relationnelle (Access) pour les caractéristiques de chaque trajet de chaque individu (motif, fréquence, appréciation qualitative...), d'autre part, dans un SIG (Mapinfo) pour le domicile, la destination et surtout le tracé des trajets.

L'enquête a permis de recenser 665 trajets effectués en marche à pied sur la ville de Besançon. Ces informations ont permis d'établir une carte représentant l'intensité du trafic pédestre (*figure 1*). Sur chaque tronçon de la voirie est comptabilisé le nombre de passages en fonction de l'échantillon de l'enquête. La carte montre une forte hétérogénéité de valeur de charge (*i.e.* intensité du trafic pédestre) selon les arcs : de nombreux arcs présente une charge faible et, à l'opposé, quelques arcs sont parcourus très souvent. Cette carte montre que les tronçons les plus empruntés se situent dans la boucle du Doubs, surtout le long de la Grande Rue, en partie piétonne, et sur les axes conduisant vers la place centrale du centre ville (place St Pierre), tels que la rue de la République. En dehors de cette zone, à mesure que l'on s'éloigne du centre ville, la charge diminue de manière hétérogène mais inexorable.

Figure 1 : Intensité du trafic pédestre observé dans la ville de Besançon



1.3 Intensité théorique du trafic pédestre

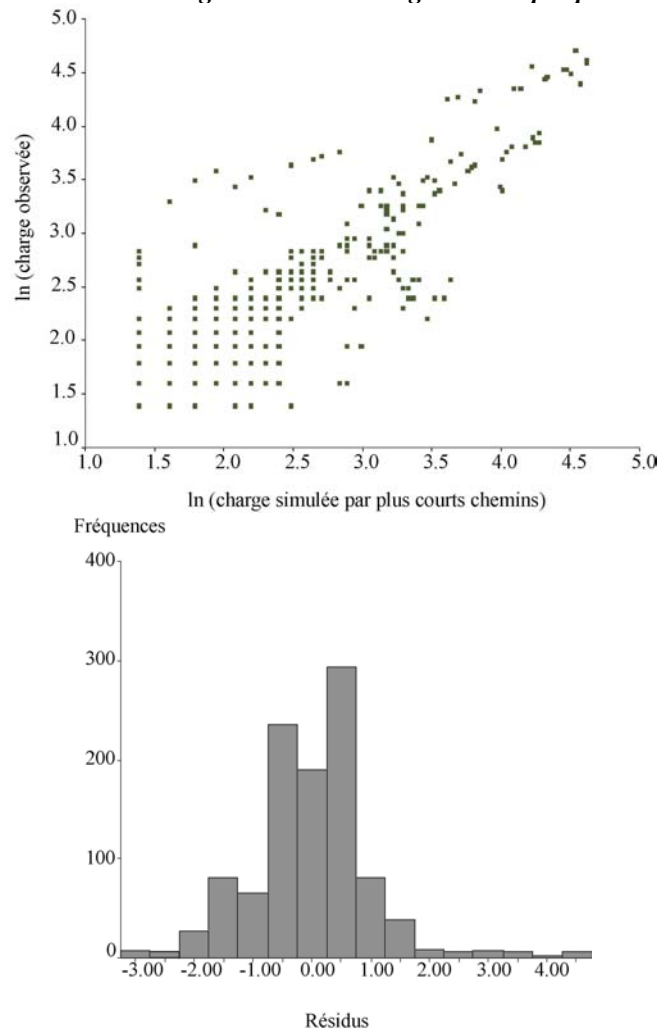
Pour déterminer l'intensité théorique du trafic pédestre, nous partons de l'hypothèse que les piétons ont tendance à minimiser leur parcours entre une origine et une destination. Ainsi, à partir des couples origine-destination issus de l'enquête nous avons défini des trajets optimaux, en terme de distance réticulaire, grâce à un algorithme de plus court chemin. Par le même procédé de calcul de charge, c'est-à-dire un comptage du nombre de fois où chaque tronçon de la voirie a été parcouru, nous avons défini la charge théorique de l'ensemble du réseau bisontin. Le résultat de cette simulation, non présenté, est très similaire à la carte de charge observée (*figure 1*).

La carte de charge simulée par les plus courts chemins peut être considérée comme une vue d'ensemble des comportements individuels de mobilité pédestre fondés sur l'hypothèse de minimisation de l'effort et du temps de parcours. Partant de ce principe, dans quelle mesure cette information peut-elle servir pour prédire la charge réelle et expliquer l'intensité de la fréquentation de la voirie ?

2 Analyse de la relation entre charge observée et charge simulée par les plus courts chemins

Nous disposons maintenant d'une base de données dans laquelle chaque tronçon de rue est caractérisé par une fréquentation réelle et une fréquentation théorique, issue des plus courts chemins. Dès lors, l'objectif est de déterminer si les trajets observés sont conformes ou non aux trajets théoriques par les plus courts chemins.

Figure 2 : Relation entre charge observée et charge simulée par plus courts chemins



Une fois éliminés les arcs comptant une très faible charge réelle et simulée, il est possible d'obtenir un nuage de point ayant un allongement correct (*figure 2*) et traduisant une relation linéaire (Tomassone *et al.*, 1992).

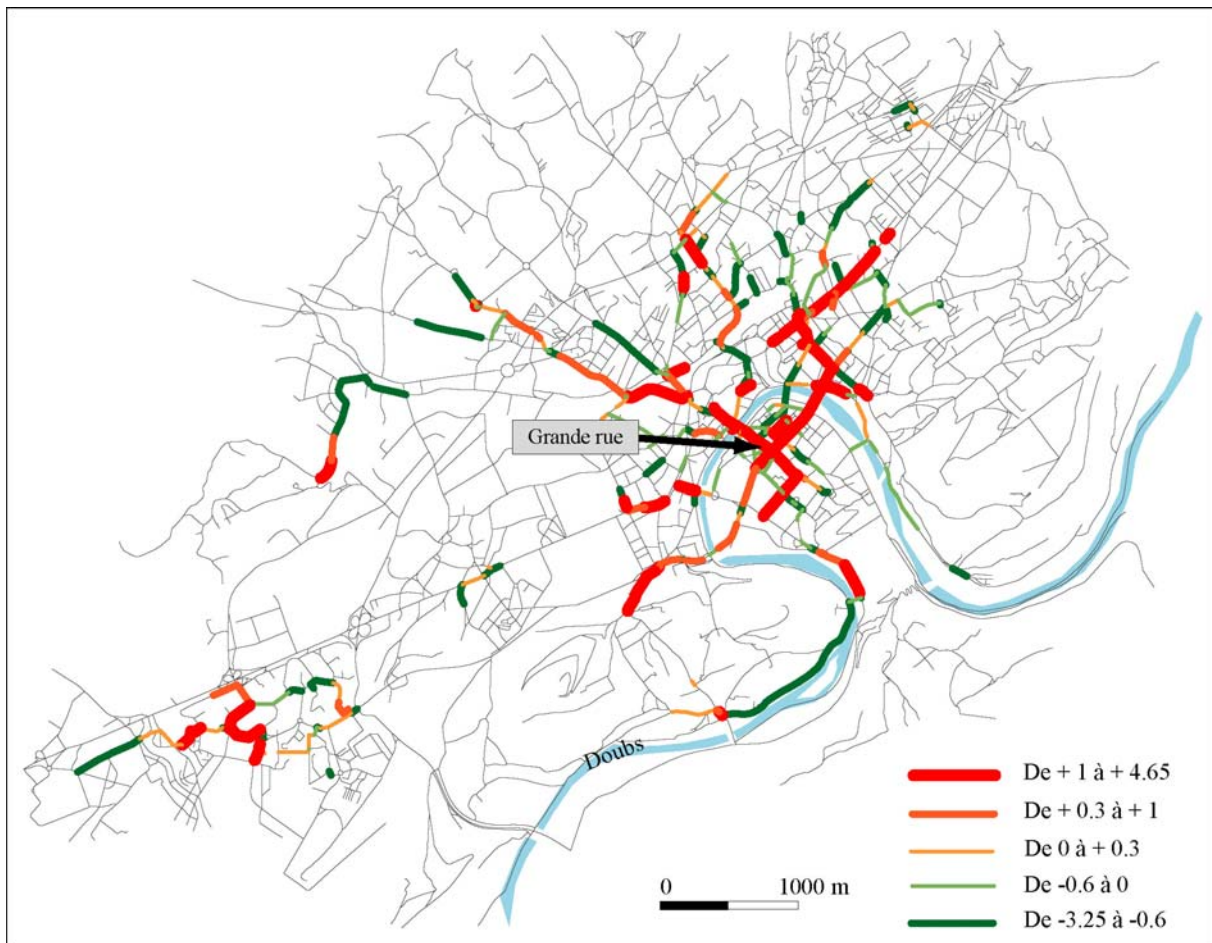
Une régression linéaire permet de réduire le nuage de points par le modèle statistique suivant :

$$\log Co = 0,851 \times \log Cs + 0,313$$

où Co et Cs correspondent respectivement à la charge observée et à la charge simulée. Avec un coefficient de détermination est de $r^2 = 0,73$ le modèle est significatif.

L'analyse de la distribution des résidus du modèle en confirme la validité statistique (*figure 3*). En effet, l'examen de la répartition spatiale des résidus montre que les écarts au modèle ne sont pas répartis de manière aléatoire et qu'ils obéissent localement à certaines logiques. Ceci met en évidence les spécificités des itinéraires de mobilité recueillis lors de l'enquête.

Figure 3 : Résidus du modèle statistique permettant d'estimer l'intensité des flux piétonniers dans la ville de Besançon



Les résidus fortement positifs, qui correspondent aux tronçons de voirie dont la charge réelle a été sous-estimée par le modèle, sont distribués sur la Grande Rue (rue principale du centre) et sur les grands axes conduisant au centre : ces tronçons, qui ne font pas partie des trajets optimaux selon le critère des plus courts chemins, sont tout de même très fortement fréquentés : l'effet structurant de certains tronçons de la voirie est ainsi mis en évidence. L'étude des résidus négatifs montre à l'inverse que le réseau secondaire, qui offre structurellement des possibilités de plus courts chemins, enregistre une intensité de trafic pédestre plus faible que ne le laissait supposer le modèle.

Ces tronçons sont-ils délaissés par méconnaissance du réseau ou est-ce par choix ? Les résidus positifs correspondent-ils à des tronçons sciemment empruntés pour des raisons de morphologie urbaine ? Étant donnée la complexité des déplacements pédestres qui s'inscrivent dans des logiques de pérégrination, d'enchaînement de

trajets, de choix d'itinéraires, le contexte local de la voirie semble déterminant. Dès lors, les écarts au modèle peuvent-ils être expliqués par des paramètres morpho-structurels urbains ?

Plusieurs variables sont susceptibles de révéler les comportements des piétons :

- la morphologie du bâti (paramètres de hauteur, d'homogénéité...);
- la morphologie des rues, de la voirie, des trottoirs (largeur...);
- la végétation;
- les trafics motorisés (automobiles, poids lourds, bus); notons que certains travaux ont déjà démontré le lien entre marche à pied et trafics motorisés (Hine, 1996)

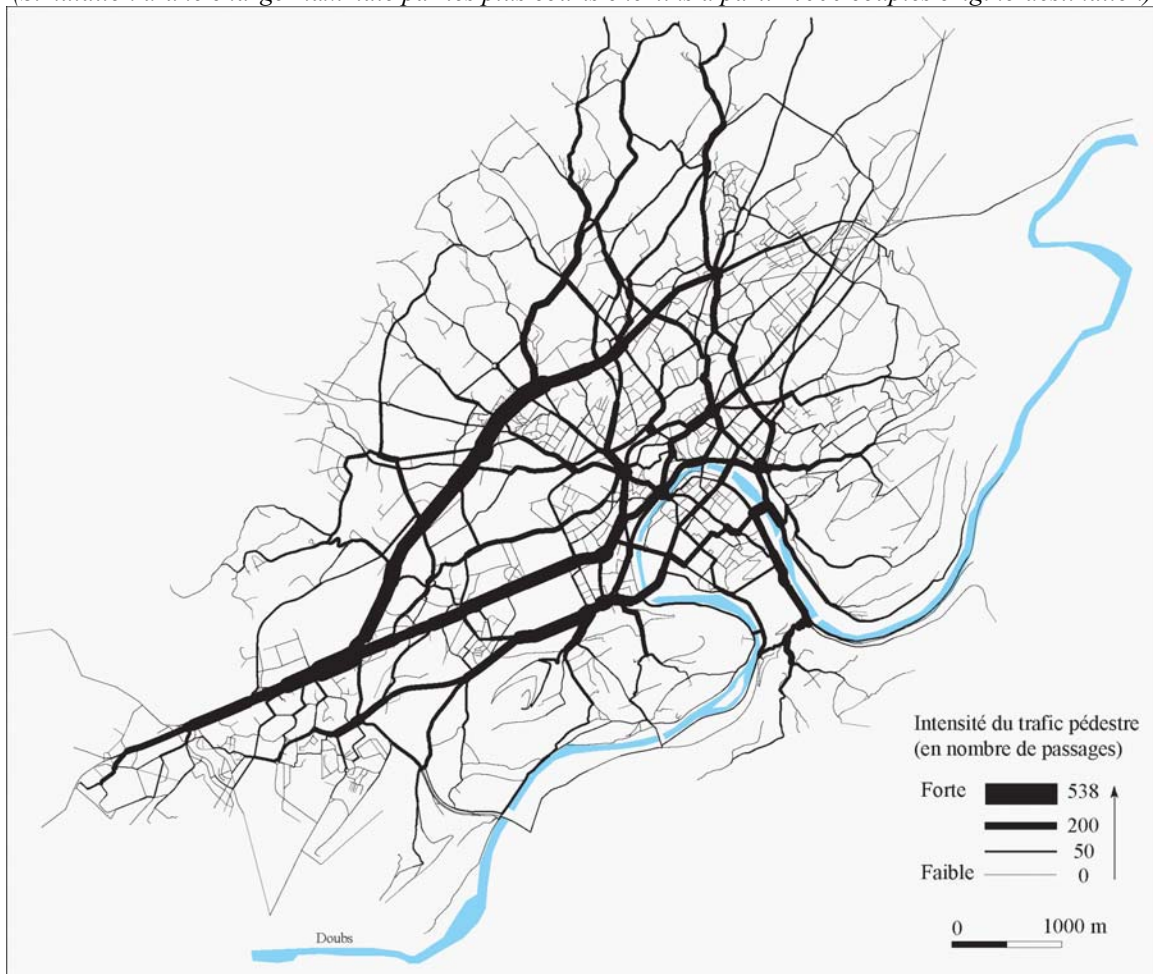
... et la liste n'est pas exhaustive.

Tous ces éléments constitutifs de l'espace urbain peuvent potentiellement expliquer les résidus de charge entre tronçons. Toutefois pour la présente étude, nous avons ciblé notre analyse sur le trafic automobile quotidien (*i.e.* TMJA : trafic moyen journalier automobile), le nombre de bus par jour et une variable caractérisant le tissu bâti (tissu urbain ouvert ou fermé). L'examen des corrélations entre les résidus et ces variables n'a révélé aucune relation statistique forte. Les variables sélectionnées ne semblent donc pas présenter un pouvoir explicatif significatif.

3 Perspectives de recherche

Les résultats des analyses présentées dans cet article ne sont pas surprenants : nous présumons en effet que la répartition spatiale des variables explicatives retenues était homogène. Ceci n'est cependant pas toujours conforme à la réalité car la palette de choix possibles pour un piéton varie selon l'endroit dans lequel il se trouve.

Figure 4 : Nombre maximum de trajets pédestres par tronçon de rue
(Simulation d'une charge maximale par les plus courts chemins à partir 4000 couples origine-destination)

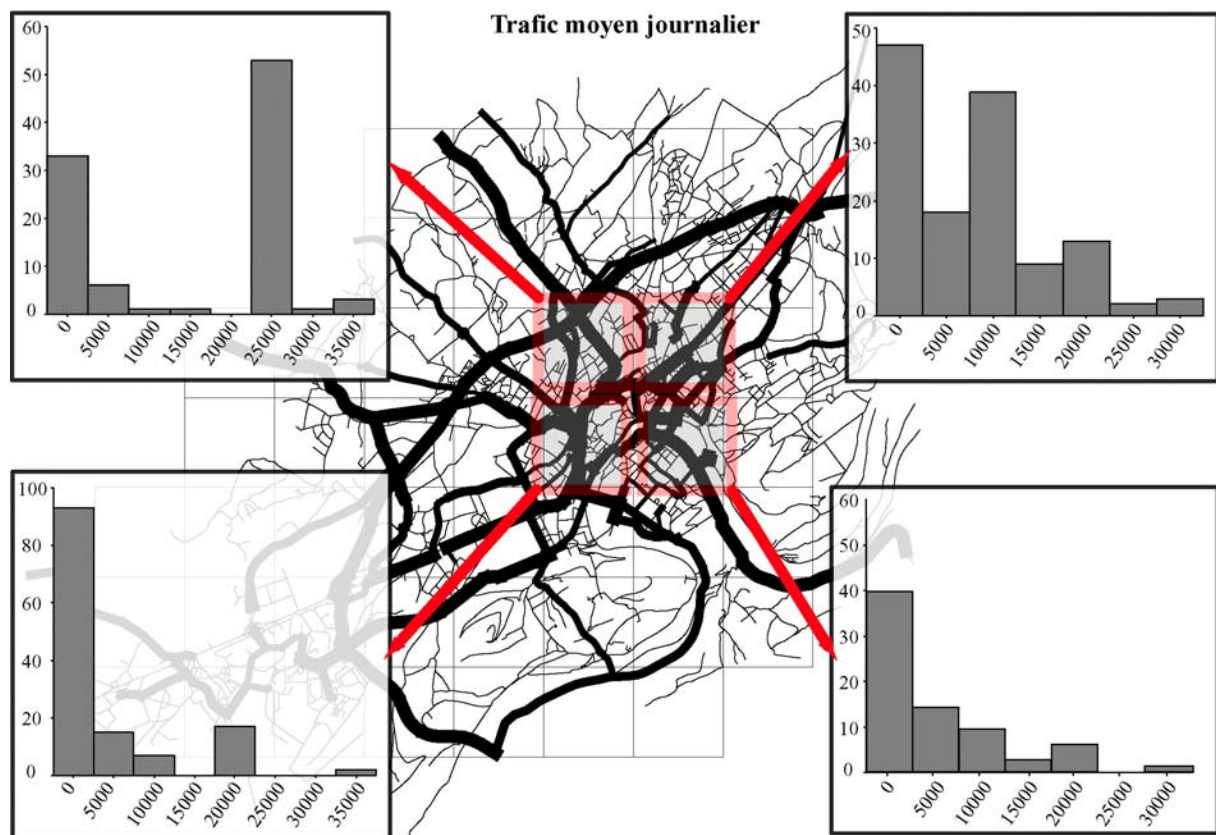


Il est donc nécessaire de considérer les caractéristiques morphologiques de chaque rue non comme des éléments isolés, mais comme faisant partie d'un tout. La probabilité des contacts possibles avec les différentes modalités des variables morphologiques considérées est fonction de leur disponibilité, c'est-à-dire de leur agencement dans l'espace. C'est cet ensemble de possibilités que le marcheur, lorsqu'il se déplace à pied, a l'occasion de faire varier au gré de ses décisions. Ainsi, si les possibilités de choix sont restreintes quant au nombre de modalités morphologiques disponibles, le piéton est en quelque sorte privé de sa capacité décisionnelle, puisque confiné dans un espace offrant peu d'alternatives de choix. Par conséquent, on ne peut comparer les comportements des piétons que de manière relative, en tenant compte de leur environnement urbain, celui-ci étant dépendant de la forme du réseau et de la répartition des modalités morpho-structurelles.

Les spécificités topologiques du réseau, connectivité, connectivité et nodalité, confèrent de la centralité ou de la périphérie, de la proximité ou de l'éloignement aux tronçons et donc aux piétons. Par exemple, certaines rues sont des points de franchissement « obligatoires », les piétons ne pouvant les contourner qu'au prix d'un long détour. Il importe donc de ne pas mésestimer ces attributs. Autre exemple, certains tronçons, situés dans des espaces où la voirie est peu connectée et peu connexe, sont systématiquement sur-fréquentés (résidus positifs). Pour identifier de tels lieux, nous avons lancé une simulation des plus courts chemins à partir de couples origine/destination correspondant à des nœuds sélectionnés aléatoirement sur le réseau viaire bisontin. La simulation conduite à partir de 4000 couples origine-destination révèle le taux de fréquentation (caractère obligatoire) de chaque tronçon du réseau viaire (figure 4). Cette charge reflète l'importance circulatoire des arcs dictée par la structure globale du réseau et par l'agencement topologique des tronçons (Genre-Grandpierre, 2000).

La carte présentée met clairement en évidence que les rues accueillent des flux simulés hétérogènes ; certaines voies semblent vouées à canaliser les déplacements pédestres. Ainsi, la simulation montre que les potentialités d'itinéraires des piétons doivent être pris en compte au niveau local (échelle plus fine). C'est une condition *sine qua non* pour distinguer ce qui relève du choix individuel du piéton du parcours « imposé » par la topologie du réseau.

Figure 5 : Valeurs des trafics automobiles au niveau local
(Histogrammes des fréquences des TMJA pour différentes zones de la ville)



La position des tronçons au sein de la voirie conditionne donc les possibilités de choix d'utilisation de l'espace par les piétons. Ces derniers ont un rapport à l'espace qui est à la fois contraint et choisi. Ensuite, lorsque la

configuration du réseau le permet, chaque individu dispose d'une palette plus ou moins large de variétés d'itinéraires, en fonction des caractéristiques morpho-structurelles des tronçons. La répartition du trafic automobile à l'échelle de l'agglomération bisontine est, à ce titre, illustrative (*figure 5*). Partant d'une partition de l'espace en mailles carrées de 1000 mètres³ de côté, nous avons dressé de simples histogrammes de fréquence du trafic moyen journalier des tronçons de rues pour quatre d'entre ces mailles. Les différences visuellement observées témoignent de la répartition inégale des modalités de la variable : tous les citoyens ne sont pas égaux face aux choix qui s'offrent à eux considérant la fréquentation automobile des tronçons de rues. Selon la localisation du domicile, l'environnement urbain diffère fortement du point de vue de la circulation automobile. Ceci illustre le fait que les conditions dans lesquelles les piétons effectuent leurs choix d'itinéraire sont très différentes : tandis que certains disposent d'une large gamme de possibilités, d'autres sont plus contraints dans leurs décisions.

* *
* *

Au début de cet article, nous partions de l'hypothèse que la mobilité pédestre urbaine est en partie dépendante d'un certain nombre de variables morpho-structurelles qui interagissent pour déterminer les caractéristiques d'un déplacement (différences entre trajets observés et trajets théoriques). Partant de cette hypothèse, notre travail a permis de construire un modèle de prédiction de la charge des tronçons via la méthode des plus courts chemins. Les écarts au modèle, qui relèvent des choix individuels dans la détermination des itinéraires de cheminements pédestres intra-urbains, semblent pouvoir être expliqués par le caractère plus ou moins « obligatoire » des tronçons et par leurs caractéristiques morpho-structurelles dans un contexte local. Cet article a ainsi permis de mettre en évidence l'ambivalence du mode de déplacement pédestre, à la fois flexible et contraint. Pour parvenir à trouver des relations statistiques à même d'expliquer localement les écarts au modèle, il faudrait certainement introduire et combiner de nouvelles variables explicatives (le caractère commercial des tronçons par exemple). Des recherches futures devront être menées dans cette voie.

BIBLIOGRAPHIE

- CAUVIN C. (1999), « Propositions pour une approche de la cognition spatiale intra-urbaine » in *Cybergéogé*, <http://www.cybergeo.presse.fr>, n° 72, 17 p.
- DUPUY G (1999), *La dépendance automobile*, Anthropos et Economica, Paris, 160 p.
- FINKE G (2002), *Recherche opérationnelle et réseaux. Méthodes d'analyse spatiale*, Hermès science, Paris, 265 p.
- FOLTETE J.C., GENRE-GRANDPIERRE C., HOUOT H., FLITTI M. (2002), *Structures urbaines, offre de transport et comportements de mobilité*, Rapport de recherche ACI « Ville », Laboratoire ThéMA, Besançon, 200 p.
- GENRE-GRANDPIERRE C. (2000), *Forme et fonctionnement des réseaux de transport : approche fractale et réflexions sur l'aménagement des villes*, Thèse de doctorat en géographie, Université de Franche-Comté, 377 p.
- HESS P.M., VERNEZ-MOUDON A., SNYDER M.C., STANILOV K. (1999), Site design and pedestrian travel, *Transportation research records*, n°1674, pp. 9-19.
- HINE J. (1996), Pedestrian travel experiences : Assessing the impact of traffic on behaviour and perceptions of safety using an in-depth interview technique, *Journal of Transport Geography*, Volume 4, Issue 3, September 1996, pp 179-199.
- PUMAIN D., SAINT-JULIEN T. (2001), *Les interactions spatiales*, Armand Colin, Paris, 191 p.
- TOMASSONE R., AUDRAIN S., LESQUOY de TURCKHEIM E., MILLIER C. (1992), *La régression, nouveaux regards sur une ancienne méthode statistique*, Masson, Paris, 188 p.
- WIEL M. (1999), « Mobilité, système d'interactions sociales et dynamiques territoriales », in *Espace, Populations, Sociétés*, n° 2, pp. 187-194.

³ Bien que le potentiel d'accessibilité des piétons ne puisse être défini qu'à partir du réseau, cette surface sera considérée comme relativement proche de celle théoriquement accessible par un piéton.