

Université Paris1-Panthéon Sorbonne
Master 2 aménagement du territoire et urbanisme
Mémoire de recherche



Environnement bâti et déplacements piétonniers.
Modéliser la marchabilité en France : quelles données, quelles méthodes ?

Vincent Chatalic

Direction du mémoire : Anne Bretagnolle et Arnaud Banos (Laboratoire Géographie-cités)
Direction du stage : Laurent Jardinier, Damien Verry, Tristan Guilloux (CERTU)



Remerciements :

Ce mémoire est issu d'un travail collectif et n'aurait pas pu aboutir sans le soutien de nombreuses personnes. Je tiens donc à remercier :

- toute l'équipe du département Déplacements Durables du CERTU qui m'a accueilli chaleureusement à Lyon pendant mes quatre mois de stage,
- plus particulièrement Laurent Jardinier, Damien Verry, Tristan Guilloux et Benoit Gourmand pour leurs conseils avisés et leur patience face à mes nombreuses questions existentielles et
- Anne Bretagnolle et Arnaud Banos du laboratoire Géographie-cités pour leur l'encadrement académique,
- Sylvie Fol pour ses conseils bibliographiques et ses critiques constructives et Francis Beaucire qui a su m'orienter vers le CERTU,
- Patrick Palmier du CETE Nord-Picardie, pour ses outils et ses conseils d'utilisation (sans lui, pas de ZAP et sans ZAP, pas de mémoire),
- le département voirie du Grand Lyon qui m'a permis d'accéder à son SIG et Christian Minaudier et Fabien Gomez qui ont pris le temps de me présenter les bases de donnée et de guider lors de leur exploitation,
- l'agence d'urbanisme de Lyon qui a mis certaines données à disposition et particulièrement Stéphane Hauer qui s'est chargé de la convention
- et bien sûr Alice, ma famille, le B6 et ma promotion de master, pour leur soutien, leur confiance, leurs quarante-deux conseils et questions dérangementes qui permettent d'avancer ...

Me contacter :

N'hésitez pas à me contacter pour discuter de cette recherche : vincent.chatalic@free.fr

Pour citer ce mémoire :

Chatalic, V. (2012). *Environnement bâti et déplacements piétonniers. Modéliser la marchabilité en France : quelles données, quelles méthodes ?* Mémoire de M2, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne.

Illustration page de garde : quatre illustres inconnus marchant dans la rue.

Résumé :

Par ses vertus en termes de santé publique et de développement durable, la marche à pied est un mode de déplacement qui intéresse de plus en plus les pouvoirs publics. Les tentatives pour favoriser son déploiement passent entre autre par des campagnes de sensibilisation et des opérations d'aménagement visant à améliorer la « marchabilité » des territoires. En effet, modifier le contexte spatial dans lequel les déplacements prennent place peut influencer les comportements de mobilité. Cette volonté est cependant contrecarrée par le manque de connaissances solides portant sur l'interaction entre marche et environnement bâti. Si de une myriade d'articles nord-américains explorent cette relation, peu de recherches s'intéressent à un contexte urbain européen et nombreux sont les travaux limités par le peu de données satisfaisantes disponibles. Ce travail de recherche exploite les données de mobilité finement géolocalisées de l'Enquête Ménages Déplacements Lyon 2006 afin de développer une modélisation du choix modal piétonnier par l'environnement bâti tout en contrôlant par les caractéristiques socio-démographiques du ménage, de l'individu et la nature du déplacement déplacement. Les résultats indiquent que la pratique de la marche est polarisée par un gradient de densité (de population, de bâti et d'aménités) centre-périphérie. Contrairement à ce qui pouvait être supposé, les caractéristiques du réseau viaire, la qualité des espaces publics et la couverture végétale ne jouent pas un grand rôle positif. Le modèle créé permet la réalisation de cartes de marchabilité, utiles pour repérer les territoires nécessitant une intervention publique. Ce mémoire offre également un retour réflexif sur les données produites dans les Enquêtes Ménages Déplacements pour étudier la mobilité à la métrique piétonne.

Mots clés : marche à pied ; piéton ; choix modal ; mobilité ; Enquête Ménage Déplacements ; environnement bâti ; marchabilité ; walkability ; Lyon.

Abstract :

Walking is a healthy and sustainable transportation mode which has recently garnered increased interest from government and local communities. Attempts to foster walking usually include awareness campaigns and walkability improvement projects. Indeed, the spatial context can influence mobility behavior. However, walkability enhancement is limited by a lack of knowledge concerning the relationships between pedestrian mobility and the built environment. Although many North-American articles study this theme, little research deals with walkability in a European urban context, and most work is limited by the dearth of precise geolocalized data. This dissertation uses trips from the Lyon 2006 Origin Destination survey (*Enquête Ménages Déplacements Lyon 2006*) to examine the correlation between built environment and travel mode choice while controlling for individual, household and trip characteristics. The findings show that walking trips are sensitive to a centre-periphery density gradient in population, buildings and amenities. However, street network characteristics, public space quality and vegetation cover do not play a significant role in pedestrian traffic. This model offers the possibility to draw precise walkability maps. These maps are useful in order to spot places in need of walkability improvement projects. We eventually present a reflexive feedback on *Enquêtes Ménages Déplacements* data regarding pedestrian metric mobility.

Keywords : walking ; pedestrian transportation; modal choice; mobility; *Enquête Ménage Déplacements*, built environment; walkability; Lyon.

Table des matières

I.Introduction.....	5
II.Données et méthodes.....	9
A.Des données des enquêtes EMD à la modélisation du choix modal piétonnier.....	9
B.Indicateurs de marchabilité.....	13
i.Topologie du réseau viaire.....	13
ii.Caractéristiques urbanistiques.....	13
iii.Accessibilité des équipements commerces et services.....	14
iv.Aménagement des espaces publics.....	14
v.Offre de déplacements.....	15
vi.Indicateurs abandonnés.....	15
III.Résultats.....	16
A.Construction du modèle de base.....	16
B.Introduction des variables spatiales.....	17
C.Corrélations et tris croisés.....	19
D.Modèle général.....	21
E.Sous-modèles selon le degré de centralité.....	26
IV.Discussion.....	29
A.Quelles donnée pour étudier la marchabilité : bilan, limites et perspectives.....	29
i.Les limites des données de l'Enquête Ménage Déplacements.....	29
ii.ZAP et environnement bâti.....	30
iii.Quelles perspectives pour les bases de données ?.....	31
B.Des hypothèses de recherche parfois contestables.....	32
C.Retour sur la problématique.....	33
D.Perspectives de recherche.....	34
E.Croiser les approches.....	35
V.Bibliographie.....	36
VI.Annexes.....	39
i.Annexe 1 : Zones d'Accessibilité à Pied (ZAP).....	39
a)Présentation des différentes options existantes.....	39
b)Présentation détaillée de la méthodologie suivie pour la construction des ZAP.....	41
Données.....	41
Protocole utilisé.....	41
c)Limites et biais.....	42
d)Script d'automation.....	43
ii.Annexe 2 : accessibilité aux équipements, commerces et services.....	47
iii.Annexe 3 : dictionnaire des variables spatiales.....	49
iv.Annexe 4 : Sélection des indicateurs spatiaux les plus pertinents : résultat des régressions logistiques.....	50
a)Échantillon complet.....	51
b)Échantillon de déplacements provenant d'espaces centraux.....	52
c)Échantillon de déplacements provenant d'espaces périphériques.....	53
d)Échantillon complet non normalisé.....	53
v.Annexe 5 : Modèles détaillés.....	54
a)Modèle de base (variables socio-démographiques uniquement).....	54
b)Modèle complet.....	55
c)Modèle pour les espaces centraux.....	56
d)Modèle pour les espaces périphériques.....	57
vi.Annexes 6 : Atlas des indicateurs spatiaux.....	58

« Curieuse époque que celle-ci, où la mobilité a atteint un paroxysme et où l'être humain bouge de moins en moins ! Alors que les déplacements sont de plus en plus rapides et les destinations en nombre quasi infini, l'individu a peine à se mouvoir par lui même dans l'univers urbain qu'il a sciemment créé. Univers qui le rend vulnérable lorsqu'il tente de marcher pour aller d'un endroit à un autre comme le firent ses ancêtres pendant des millénaires. Un acte aussi simple que marcher est devenu une affaire risquée, voire un exploit, même pour traverser la rue. Autrefois havre sécuritaire propice à la convivialité, la ville de l'automobile est devenue une jungle où le piéton qui s'y aventure, le fait parfois au péril de sa vie. L'espace public – habitat du piéton – a rétréci, pour faire de plus en plus de place à un prédateur métallique qui définit désormais les règles du jeu à son avantage. Vulnérable dans ses déplacements, vulnérable aussi lorsqu'il ne bouge pas assez et que l'embonpoint le guette, le piéton semble perdant quoi qu'il fasse. » [M. Demers, 2010].

I. Introduction.

En France, la marche à pied représentait en 2008 le deuxième mode de transport le plus utilisé, couvrant 23% des déplacements en semaine. Ce chiffre s'élève même à 37% dans les villes-centres et à 56% à Paris [R. de Solere et F. Papon, 2010, p.21]. La marche est de plus un élément clé dans les chaînes d'intermodalité, systématiquement sous-estimée dans les études. Le piéton occupe un rôle principal dans le théâtre de la rue, ce qui n'étonne pas outre mesure tant la pratique de la marche semble élémentaire. Pourtant, la place accordée à cet acteur n'a fait régresser tout au long du vingtième siècle¹, tant en termes de part modale [J.-R. Carre, 2003] que d'espace urbain réservé aux piétons [F. Héran, 2008, p.152]. Par ailleurs, en 2008, 41% des ménages trouvent les trottoirs et carrefours à proximité de leur domicile mal aménagés ou dangereux pour les piétons et 10,8% des personnes de plus de 18 ans déclarent être gênées physiquement ou limitées dans leur déplacements hors de leur domicile [R. de Solere et F. Papon, 2010, p.18].

Ce constat d'un certain sentiment d'inconfort et d'insécurité dans l'espace public, couplé à la perte d'importance du mode piétonnier sur le long terme est inquiétant alors que de nombreux travaux montrent les bienfaits individuels et sociaux de la marche à pied².

C'est son influence sur la santé publique qui est le plus souvent mise en avant. C'est notamment la mise en évidence qu'une pratique régulière d'activités physiques peut contribuer à la réduction de l'incidence, entre autres, de l'obésité, des maladies cardio-vasculaires, de certains cancers ou encore de la dépression, qui a suscité l'intérêt autour des mobilités dites « actives ». À ce sujet, on peut se référer au rapport récent et complet publié par l'OCDE et le FIT [2012]. L'étude RECORD³ est également intéressante, avec des résultats sur des populations françaises. On consultera aussi le travail de synthèse réalisé pour le CERTU par S. Roux [2011].

Par ailleurs, l'importance des préoccupations environnementales débouche sur une valorisation des « modes doux » et de leurs vertus en termes d'émissions de gaz à effet de serre, de qualité de l'air et de nuisances sonores. À l'heure du changement climatique et de la transition énergétique, la nécessité de se prémunir contre la dépendance automobile passe nécessairement par une attention renouvelée à la marche à pied (Héran, 2001).

Seule pratique de mobilité intégralement gratuite, la marche intéresse également comme un enjeu de justice sociale. En effet, en favorisant la marche vis-à-vis des autres modes, les pouvoirs publics peuvent prétendre toucher une grande majorité de la population, notamment les personnes non-motorisées. En donnant la possibilité de marcher dans de bonnes conditions (cheminements rapides, protégés des dangers de la route, agréables, sécurisés, etc.), ils améliorent l'environnement pour tous. Il est alors possible de combattre certaines injustices dans l'accès à la mobilité [Litman, 2012]. Cependant, la marche à pied est parfois un mode subi plus que choisi. Améliorer les conditions dans lesquelles elle se déroule n'exempte pas d'une politique publique ambitieuse visant à réduire les inégalités socio-spatiales à l'origine de ces différences.

Ce sont aussi les critiques du fonctionnalisme et l'attention portée à la fréquentation des espaces publics qui ont renouvelé l'intérêt pour la question de la marche, notamment dans un contexte anglo-saxon. On retrouve ainsi dans les travaux de J. Jacobs [1961], W. H. White [1980], J. Gehl [1987] et dans les manifestes du nouvel urbanisme⁴ une attention particulière aux piétons, dont la présence est vue comme l'élément central de la vie urbaine (« *livability* »), de l'animation de l'espace public, ou encore de « l'urbanité ». Leur présence assure donc une fonction essentielle dans le mécanisme de bon

1 Mais une légère stabilisation est néanmoins perceptible dans les années 2000.

2 L'ampleur de la question des bénéfices de la marche à pied et le foisonnement de travaux à cet égard ne permettent pas de procéder ici à une synthèse bibliographique exhaustive. On se contentera alors d'évoquer les grandes thématiques qui semblent pertinentes et de référencer quelques travaux de synthèse qui permettront probablement au lecteur curieux d'approfondir selon ses besoins propres.

3 <http://record-study.org/accueil.html>

4 <http://www.cnu.org/charter>

fonctionnement de la ville.

D'autant plus qu'une pratique plus élevée de la marche à pied dans un quartier contribue à augmenter le capital social des individus, en influençant la vie sociale locale (confiance en l'autre, rencontre et échanges entre voisins, participation à la vie de la communauté, implication associative, etc.) [Rogers et al., 2011].

Ce type de raisonnement est d'ailleurs partiellement repris dans les études démontrant l'impact bénéfique d'une forte fréquentation piétonne sur l'économie locale [Litman, 2003]. En effet, tant l'activité commerciale [CABE, 2007 ; Certu, 2011] que le marché immobilier [J. Corthright, 2009] y seraient positivement sensibles, sans oublier le secteur du tourisme.

Cette combinaison de facteurs sur lesquels la marche à pied aurait un effet bénéfique, qui amène certains à parler de la marche comme un indicateur ou un vecteur de « bien être » [OCDE/FIT, 2012] ou de « qualité de vie »⁵, explique la multiplication des prises de positions de techniciens et de politiciens en faveur de la marche à pied, affichant ouvertement des objectifs chiffrés ambitieux en ce domaine. Ainsi, l'OMS [2010] préconise aux adultes de pratiquer au moins 30 minutes d'activité physique d'intensité modérée par jour. La promotion des modes actifs est reprise en France à un niveau national, par exemple à travers le programme nutrition santé⁶. Parallèlement, de nombreux acteurs locaux se fixent l'objectif d'augmenter la part de la marche à pied sur leur territoire. Cette tendance est particulièrement perceptible dans le monde nord-américain, où la prise de conscience de la forte prévalence de certains problèmes de santé (obésité et maladies cardiovasculaires) a entraîné la multiplication des actions en faveur d'un « *active living* »⁷. Certains acteurs européens et français ne sont pas en reste, avec le développement des stratégies pour développer la marche et de plans piétons. Néanmoins, il existe un risque que ces objectifs restent lettre morte : si l'on arrive désormais à apprécier précisément les multiples avantages dont peut bénéficier une société dont les habitants marchent beaucoup, on ne sait pas pour autant mécaniquement quels leviers actionner pour encourager les déplacements piétonniers. On ne connaît en effet que très peu les logiques et les déterminants (démographiques, sociaux et spatiaux) de cette pratique.

La marche à pied est un véritable « mode de locomotion oublié » [OCDE/FIT, 2012]. Généralement absente des réflexions et processus d'aménagement du territoire et d'urbanisme au vingtième siècle, la marche est bien souvent invisible dans les modèles de trafic et résiduelle dans la conception d'espace public. Un tel phénomène est bien sûr à rattacher, entre autres, à l'essor de l'automobile, à l'importance du courant de pensée fonctionnaliste, et peut-être à la dissolution du lien traditionnel entre urbanisme et médecine, remplacé par la figure unique de l'ingénieur [M. Northridge, 2003 ; S. Barles, 2010]. Dans ce contexte, les appels à une réactivation de la collaboration entre spécialistes de la planification urbaine et de la santé publique qui fleurissent à l'aube du 21ème siècle peuvent être perçus comme l'amorce d'un tournant décisif. Le manifeste de M. Northridge [2003] est assez représentatif de ce courant de pensée : « *We contend that in order to plan effectively for healthy cities, we need to reinvigorate the historic collaborative link between urban planning and public health professionals, and together conduct informed science. Perhaps we can amass sufficient empirical data to make convincing « weight of the evidence » appeals for essential planning and policy change to improve the health and lives of urban populations* ».

Au vu du foisonnement d'études publiées dans les années 2000, force est de constater que ces appels ont été entendus, tant sur un plan thématique que méthodologique. À la faveur d'un regain d'intérêt de la recherche médicale autour du rôle du « milieu » et de « l'environnement » [S. Barles, 2010], de nombreux travaux s'intéressent à l'influence du cadre de vie sur la pratique de la marche, et *in fine* sur la santé. C'est dans cette optique que s'inscrit la demande de la direction générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer (DGITM) au CERTU de travailler sur le thème « mobilité et santé », ce qui a inspiré la présente étude. Il s'agit d'explorer les interactions entre pratique de la marche et le cadre territorial dans lequel elle se déroule, afin de disposer de moyens d'action solides pour orienter la planification et les projets d'aménagement. Une telle démarche s'inspire bien sûr des travaux pionniers issus du monde nord-américain. Le contexte territorial des Etats-Unis et du Canada, extrêmement marqué par l'étalement urbain, la mono-fonctionnalité, la domination de la voiture et la rareté des infrastructures pour piétons, a en effet été passé à la loupe. Les résultats montrent une influence incontestable du « *built environment* »⁸ (traduit ici par le terme « environnement bâti ») sur la pratique de la marche. En fonction de leurs caractéristiques, les territoires sont alors plus ou moins propices à la marche, qualité décrite par la notion de « *walkability* » (traduit ici par le néologisme « marchabilité »). Ce terme a fait l'objet de multiples définitions, que l'on retrouvera notamment dans le recensement assez précis effectué par Steve Albey [2005], qui ont presque toutes le point commun de désigner un ou des indicateurs qualifiant un territoire selon son degré de susceptibilité à favoriser la pratique de la marche à pied, ce que l'auteur synthétise ainsi : « *the definition of walkability and walkable is the extent to which the built environment is walking friendly* ». C'est cette définition que l'on reprendra, car elle est suffisamment large pour intégrer les différents critères et leurs méthodes d'observation et de mesure (plus ou moins subjective ou objective) utilisés par la communauté scientifique pour rendre compte des caractéristiques de l'environnement bâti. En effet, les facteurs influençant la pratique de la marche peuvent être tant la topologie du réseau viaire, le design des espaces publics, le paysage de la rue, les aménités accessibles à pied, la réglementation, l'ambiance ressentie lors de la marche, la propreté, le mobilier urbain, etc. Ainsi, K. Gardner et al. [1996] prône le développement à Londres des fameux « 5 C » : pour favoriser la marche, les espaces publics doivent être à la fois conviviaux, commodes, connectés, clairs et confortables. À une autre échelle, certains travaux

5 http://www.walkinginfo.org/why/benefits_quality-of-life.cfm

6 <http://www.mangerbouger.fr/bouger-plus/que-veut-dire-bouger.html>

7 <http://activeliving.org/>

8 Pour M. Northridge [2003, p.558], « *by the built environment, we mean that part of the physical environment made by people for people, including buildings, transportation systems, and open spaces* ».

encouragent la densification du bâti, la mixité fonctionnelle, l'élargissement des trottoirs ou encore un maillage fin de la trame urbaine. Devant la difficulté à mesurer objectivement l'environnement bâti, afin de développer une méthodologie reproductible partout et comparable, de nombreux « indicateurs » ont alors été créés, dont le plus célèbre est peut-être le « *walkability index* » [L. Frank et al., 2005]. Leur influence sur la pratique de la marche est généralement tirée de modèles calibrés avec des données de mobilités. Les résultats sont assez divers, et se contredisent parfois. Néanmoins, la littérature montre l'existence d'effets, parfois assez forts, de nombreux aspects de l'environnement bâti sur la pratique de la marche. La revue de littérature de B. Saelens et S. Handy. [2008] est peut être le document le plus complet et synthétique pour se faire une idée de ces effets. Néanmoins, la plupart des résultats obtenus actuellement sont issus de recherches s'appuyant sur des terrains nord-américains. Au vu de la différence de formes urbaines et de comportements de mobilité, il serait utile de vérifier la pertinence de ces travaux dans un contexte français.

De plus, malgré ces progrès incontestables, les objectifs scientifiques se heurtent de manière récurrente à un facteur limitant : le manque d'informations précises sur la pratique de la marche à pied, nécessaires pour l'administration de la preuve. Si la question de la mesure des éléments de l'environnement bâti fait l'objet d'un certain consensus, tel n'est pas le cas pour celle des mobilités piétonnières. Conséquence directe de sa mise à l'écart des exercices de modélisation de trafic, les données statistiques régulières et comparables sur ce mode sont rares ou peu adaptées. Encore récemment, l'intérêt porté aux « modes doux » s'est principalement traduit par une intensification de la production de statistiques sur le vélo, mais pas sur la marche. De fait, ce type de données est plus complexe à récolter : la mobilité piétonnière est bien plus hétérogène en termes de caractérisation de l'origine et de la destination, de trajectoires, de vitesses ou encore de contraintes pour les personnes à mobilité réduite que les déplacements effectués dans un véhicule. De plus la métrique piétonne est bien plus réduite que celles des autres modes : en France en 2008, 85% des trajets à pied se font à moins de 900m [R. de Solere and F. Papon, 2010]. L'étude des déterminants géographiques de la marche à pied nécessite donc un travail fin à l'échelle du quartier et ne peut donc se contenter de données à la commune comme c'est généralement le cas. La production de données pertinentes, harmonisées et comparables pour la marche à pied est un objectif récurrent de la communauté scientifique. On le retrouve comme un principe central dans la charte internationale pour la marche de Walk21 [2006], un sujet central dans le projet COST 358 « *Pedestrians' Quality Needs* » [R. Methorst et al., 2010, part B4] ou pour le groupe de recherche « *Measuring Walking* »⁹ [D. Sauter et M. Wedderburn, 2008]. Si ces travaux ont participé à l'élaboration de méthodologies intéressantes, souvent pour étudier un espace public en particulier, force est de constater que peu d'enquêtes sur la mobilité piétonnière combinent un champ d'étude métropolitain et une précision des relevés à l'échelle du quartier ou de la rue, caractéristiques pourtant nécessaire pour développer une analyse pertinente. Le rapport de l'OCDE/FIT [2012] le regrette d'ailleurs : « *Les données sont un facteur essentiel de promotion et de prise en compte des piétons dans l'aménagement qui a été négligé. Alors que les données sont nombreuses sur le trafic motorisé, elles sont insuffisantes sur la circulation à pied. Les informations sur la marche et la présence piétonne au niveau du site sont des mesures de performance clés, nécessaires pour comprendre la corrélation entre la structure urbaine et la voirie d'une part, et la marche et la présence piétonne d'autre part, ainsi que pour évaluer l'impact des améliorations apportées aux infrastructures piétonnes. Il n'existe pas de méthodes fiables pour collecter les données sur le nombre de piétons et pour modéliser les parcours au niveau des individus et des masses.* ».

De fait, les travaux étudiant la marchabilité utilisent des jeux de données assez variés, parfois relevés par les enquêtés eux-mêmes, ce qui peut introduire de nombreux biais, comme le relèvent Saelens et Handy [2008, p.6]. D'autres chercheurs équipent les enquêtés d'accéléromètres [L. Frank et al., 2005], ce qui présente l'avantage d'une mesure précise et fiable, mais suscite des coûts conséquents. De plus, ces travaux travaillent parfois sur de faibles échantillons de population. Comme on peut le constater dans la revue de littérature de B. Saelens et S. Handy [2008], rares sont les travaux qui combinent observation objective de l'environnement bâti, mesure fiable des déplacements piétons et effectifs d'enquêtes élevés.

Dans ce contexte, le CERTU a voulu savoir ce que les Enquêtes Ménage Déplacement (EMD) pouvaient apporter à la recherche en ce domaine. Pensées comme des outils permettant de recueillir les pratiques de déplacement d'une population, elles « recensent **tous** les déplacements des personnes interrogées, quel que soit le mode de déplacement utilisé, y compris la marche, considérée comme un mode à part entière, sans considération de distance ni de durée minimum. » [CERTU, 2008 p.7]. De plus, ces données statistiques synthétisent l'objectif d'étude de la mobilité à l'échelle métropolitaine sur de grands effectifs et l'ambition de précision territoriale. En effet, les origines et destinations des déplacements sont localisées à un niveau assez fin, ce qui permet de relier la mobilité à l'environnement physique dans lequel ils prennent corps. À ce jour, il semble que les enquêtes ménages n'ont jamais été exploitées dans ce sens. La Ville de Strasbourg [2011, 2012] a mis en place un travail remarquable de cartographie des déplacements piétonniers relevés en 2010 superposée à celle de plusieurs éléments de l'environnement bâti (trame viaire, coupures et continuités, aménités génératrices de trafic, place accordée au piéton). Ce recoupement permet ensuite de distinguer presque intuitivement les espaces favorables à la marche, mettant en évidence la structuration de Strasbourg en « ville-archipel » constituée d'îlots marchables, coupés les uns des autres. Mais ce travail n'exploite pas vraiment les données de mobilité piétonnières à la hauteur des informations qu'elles contiennent : en effet, la localisation des déplacements n'est pas très précise¹⁰ et le recoupement avec l'environnement bâti plus intuitif que

9 <http://www.measuring-walking.org/>

10 L'origine et la destination des déplacements sont relevées à l'échelle des secteurs de tirage, et non des zones fines de résidence.

scientifique. C'est le travail de K. Manaugh et A. El-Geneidy [2011] à partir de l'enquête ménage de Montréal de 2003¹¹ qui semble être allé le plus loin dans l'objectif d'explication de la pratique de la marche à pied, en expliquant le choix de se déplacer à pied plutôt que par un autre mode de transport à l'aide de données socio-démographiques et d'indicateurs de marchabilité. Il serait alors intéressant de comparer les résultats ainsi obtenus avec ceux produits dans un contexte français.

À l'aune de ces grands enjeux théoriques, pratiques et méthodologiques, ce travail de recherche a pour but de participer à l'analyse de l'influence de l'environnement bâti sur la pratique de la marche, en introduisant deux grandes nouveautés : d'une part, l'exploitation d'un terrain d'étude français, d'autre part, l'exploitation de données issues d'une Enquête-Ménage-Déplacement. Une telle approche devrait d'abord permettre de répondre à des interrogations théoriques : quels sont les principaux déterminants du choix modal piétonnier ? Quelles différences peut-on observer entre le monde anglo-américain et le contexte français ? L'intérêt pratique n'est pas pour autant en reste : peut-on identifier des leviers d'action pour agir sur les objectifs de développement de la marche à pied ? Quelles traductions peut-on en faire dans la conception de la planification et des projets d'aménagement ? À quelle échelle territoriale est-il le plus intéressant d'intervenir ? Peut-on développer des outils permettant de repérer facilement les territoires particulièrement peu propices à la marche ? Ce travail a enfin l'ambition de résoudre des problèmes d'ordre méthodologique. Il s'agit en effet d'évaluer la pertinence de la méthode EMD standard CERTU pour décrire la mobilité piétonnière, dans un contexte de réflexion interne sur le devenir de cette méthode de production de données en perpétuelle évolution depuis les années 1970. Il s'agit aussi de recenser les grandes bases de données accessibles aux services de l'Etat et aux collectivités locales pour mener une analyse objective de l'environnement bâti, et, le cas échéant, les manques et besoins.

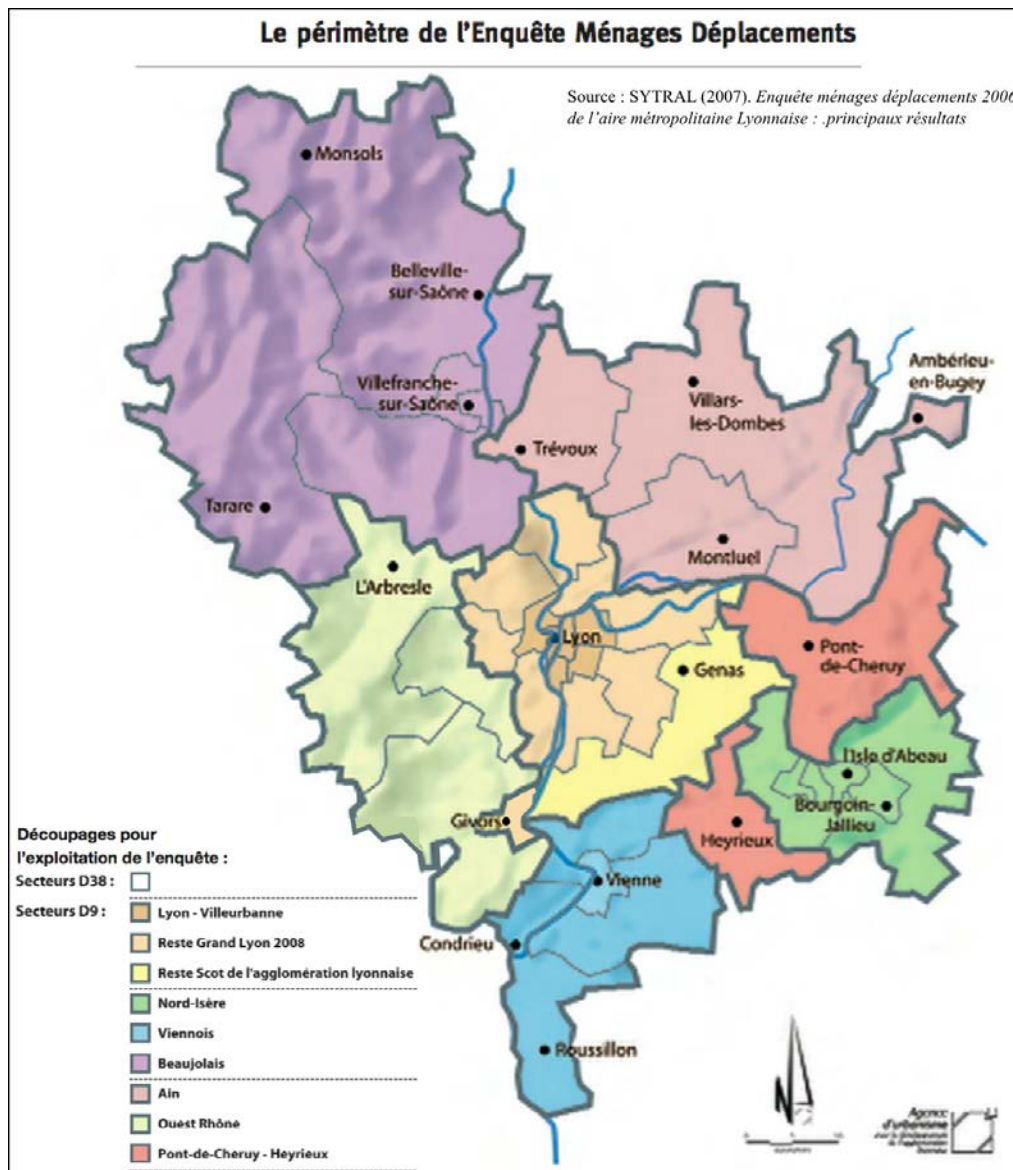
Pour tenter de répondre à cette série d'interrogations, on a choisi de construire un modèle de choix modal piétonnier à l'aide des données de l'Enquête Ménage Déplacement Lyon 2006. Les origines des déplacements effectués sur le territoire du Grand Lyon ont été finement localisées, puis ont été reliées à des indicateurs décrivant l'environnement bâti accessible à pied. Une série de régressions logistiques expliquant la pratique de la marche (de manière générale, puis en déclinant par le degré de centralité) grâce à ces indicateurs décrivant l'environnement bâti et des variables de contrôle (caractérisant le trajet et le profil socio-démographiques de l'enquêté) a permis de repérer les variables les plus pertinentes.

11 « Montréal Origin-Destination Survey – AMT, 2003 », qui recense les déplacements de 17394 ménages.

II. Données et méthodes.

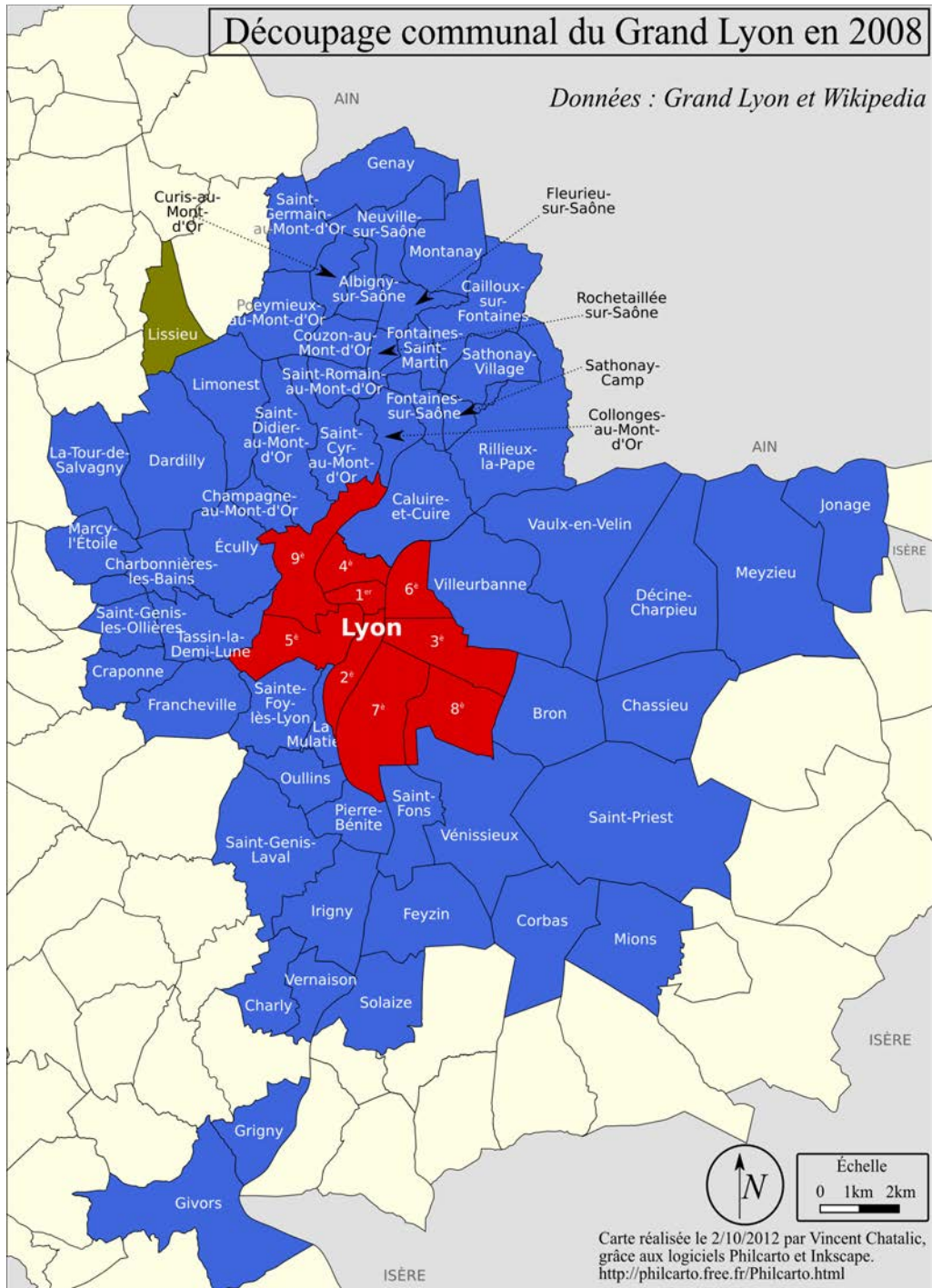
A. Des données des enquêtes EMD à la modélisation du choix modal piétonnier.

Il convient d'être clair à propos du jeu de données de mobilité utilisé au cours de ce travail de recherche. L'Enquête Ménage Déplacement Lyon 2006 a été réalisée en suivant la méthodologie « standard CERTU » [CERTU, 2008]. Les bases de données sont structurées de la manière suivante : un échantillon de ménages est d'abord tiré aléatoirement. Ces ménages sont constitués de personnes, dont on relève tous les déplacements effectués la veille du jour d'enquête (seuls les jours de semaine sont étudiés). Un déplacement différent est comptabilisé pour chaque motif donné. Les déplacements non uniquement réalisés à pied sont eux mêmes composés de trajets chaînés (un trajet par mode de locomotion mécanisé). La question de la prise en compte de la marche à pied dans les enquêtes EMD a déjà été traitée en détail pour le CERTU par S. Roux [2011, pp. 23-30], on ne reviendra donc pas exhaustivement dessus. Il convient juste de rappeler que la mobilité piétonnière y est comptabilisée sous deux formes : d'une part au sein des déplacements, pour la mobilité réalisée exclusivement à pied pour un motif précis, et d'autre part comme vecteur d'intermodalité dans des chaînes de trajets impliquant au moins un mode mécanisé.



Carte 1

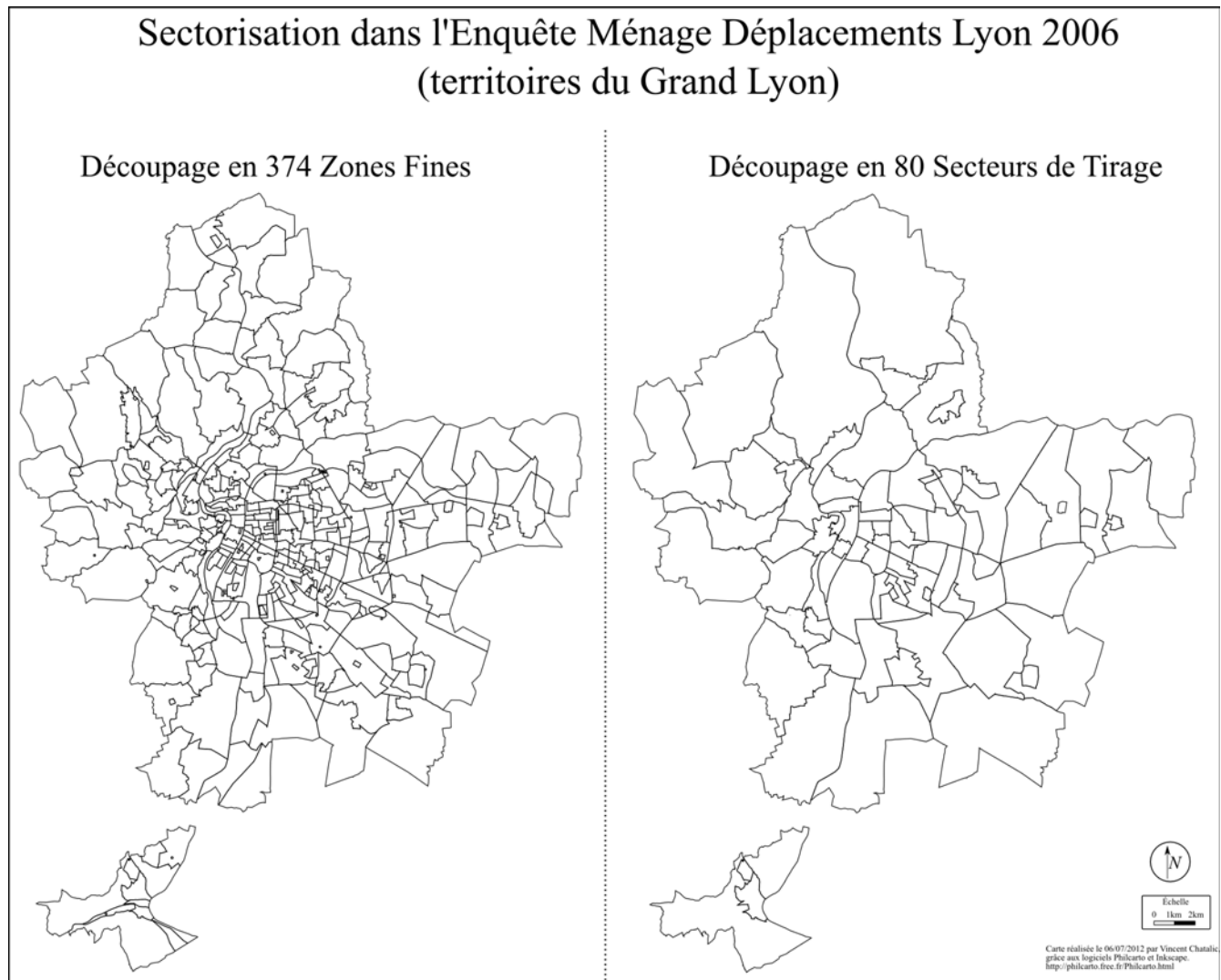
La question des unités géographiques utilisées mérite également un approfondissement. D'abord, le périmètre d'étude choisi pour l'EMD Lyon 2006 dépasse de loin l'agglomération lyonnaise, pour prendre en compte tout le bassin de vie qui s'organise autour de cette centralité. Dans le cadre de ce travail, nous avons décidé de nous concentrer sur le territoire du Grand Lyon¹², afin de s'adapter aux données SIG disponibles par ailleurs pour décrire l'environnement bâti. La carte 1 ci-dessus permet de bien distinguer les deux périmètres imbriqués. La carte 2 ci-dessous offre un détail découpage administratif existant sur le terrain étudié, il sera utile de s'y référer par la suite quand certaines communes seront mentionnées par leur nom.



Carte 2

12 Le territoire du grand Grand Lyon est composé en 2012 de 58 communes et accueille 1,2 million d'habitants sur 52715 hectares. Suite à une erreur humaine, la ville de Lissieu a été malencontreusement supprimée des listes utilisées dans l'analyse SIG. Ce travail ne porte donc que sur les 57 autres communes du Grand Lyon.

Ensuite, l'EMD propose un découpage géographique en 80 « secteurs de tirage » (unité spatiale dans lesquelles les ménages sont sélectionnés pour participer à l'enquête) qui permet une première approche territorialisée de la pratique de la marche (cf. carte en III.4, carte 5). Mais ce découpage, qui va du quartier au groupement de communes, est assez grossier (10km² en moyenne, bien au delà de la métrique piétonnière) et ne permet pas d'expliquer en détail les ressorts territoriaux de la pratique de la marche à pied. Ainsi, cette étude s'est concentrée sur une autre unité géographique, les 374 « zones fines de résidence » et « pôles générateurs de trafic », qui permettent de localiser plus précisément les origines et destinations des déplacements. Ces unités vont du quartier à la commune, avec une moyenne de 500m², et permettent de distinguer des contextes territoriaux variées. La carte 3 ci-dessous offre une comparaison entre ces deux types de découpages territoriaux.



Carte 3

Il est important de noter que seuls les secteurs de tirages permettent des comparaisons sur des échantillons représentatifs de personnes ou de déplacements. En effet, « compte-tenu des effectifs enquêtés souvent très faibles dans une zone fine, il est évident que des exploitations sur le découpage fin ne pourront être réalisées qu'avec d'extrêmes précautions » [CERTU, 2008, p.23]. Par exemple, il est impossible de comparer significativement les zones fines en fonction du nombre de déplacements pédestres, de la part modale piétonnière, ou du temps cumulé de marche à pied relevés en leur sein. Ainsi, il semble difficile d'étudier la marchabilité en adoptant une entrée par le territoire, c'est-à-dire en cherchant à comparer directement des unités spatiales aux environnements bâtis divers en fonction de la variabilité des pratiques de mobilités qu'elles accueillent.

L'idée de comparer directement des individus, évoluant dans un environnement bâti connu, en fonction de l'intensité de leur pratique de la marche (temps de marche cumulé) a également été abandonnée. Cette technique, utilisée par exemple par S. Roux [2011] et par de nombreux travaux anglo-saxons [Frank, 2005 ; Saelens, 2008], offre certes la possibilité d'utiliser facilement toutes les formes de mobilité piétonnière recensées dans l'EMD (déplacements à part entière et intermodalité) et a l'avantage d'une bonne prise en compte des personnes immobiles. Néanmoins, elle nécessite d'agréger tous les déplacements réalisés par l'individu et de les associer à un lieu et un environnement bâti unique (généralement le domicile). Cette approche sacrifie donc la richesse des données et limite l'exploitation en termes de marchabilité.

C'est alors une entrée par le déplacement qui a été choisie. Chaque déplacement recensé dans l'EMD est associé aux caractéristiques de l'environnement bâti de sa zone fine ou de son pôle générateur de trafic d'origine. Une variable binaire permet de coder si le déplacement a été réalisé exclusivement à pied ou pas. L'objectif est alors de modéliser la probabilité qu'un déplacement se fasse à pied contre celle qu'il se fasse à l'aide d'au moins un mode mécanisé, en fonction du contexte territorial et socio-démographique dans lequel il se déroule. Cette modélisation du choix modal peut parfaitement s'inscrire dans une séquence de modèles de génération de la demande de déplacement (volume total de déplacements effectués) et de distribution de la demande (détermination des origines et destinations des déplacements), deux premières étapes classiques en modélisation de la demande dans le domaine des transports, qui ne sont pas traitées ici. Elle repose sur de nombreuses hypothèses : on suppose d'abord que le déplacement est le résultat d'une séquence de décisions indépendantes les unes des autres (la volonté d'effectuer un déplacement, la détermination de ses points d'origine et de destination, puis enfin le choix modal). Le modèle est considéré comme statique (la demande de transport est fixe et le choix modal est indépendant des temporalités). Le choix modal est de plus considéré comme une décision individuelle (le choix modal d'un individu est effectué en l'absence totale d'information sur les décisions de mobilité adoptées par le reste de la population) et définitif (il est réalisé une fois pour toutes et n'est pas réévalué *a posteriori*). Ces hypothèses, assez fortes, seront discutées plus tard.

La régression logistique a alors été adoptée comme outil de travail. Elle s'adapte parfaitement à la modélisation d'une variable binaire par une combinaison linéaire de variables explicatives qualitatives ou quantitatives. Un modèle de base contenant uniquement quelques variables socio-démographiques et les caractéristiques du trajet a d'abord été construit, avant de tester une à une l'influence des indicateurs spatiaux décrits ci-dessous. Enfin, un modèle global prenant en compte l'interaction entre les différentes variables explicatives a été mis en place. Dans un deuxième temps on a cherché à distinguer des entités géographiques semblables du point de vue de la pratique de la marche et à définir des sous-modèles pour chacun d'eux. Une telle démarche permet d'examiner plus finement les différences entre des espaces semblables, sans que l'analyse ne soit polarisée uniquement par la première composante explicative, l'opposition centre-périphérie classique. Pour ce faire, notre jeu de données a été séparé en deux, gardant dans la catégorie centres toutes les zones fines comprises dans la ville de Lyon ou présentant une densité de population supérieure à 5000 habitants par kilomètres carrés. Faute d'avoir trouvé une méthode rationnelle satisfaisante, ce seuil, purement arbitraire, est le résultat de tentatives visant à séparer l'échantillon en deux tout en conservant un nombre suffisant d'observations pour garantir une significativité lors de la modélisation.

En pratique, le logiciel SAS a été utilisé pour réaliser les régressions logistiques. Les critères de pertinence et de sélection des modèles seront présentés et expliqués au fil de la présentation des résultats.

Afin de calibrer ce modèle, toutes les données disponibles dans l'EMD Lyon 2006 n'ont pas été utilisées. Dans un premier temps, conformément à notre périmètre d'étude, seuls les déplacements ayant pour origine et pour destination une commune du Grand Lyon ont été conservés. Cela a pour effet de réduire de plus de moitié le nombre de déplacements étudiés (on passe de 96 259 dans la base EMD Lyon 2006 complète à 45 669 déplacements).

Au sein de ces déplacements réalisés dans le Grand Lyon, un tiers se font uniquement en marche à pied. Pour ces derniers, la distance moyenne est de 840m, la distance médiane de 660m et plus de 95% d'entre eux font moins de 2 km. Au contraire, dans l'ensemble des déplacements utilisant au moins un mode mécanisé, 70% s'effectuent sur une distance supérieure à 2 km¹³. Le choix du mode marche à pied sur des distances supérieures à 2 km est donc quasiment inexistant. Deux options méthodologique s'offrent alors à nous : on peut d'une part conserver tous les déplacements sans distinction de distance. Lors de la construction du modèle, la distance sera alors une variable explicative de premier ordre. Intuitivement, on peut penser qu'une telle étude permettra alors de mettre à jour une opposition classique entre centre et périphérie, principalement liée à la distance des destinations potentielles. En effet, dans une banlieue pavillonnaire mono-fonctionnelle, la plupart des destinations courantes sont éloignées du lieu de résidence. Mécaniquement, les habitants auront plus recours aux modes de transports mécanisés : du fait de la distance, les déplacements ne sont « pas réalisables » à pied. L'alternative consiste à ne sélectionner que les déplacements de moins de 2 km. Ce faisant, on se prive une nouvelle fois de près de la moitié des observations, pour obtenir une table de 23 723 déplacements, dont les deux tiers sont exclusivement piétonniers. Mais on étudie alors le cas des déplacements de faible distance, objectivement « réalisables » à pied, et on essaye d'expliquer pourquoi la marche a été privilégiée ou non.

Ces deux options méthodologiques permettent d'approcher deux types d'influence de l'environnement bâti sur la pratique de la marche. Ces approches semblent complémentaires, mais montrent bien deux effets distincts. Nous avons choisi de nous concentrer sur la seconde : en effet, l'étude des déplacements courts permet d'explorer des pistes particulièrement intéressantes pour les pouvoirs publics et semble peu explorée par la bibliographie existante. Si le temps nous le permet, il serait intéressant de modéliser le choix modal piétonnier à partir de ces deux jeux de données et de comparer les résultats obtenus, afin d'étudier les éventuelles corrélations ou distorsions.

13 Pour les déplacements exclusivement piétonniers, la distance a été calculée en multipliant la durée du déplacement déclarée par 4km/h (temps moyen de marche). Pour les autres déplacements, la mesure de la distance utilisée ici a été produite par le CETE Nord-Picardie, en suivant la méthode standard [CERTU, 2005].

B. Indicateurs de marchabilité.

Les bases EMD ne contiennent aucune donnée permettant de caractériser l'environnement bâti des zones fines de résidence et des pôles générateurs de trafic. De plus, ce découpage est différent du maillage en IRIS de l'INSEE, ce qui complique l'exploitation. Une étape importante de cette recherche a donc été de construire des indicateurs finement géolocalisés pour caractériser les 374 unités géographiques étudiées. On peut difficilement utiliser les zones fines comme unités spatiales adéquates pour renseigner ces indicateurs spatiaux. En effet, elles sont de taille variable et ne représentent pas un espace pertinent pour une métrique piétonnière. Afin de remédier à ce problème, de nouvelles unités géographiques ont été créées et associées à chaque zone fine afin de représenter le territoire accessible à pied en x mètres depuis un point central : les Zones d'Accessibilité à Pied (ZAP). Les choix techniques liés à leur construction sont consignés en Annexe 1. Une ZAP peut être utilisée comme cadre, espace de référence ou encore contexte territorial moyen, pour un déplacement en provenance d'une zone fine. Toutes les ZAP ont un rayon fixé, et sont donc directement comparables. On peut donc les utiliser pour construire des indicateurs, décrivant l'environnement bâti représentatif d'une zone fine, objectifs et comparables. Cependant, l'utilisation de ces ZAP suppose l'adoption d'une hypothèse implicite : chaque zone fine est associée à une unique ZAP calculée à partir d'un unique point central. On considère que chaque déplacement provenant d'une zone fine se déroule dans un environnement bâti assimilable à celui capturé par la ZAP. Cette hypothèse est assez forte et est fondamentale pour ce travail et pour la qualité des indicateurs construits. Elle est discutée en détail en **IV**. Une fois ces ZAP construites, le travail de production des indicateurs a été réalisé grâce au logiciel SIG Mapinfo Professional, à partir de bases de données et de méthodes de construction variées, qui sont détaillées ci dessous.

i. Topologie du réseau viaire.

Il existe une grande différence entre un quartier offrant un réseau de rues très maillé et un autre présentant peu d'intersections, de grandes emprises intraversables et des culs-de-sac. Une même distance à vol d'oiseau peut en effet se traduire en trajets réels de distances très hétérogènes dans ces deux cas. Quand la trame viaire n'est pas adaptée à la métrique piétonne, tout devient plus long à atteindre. Un indicateur permettant de déterminer précisément la portion d'un territoire effectivement accessible aux piétons par le réseau de rues, à partir d'un point donné, en un temps fixé est alors intéressant. En plus d'être mobilisées comme surfaces de référence dans lesquelles on peut calculer des indicateurs divers et variés, les ZAP peuvent être utilisées directement pour produire un indicateur, nommé le « **Pedshed** », qui reflète pour chaque site le pourcentage de territoire effectivement accessible aux piétons en x mètre par le réseau viaire. Il est calculé par le rapport entre l'aire d'une ZAP et celle du tampon circulaire de même rayon.

Malheureusement, si la BD TOPO permet une bonne approche topologique du réseau, elle présente quelques inconvénients : les segments de rue sont le résultat d'un travail de vectorisation automatique à partir des cartes IGN, et il arrive fréquemment qu'un tronçon de route compris entre deux intersections soit représenté par plusieurs vecteurs consécutifs, et donc par plusieurs nœuds, qui n'ont aucune réalité géographique, mais qu'il est impossible de distinguer des véritables intersections (entre deux tronçons de routes différents). Ce n'est donc pas la BD TOPO qui a été utilisée pour produire l'indicateur de **densité d'intersections**, mais la couche « ADR Carrefour » du SIG filaire du Grand Lyon, plus fiable. Dans chaque ZAP, le nombre d'intersections entre des voies accessibles aux piétons (autoroutes, bretelles et quasi-autoroutes exclues) dans le périmètre de la ZAP a été dénombré, puis divisé par l'aire de la ZAP.

ii. Caractéristiques urbanistiques.

Afin de relier la pratique de la marche à des notions familières aux professionnels de la ville, on a choisi de produire quelques indicateurs portant sur les grandes caractéristiques urbanistiques des territoires étudiés.

La **densité de population** a été obtenue à l'échelle de la ZAP grâce aux données du carroyage de la population française à 200m produit par l'INSEE¹⁴. Cette échelle est suffisamment fine pour nos besoins. On a extrait le nombre d'habitants de chaque carreau vers les ZAP en pondérant par la proportion de l'aire chaque carreau recoupant la ZAP. Cette population a ensuite été rapportée à l'aire de la ZAP pour obtenir une densité en habitants par kilomètres carrés.

La densité bâtie a été obtenue à l'échelle de la ZAP grâce à la BD-Topo de l'IGN. Les couches « bâti indifférencié », « bâti industriel », « bâti remarquable » et « constructions légères » ont été utilisées pour représenter l'ensemble du bâti. Ces données permettent caractériser pour chaque ZAP la **proportion de la surface bâtie** (rapport entre la somme des surfaces bâties et l'aire de la ZAP) et de produire un indicateur de **hauteur moyenne du bâti** (pondérée par la surface de chaque emprise). Il est intéressant de séparer ces deux composantes, afin d'être capable de distinguer les zones entièrement urbanisées mais peu hautes (banlieue pavillonnaire), des espaces où l'urbanisation est fortement concentrée dans des

14 http://www.insee.fr/fr/themes/detail.asp?reg_id=0&ref_id=donnees-carroyees&page=donnees-detaillees/donnees-carroyees/donnees-carroyees-200m.htm

centralités denses (bourg rural). Enfin, le produit de ces deux indicateurs donne un indice synthétique de **densité bâtie** qui correspond au rapport entre la somme des volumes bâtis et l'aire de la ZAP.

iii. Accessibilité des équipements commerces et services.

Un élément central dans l'explication du choix modal piétonnier semble être l'accessibilité à diverses aménités : équipements, commerces et services. La construction d'indicateurs sur cette thématique se heurte à plusieurs obstacles : d'abord, l'éparpillement des données utilisables (bases SIRENE et BPE de l'INSEE, bases des collectivités locales, bases des chambres consulaires), ensuite, la difficulté de construire une typologie pertinente et efficace et le défi de rendre compte conjointement de la densité et de la diversité en aménités d'un territoire. La réflexion ayant mené à la construction des indicateurs présentés ci dessous est consignée en annexe 2.

Dans chaque ZAP, le nombre d'aménités a été relevé, en suivant une classification en 10 catégories : commerces alimentaires ; commerces non-alimentaires ; grandes surfaces ; service à la personne ; santé ; restauration ; équipements administratifs ; équipements sportifs ; équipements culturels ; équipements scolaires. Les catégories présentant des amplitudes très diverses, un indice synthétique de **concentration en équipements, commerces et services** a été calculé en sommant les racines carrées du nombre d'aménités de chaque catégorie. Cette manipulation permet à la fois de limiter l'importance des aménités à forte amplitude, et d'accorder un poids aux territoires équipés d'aménités provenant de plusieurs catégories différentes.

Pour compléter cette mesure, la **diversité des aménités** est ensuite calculée en fonction du nombre de catégories présentant au moins un équipement sur le territoire (sur une échelle de 0 à 10).

iv. Aménagement des espaces publics.

La pratique de la marche peut aussi être influencée par l'organisation et l'aménagement physique des espaces publics. C'est dans cette optique qu'a été créé l'indicateur de **part de la rue réservée au piéton**. Dans chaque ZAP, la surface de trottoir et d'espaces piétonniers a été rapportée à la surface totale de voirie (chaussée et trottoir). Cet indicateur, déjà développé dans le rapport technique pour le plan piéton de Strasbourg [2011], permet alors d'étudier la place accordée au piéton par rapport à celle accordée à la voiture. La construction de l'indicateur a été rendue possible par la mise à disposition de la base de donnée SIG patrimoine de voirie du Grand Lyon qui recense les surfaces de trottoirs sur près de 20 000 voies. Cependant, les rues n'étant pas sous la responsabilité du Grand Lyon n'ont pas été étudiées, ce qui pose un problème d'exploitation. En effet, la plupart des chemin piétonniers communaux ne sont pas renseignés. Pour tenter de remédier à ce problème, l'intégralité des sentiers, chemins, routes empierrées, escaliers de la BD TOPO ont été rajoutés, avec une largeur uniforme de 1m. L'indicateur n'est pas parfait car certains espaces périphériques (zones industrielles, lotissements) sont quasi intégralement équipés de voirie privée. Par contre, il semble assez exhaustif et pertinent dans les espaces centraux (Lyon-Villeurbanne). L'indicateur a alors été produit uniquement à l'échelle des ZAP d'1 km, afin de minimiser le risque de se trouver dans un vide de la base de donnée.

Pour rendre compte de l'ambiance visuelle des espaces publics, plutôt minérale ou verte, un indicateur de **couverture végétale** a également été mis en place, grâce aux couches SIG produites par G. Bruyat [2011] pour le CERTU à partir de données composites (inventaires détaillés des collectivités locales, Inventaire Forestier National, BD TOPO®, etc.). Pour chaque ZAP, la proportion d'espace couvert par la végétation a été relevée.

Enfin, un indicateur d'**espaces publics surfaciques** a été créé afin de ne pas se limiter au réseau de rues et mesurer également l'importance des squares, places, parcs, promenades, et autres. Il a été difficile de construire cet indicateur car il existe peu de bases de données consignants ces espaces avec précision. Par exemple, la BD TOPO agrège dans la même catégorie les places, les ronds-points et les parkings et le Grand Lyon relève certaines places comme des tronçons de voirie. Le Grand Lyon a également effectué un recensement des parcs et jardins sur Lyon et Villeurbanne, mais cela reste peu exploitable à l'échelle de l'EPCI. Nous avons alors eu accès à une base de donnée de l'Agence d'urbanisme de Lyon, qui relève les espaces publics surfaciques selon leur dominance (minérale, végétale, mixte, etc.) à l'échelle du Grand Lyon. Cette base présente quelques problèmes : d'abord, elle a été créée en l'an 2000, alors que le périmètre du Grand Lyon était différent du périmètre actuel. De fait, aucune information n'a été collectée sur certaines communes (notamment Givors). De plus, la collecte des données ne semble pas avoir été effectuée avec le même degré de précision sur Lyon et le reste de l'agglomération. Ainsi, si le parc de Gerland est renseigné, celui de Méribel est absent. De plus, on n'a pas réussi à retrouver les critères précis ayant conduit à la construction de cette base. Néanmoins, puisque cette base existe, et qu'elle semble intuitivement assez précise à propos des petits espaces publics surfaciques de centre-ville (parc, jardins publics), il a été décidé de l'exploiter. On peut penser que l'indicateur sera particulièrement pertinent pour comparer des zones fines du centre de l'agglomération. L'indicateur est calculé en sommant les surfaces d'espace public accessibles dans chaque ZAP.

v. Offre de déplacements.

On peut penser que l'offre de moyens de transport, concurrents ou complémentaires de la marche, peut également influencer la mobilité piétonnière. Pour tester cette hypothèse, l'indicateur de **densité de stations de transports en commun**, représentant le nombre de stations de transport en commun accessibles, a été mis en place à l'échelle de la ZAP. Il est calculé grâce au SIG TCO du Grand Lyon. Afin de distinguer l'importance des stations accessibles, les stations de métro et de tramway ont été pondérées par 10, les bus à haut niveau de service par 5 alors que les stations de bus classiques comptent pour 1. Parallèlement, l'indicateur **Velov** dénombre les stations de Vélo'V accessibles dans chaque ZAP grâce aux données SIG du Grand Lyon.

vi. Indicateurs abandonnés.

Au vu des nombreuses inflexions entre ce qui était envisagé au départ et le résultat effectif, il semble pertinent de mentionner brièvement quelques indicateurs finalement abandonnés.

À l'origine, la création d'un indicateur de mixité fonctionnelle avait été envisagé. Il est en effet intéressant de tester l'impact du degré de diversité des activités sur un territoire, en miroir de la densité. D'autant plus que les études anglo-saxonnes utilisent parfois cet indicateur, qui est une des trois composantes du *Walkability Index* de L. Frank et al. [2005]. Ce dernier utilise une base de donnée d'occupation du sol à l'échelle de la parcelle pour évaluer la répartition entre surfaces d'habitation, de commerces et de bureaux. On n'a pas trouvé une telle base de donnée pour notre territoire d'étude, et on a donc essayé créer un indicateur en s'appuyant sur les données des fichiers fonciers de la DGI, couplé à la BD Parcellaire® de l'IGN. Cette perspective semblait alléchante, d'autant que le CERTU [2008b, 2008c] et le CETE Nord-Picardie [2010] se sont longuement penchés sur leurs potentiels, et ont développé des pré-traitements intéressants, ainsi qu'un carroyage des données. Néanmoins, la difficulté de l'exploitation de ces bases et le manque de temps nous ont conduit à écarter cet indicateur. attention il manque la suite...

De même, l'idée d'évaluer la densité d'emploi sur les territoires a été abandonnée faute de données géolocalisées précises et accessibles. Un tel indicateur, combiné à la densité de population, aurait également pu donner lieu à une exploitation intéressantes en termes de mixité fonctionnelle. Mais il semble qu'aucune base de donnée finement géolocalisée, fiable et accessible facilement ne permette ce travail.

Au sein des indicateurs d'offre de transport, on a envisagé de recenser la présence de lignes pédibus. Les données existent dans le SIG du Grand Lyon, mais les dates de création des lignes ne sont presque jamais mentionnées. Or la plupart des lignes ont été créées après 2006 (date de lancement de la politique du grand Lyon). Afin d'éviter de tomber dans l'anachronisme, l'idée a été abandonnée.

Enfin, on aurait aimé avoir plus d'indicateurs sur le design des espaces publics de l'agglomération lyonnaise : notamment l'offre d'assises (bancs, corniches, escaliers) qui a un impact très important sur la fréquentation des espaces publics, ou encore la qualité paysagère, ou le sentiment de sécurité. En l'absence de données sur ces questions, l'idée a été abandonnée.

III. Résultats.

A. Construction du modèle de base.

La première étape du travail de modélisation a été de construire un modèle de base contenant uniquement des variables non-spatiales renseignées dans l'EMD. On a alors testé l'influence du genre, de l'âge, de la taille du ménage, de la catégorie socio-professionnelle, du revenu, de l'activité (étudiant, actif, non-actif), de la possession d'un permis de conduire ou d'un abonnement de transports en commun, du taux de motorisation du ménage, du type de logement (appartement ou maison), du statut d'occupation du logement (propriétaire ou locataire), ou encore de la distance du déplacement. Cette étape fait suite à un important travail de discrétisation et de recodage visant à créer, pour les variables que l'on veut manipuler sous une forme qualitative, un nombre restreint de classes, tout en gardant une pertinence explicative.

Presque toutes les variables prises séparément ont un effet significatif sur la pratique de la marche, mais certaines sont assez corrélées, et perdent de leur pouvoir explicatif et de leur significativité lorsqu'on les introduit conjointement dans le modèle. La sélection des variables pertinentes s'est alors faite d'abord sur des critères de significativité¹⁵ (du modèle global et des différents régresseurs), puis sur le pouvoir explicatif global tempéré par la volonté de ne pas saturer le modèle (critères AIC et -2LogLikelihood). Par exemple, la variable âge (discrétisée en 5 classes) semble plus pertinente que le revenu, la CSP, le niveau d'étude ou le type d'activité exercée. Les variables statut d'occupation et type d'habitation, malgré leur très fort effet significatif sur la pratique de la marche ont été mises à l'écart. En effet, elles semblent intuitivement fortement corrélées aux indicateurs spatiaux utilisés par la suite, et pourraient alors perturber l'analyse. En suivant cette méthode, on arrive à un modèle de base significatif, constitué de variables explicatives toutes significatives (« p-value » < 0.0001), dont on peut percevoir l'effet grâce aux odds ratios présentés ci-dessous.

Estimation des Odds Ratio			
Variables	Effet	Intervalle de confiance de Wald à 95%	
DISTANCE	0.173	0.163	0.184
Sexe : H vs F	0.794	0.747	0.843
AgeC : +70 vs 35-54	2.976	2.655	3.334
AgeC : 55-69 vs 35-54	1.786	1.625	1.962
AgeC : 15-34 vs 35-54	1.274	1.174	1.382
AgeC : -15 vs 35-54	0.704	0.618	0.801
TxMotorisation	0.347	0.314	0.383
Permis : Non vs Oui	2.209	1.990	2.453

Tableau 1: Modèle de base, effet des variables sélectionnées.

On remarque une très forte influence de la distance (l'ajout d'1 km à la distance d'un déplacement diminue de 83% les chances qu'il se fasse à pied plutôt que dans un autre mode), alors même que la base de données ne contient que des déplacements inférieurs à 2 km. On repère une influence forte du sexe (un déplacement a 20% de moins de chances de se faire à pied plutôt que dans un autre mode s'il est réalisé par un homme plutôt que par une femme), de la possession du permis de conduire et du taux de motorisation du ménage (qui ont tout deux un effet un effet très négatif sur le choix du mode marche). Ces résultats sont cohérents avec le consensus scientifique en vigueur (Frank [2005] ; K. Manaugh et A. El-Geneidy [2011]).

L'âge (qui agrège des effets de génération, de forme physique et de type d'activité exercée) a une influence non linéaire sur le choix modal piétonnier : par rapport à la situation de référence (35-54 ans), les personnes âgées choisissent beaucoup plus la marche à pied. Cela peut s'interpréter par une plus grande disponibilité des individus pour des déplacements coûteux en temps, une singularité dans les motifs de déplacements (pas de déplacements domiciles-travail), ou encore une plus grande familiarité avec la marche (vecteur de lien social, mode plus lent, agréable). L'effet sur les individus plus jeunes est plus difficile à analyser : si les 15-34 ans ont tendance à marcher un peu plus, les moins de 15 ans ont 30% de moins de chance de se déplacer à pied que dans un autre mode. Ce résultat est plutôt étonnant et est sans-doute à attribuer à une forte corrélation entre les variables « possession du permis de conduire » et « âge ».

15 Sauf mention contraire, dans l'ensemble de ce mémoire, on entend par l'expression « effet significatif » d'une variable ou d'un modèle le fait que l'on puisse rejeter avec une probabilité d'au moins 95%, l'hypothèse d'effet nul respectivement de la variable (le cas échéant d'une majorité de ses modalités, si elle n'est pas binaire) ou du modèle dans son ensemble. La « p-value » est alors inférieure au seuil de 5%.

B. Introduction des variables spatiales.

Une fois le modèle de base construit, on a voulu étudier l'influence des quatorze composantes de l'environnement bâti pour lesquelles des indicateurs ont été développés. Il convient de rappeler que treize d'entre-elles ont en réalité été exploitées quatre fois, en faisant varier l'échelle spatiale de la ZAP à partir de laquelle les indicateurs sont calculés (400, 600, 800 et 1000 mètres). Nous avons alors à traiter un total de 49 indicateurs, ce qui constitue un trop grand nombre de variables pour une étude détaillée.

Une première étape a alors consisté à introduire séparément les indicateurs décrivant l'environnement bâti dans le modèle de base. Cette méthode permet de dégager le pouvoir explicatif des différentes variables spatiales, dans des conditions socio-démographiques égales par ailleurs. L'objectif était alors double : il s'agissait d'abord de sélectionner les indicateurs les plus pertinents au sein d'une même famille, puis de comparer ces familles entre elles. Afin de remédier aux biais liés aux différences d'unités utilisées, les indicateurs ont préalablement été normalisés¹⁶.

Les résultats sont consignés en annexe 4. On peut d'abord en conclure que indicateurs spatiaux ont presque tous un effet significatif sur le choix modal. Cela confirme donc notre principale hypothèse de recherche : l'environnement bâti est bel et bien lié à la mobilité piétonnière. Ensuite, ces résultats permettent de revenir sur les choix méthodologiques effectués lors de la construction des indicateurs spatiaux. À des fins de comparaison, l'indicateur de densité de population a été construit à la fois à partir de ZAP et de tampons circulaires. Il apparaît que l'indicateur formé à partir des ZAP est plus explicatif, et ce, quelque soit l'échelle. Ceci confirme donc l'intérêt d'adopter les ZAP comme espaces de référence pour la mobilité piétonnière. Par ailleurs, dans la grande majorité des cas, plus le rayon de la ZAP augmente, plus le modèle est performant. Les indicateurs construits à partir de ZAP d'un rayon d'un kilomètre ont donc été sélectionnés¹⁷. Ce résultat est cependant complexe à interpréter : il est difficile de savoir s'il résulte d'un défaut de comparabilité des indicateurs (qui ne mesurent pas exactement le même phénomène selon l'échelle), ou s'il traduit une véritable sensibilité des décisions individuelles de mobilité à l'échelle spatiale. On peut regretter de ne pas avoir construit d'indicateurs à partir de ZAP plus grandes : il aurait été intéressant de voir si la tendance s'inverse à partir d'un certain seuil. Sans cette information, on peut seulement émettre quelques hypothèses : les ZAP de grand rayon sont peut-être plus représentatives de la diversité des zones fines dont elles synthétisent les caractéristiques, elles accentuent peut-être la bipolarisation entre centre et périphérie, ou encore, le choix modal piétonnier est peut-être sensible à l'environnement bâti sur des grands territoires (quartier, arrondissement, commune).

Ces données permettent aussi de qualifier et comparer la nature de la relation entre indicateurs spatiaux et choix modal piétonnier. Elles sont complétées par l'atlas des indicateurs (annexe 6) qui offre des statistiques descriptives indispensables pour appréhender la complexité de ces derniers (cartographie à l'échelle de la zone fine, détail de la distribution des variables sur l'échantillon de déplacements et lissage de la relation entre indicateur et choix modal). Les régressions indiquent que la majorité des indicateurs ont un effet positif sur la pratique de la marche (odds ratio supérieur à 1). On relève que l'augmentation d'un écart-type de la densité de population augmente de 79% les chances qu'un déplacement se fasse à pied plutôt que dans un autre mode (odds ratio de 1,789), ce qui en fait l'indicateur le plus influent de notre panel, tout juste suivi par la densité du bâti (1,755), la hauteur moyenne du bâti (1,75) et la concentration en équipements, commerces et services (1,721). Ce sont donc les indicateurs les plus marqués par une opposition centre périphérie qui sont les plus explicatifs. Les autres indicateurs ne sont pas pour autant en reste puisque le plus petit effet positif correspond à un odds ratio de 1,399 pour la proportion d'espaces publics surfaciques. L'intervalle obtenu semble satisfaisant au regard des résultats de Manaugh et al. [2011, p.311], qui, appliquant une méthode semblable sur des données quelques peu différentes, trouvait une influence des indicateurs de marchabilité allant de 1,10 à 1,32 pour les déplacements domicile-école et de 1,46 à 2,13 pour les déplacements domicile-commerces. Afin de donner quelques exemples plus parlants de l'utilité de ces données, on peut étudier les odds ratios calculés sur les indicateurs non-normalisés. Il apparaît alors que, dans des conditions socio-démographiques égales par ailleurs, les chances qu'un déplacement se fasse à pied plutôt que dans un autre mode sont augmentées de 10% lorsque la densité de population croît de 1000 habitants par kilomètres carrés et de 12% lorsque la hauteur du bâti gagne un mètre. Ces résultats ne peuvent bien sûr pas se combiner et sont un peu limités, mais ils offrent un première idée concrète de l'influence de l'environnement bâti sur la mobilité.

Afin de mieux comprendre les mécanismes à l'oeuvre derrière ces régressions, l'étude de répartition spatiale des indicateurs peut s'avérer utile. Par exemple, la carte de la hauteur moyenne du bâti fait apparaître très clairement une imbrication de cercles concentriques : l'indicateur atteint un maximum entre les quartiers Bellecour et Part Dieu, diminue ensuite dans les

16 Cette opération statistique vise à centrer et réduire un jeu de données quantitatives (moyenne nulle et écart-type ramené à 1). Cette transformation, qui s'apparente à un changement d'unité, n'a pas d'incidence sur les profils de variation ou les coefficients dans une régression. Par contre, elle permet une exploitation plus intéressante des odds ratios, qui peuvent se lire pour chaque indicateur comme l'effet d'une augmentation d'un écart-type sur les chances que le déplacement se fasse à pied plutôt que dans un autre mode. Le fait de se focaliser sur l'augmentation d'un écart-type permet de comparer intelligemment les indicateurs, sans être aveuglé par des effets d'unité.

17 Sauf pour l'indicateur de mixité des équipement commerces et services, qui a été étudié à l'échelle de 800 mètres.

communes de Lyon, Villeurbanne et Vénissieux, et se dilate enfin progressivement vers les franges de l'agglomération. On a alors affaire à un véritable gradient centre-périphérie, qui apparaît clairement sur plusieurs autres cartes : plus les zones fines sont centrales, plus la densité de population, la densité et proportion de bâti ou la concentration en commerces équipements et services, en stations Vélo'V et en stations de transport en commun sont fortes. Ce résultat n'est pas étonnant : la centralité est logiquement le siège de la densité et de la concentration. Ces cartes permettent également de réaliser que ces indicateurs sont porteurs d'une dimension centre-périphérie sous-jacente, et laisse présager l'existence d'une forte autocorrélation spatiale.

Lors des régressions utilisées ci-dessus, on a utilisé des odds ratios en supposant que les indicateurs avaient un effet uniforme sur la mobilité, or les graphes représentant la relation entre indicateur et choix modal mettent en évidence de manière récurrente des courbes de forme non linéaire. Par exemple, la hauteur moyenne du bâti a un effet très fort sur la mobilité dans les premiers mètres (on passe de 20% des déplacements effectués à pied dans les espace où les bâtiments sont en moyenne 5 mètres, à 65% dans les zones où la moyenne est 9m, soit une augmentation de 11,3 points par mètre), et faiblit par la suite (la courbe culmine à 80% de déplacements piétonniers pour une hauteur moyenne du bâti de 20 mètres, soit une augmentation de 1,4 point par mètre). La rapport entre ces pentes est quasiment de un à dix, ce qui traduit bien l'existence de rythmes de croissance très différents organisés autour d'une inflexion centrale. Le même constat peut être effectué sur un bon nombre d'indicateurs, indiquant donc que le gradient de centralité n'a pas un effet uniforme sur le choix modal piétonnier, mais un effet double.

Cela peut être interprété comme l'existence d'une segmentation primaire entre périphéries peu denses et centralités. On peut identifier la frontière entre ces deux catégories grâce à ces points d'inflexion des courbes. Elle semble être représentée par un territoire qui présente une hauteur moyenne du bâti de 9 mètre, une proportion de surface bâtie de 18%, une densité de population de 5000 habitants par kilomètre carré, et qui permet l'accès à 100 stations de transport en commun, aucune station Vélo'V et offre un indice de concentration d'équipements, commerces et services de 50. On peut illustrer cette opposition primaire en comparant la commune de Chassieu ou le centre-ville de Champagne-au-Mont-d'Or (deux exemples de périphéries) avec Tassin-la-Demi-Lune ou un quartier de la Presqu'île (deux exemples de centralités).

On peut ensuite voir une différenciation secondaire, plus subtile, au sein de la catégorie des centralités. Elle semble avoir un moindre impact sur le choix modal : une fois que le bâti est haut, on se trouve dans une zone dense et une augmentation de la hauteur a alors un moindre impact

Afin de corriger cette non linéarité des indicateurs concernés dans les futures régressions, on a choisi transformer les variables en utilisant leur racine carrée. Les indicateurs ainsi transformés restent significatifs, concèdent au modèle un meilleur pouvoir explicatif et ont une influence sur le choix modal par écart-type augmentée (odds ratio plus élevé).

Il est ensuite intéressant de se concentrer sur les indicateurs qui ne suivent pas exactement le modèle du gradient centre-périphérie. C'est d'abord le cas des indicateurs décrivant les caractéristiques du réseau viaire : le Pedshed et la densité d'intersections. Si ces indicateurs atteignent tous deux leur maximum dans les zones centrales, leur distribution dans les périphéries ne suit pas la hiérarchie étudiée précédemment : sur les deux cartes, la dernière couronne périphérique ressort nettement comme un espace au dessus de la médiane. En effet, de nombreuses zones fines périurbaines possédant encore des terres agricoles (comme Genay ou Saint-Genis-les-Ollières) présentent des valeurs particulièrement élevées pour ces deux indicateurs. On peut peut-être expliquer cela par l'importance des chemins ruraux dans les territoires périurbains (relevés avec beaucoup de détails dans la BD TOPO® de l'IGN, base utilisée pour développer ces indicateurs), qui multiplient les voies empruntables par les piétons. Une autre hypothèse serait que ces banlieues résidentielles étalées présentent en fait un réseau viaire plus dense et maillé que les faubourgs denses, ce qui va à l'encontre du bon sens et de toute la littérature nord-américaine sur le sujet. Mais si ces espaces présentent en effet une taille moyenne d'îlot plus petite que dans les faubourgs, ils comprennent aussi un bon nombre de rues en impasses, qui devraient limiter l'importance de ces indicateurs.

Cependant, ces variables ne semblent pas avoir un rôle aussi important sur le choix modal que les indicateurs de densité et de concentration étudiés précédemment. En effet, les odds ratios sur les variables normalisées sont plus faibles (1,41 pour le Pedshed et 1,56 pour la densité d'intersection). Si l'on observe les données non-normalisées, dans des conditions socio-démographique égales par ailleurs, les chances qu'un déplacement se fasse à pied plutôt que dans un autre mode sont respectivement augmentées de 3 et de 0,8 % lorsque le Pedshed et la densité d'intersection augmentent de 1 point de pourcentage. L'effet est donc moins fort, mais il est également moins clair. Les courbes reliant ces indicateurs au choix modal ne sont pas monotones : elles présentent toutes deux un profil en trois temps : premier segment de croissance, suivie d'une phase de stagnation et de décroissance, qui se conclut sur un dernier épisode de croissance. Ceci s'explique probablement par la prépondérance du gradient centre-périphérie, auquel ces indicateurs ne sont pas parfaitement corrélés.

Par ailleurs, la couverture végétale est le seul indicateur à avoir un effet négatif sur le choix modal piétonnier (odds ratio de 0,867). Ce phénomène s'explique vraisemblablement par une répartition spatiale complètement différente des autres indicateurs. La carte révèle que la couverture végétale particulièrement faible dans les zones centrales et le quart sud-ouest de l'agglomération est particulièrement élevée dans les périphéries du nord-est. Cette géographie particulière des zones boisées de la région lyonnaise se répercute avec un effet contrasté sur la pratique de la marche. La courbe reliant les deux variables n'est pas du tout monotone : elle présente une première période de très forte croissance jusqu'à un point d'inflexion autour de 12 % de couverture végétale, avant d'entamer une décroissance accidentée. Cette répartition peut être interprétée comme un effet différencié de la végétation selon que l'on se trouve dans les centres (effet positif) ou en périphérie (effet négatif, car corrélé à une plus faible densité). Un croisement des variables est nécessaire pour confirmer cette hypothèse.

Enfin, deux indicateurs restent difficile à analyser. Comme on peut l'observer sur la carte, la proportion d'espaces publics surfaciques est écartelée entre de très grandes valeurs prises aux alentours des grands parcs lyonnais (la Tête d'Or, Gerland et la Feysinne), et de très faibles valeurs sur le reste du territoire. Cette distribution déséquilibrée que l'on observe facilement dans l'histogramme semble incompatible avec le mécanisme à l'oeuvre dans la régression logistique. Il semble alors raisonnable de ne plus se fier à cet indicateur dans le reste de notre étude.

La part des rues réservées aux piétons est un cas différent : on observe sur la carte une répartition est-ouest assez marquante (avec des valeurs plus élevées dans l'est de l'agglomération) difficile à expliquer, mais aussi des valeurs « anormalement » élevées dans quelques communes périphériques (Jonage, Mezieu, La-Tour-de-Salvagny, Mions). Ces observations « aberrantes », sont sûrement dues au recours aux chemins ruraux dans la construction de l'indicateur, et confirment la faible fiabilité de la variable dans les zones périphériques.

C. Corrélations et tris croisés.

Il est évident que les « effets » dégagés ci dessus pour les indicateurs dans des modèles individuels ne peuvent pas simplement s'ajouter les uns aux autres : les résultats ne sont pas indépendants. Une part importante (et complexe) du travail du chercheur en sciences sociales consiste démêler les interactions entre les variables.

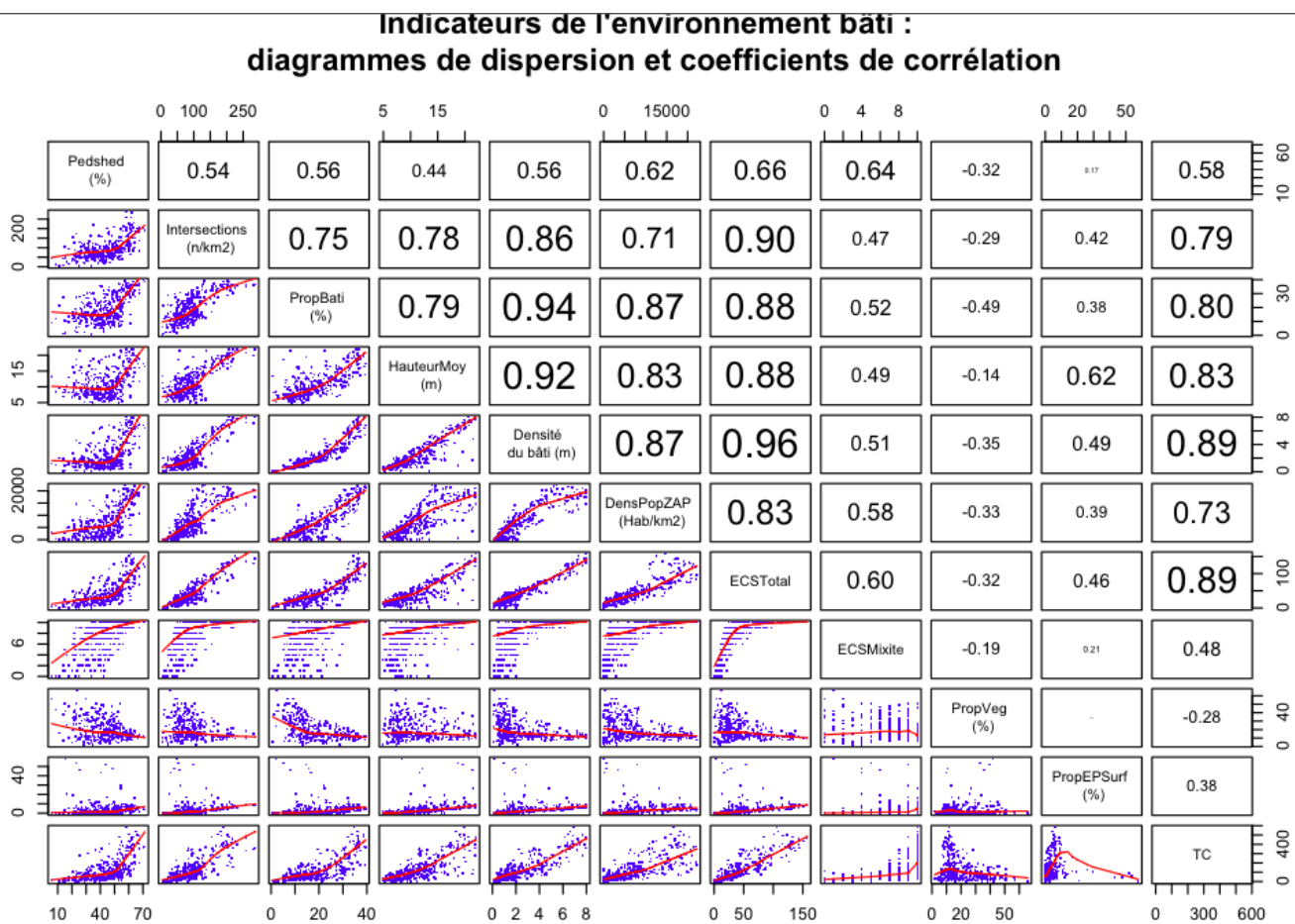


Figure 1: Diagrammes de dispersion et coefficients de corrélation.

Les diagrammes de dispersion ainsi que les coefficients de Pearson présentés en figure 1 offrent un premier outil pour appréhender ces corrélations. Conformément à ce qui avait été supposé précédemment, les indicateurs sont globalement fortement corrélés les uns aux autres. On observe un groupe d'indicateurs très corrélés (coefficient supérieur à 0,7), précédemment identifiés comme particulièrement sensibles à une dynamique centre-périphérie (densité de population, hauteur, proportion et densité du bâti, concentration en commerces, services et équipements, densité de stations de transports en commun et de Vélo'V). Contrairement à ce qui avait été supposé précédemment, le Pedshed et la densité d'intersections ne sont pas particulièrement corrélés, ce dernier étant plutôt à rattacher au groupe centre-périphérie. Ces indicateurs fortement corrélés ne peuvent donc être introduits conjointement dans une régression sans risque de biais.

Dans une perspective plus analytique, la discrétisation des indicateurs spatiaux¹⁸ et la réalisation de tris croisés permettent d'étudier l'effet conjoint de deux variables sur la pratique de la marche. Si ces résultats ne sont pas indépendants du contexte socio-démographique et doivent donc être interprétés avec précaution, ils peuvent néanmoins apporter des précisions sur l'influence d'une variable sur le choix modal piétonnier lorsqu'un autre indicateur est fixé. Faute de place, les tableaux de tris croisés n'ont pas été tous reproduits dans ce document. On se contentera donc de quelques exemples accompagnant une synthèse des résultats. Pour chaque croisement entre des modalités des deux variables, on peut lire le pourcentage de l'effectif concerné par ce cas, et le pourcentage de déplacements non-réalisés à pied¹⁹.

Si l'on regarde d'abord les déplacements effectués dans des secteurs périphériques particulièrement peu denses, on observe que le fait de fixer un indicateur à une modalité faible n'empêche pas l'existence d'autres effets positifs sur le choix modal piétonnier. Ainsi, quand la densité de population est faible, un passage de la modalité faible à la modalité moyenne pour la proportion d'espace bâti, la hauteur du bâti, la densité du bâti, la densité d'intersections, la concentration en équipements commerces et services, en stations de transports en commun ou en stations Vélo'V et la couverture végétale, a un effet positif sur le choix modal piétonnier. On retrouve les mêmes résultats lorsque la densité est contrôlé par un autre indicateur dans la liste.

On peut interpréter ce résultat comme la preuve qu'à faible densité, toute augmentation de l'intensité urbaine a un effet positif sur la marche à pied. Cependant, l'intensité de ces effets positifs change selon les indicateurs. Ainsi, à proportion d'espace bâti fixée, le passage de la densité de population de faible à moyenne augmente de 25 points le pourcentage de déplacements réalisés à pied, contre 15 points pour la concentration d'équipements, commerces et services, 14 point pour la hauteur du bâti, 8 points pour la densité d'intersections.

Par contre, à faible densité (de population et de bâti) le Pedshed a un effet négatif sur la pratique de la marche (tableau 2) qui est difficile à interpréter. On peut penser que quand la densité est faible, le nombre des destinations potentielles (logements, entreprises, équipements, commerces ou services) dans un rayon d'un kilomètre est réduit. Une augmentation du Pedshed, probablement due à une forte présence de chemins ruraux, ne permet donc pas d'accéder à plus de destinations. Cela ne sert pas à grand chose de pouvoir aller plus loin s'il n'y a rien à atteindre.

	Pedshed1000C					
	0 MAP		1 MAP		2 MAP	
	PctN	Mean	PctN	Mean	PctN	Mean
Denspop_ZAP1000C						
0	9.27	48.99	23.56	56.15	4.73	61.75
1	7.3	38.42	16.31	32.64	13.97	33.99
2	0.69	32.32	3	23.56	21.17	24.08

Tableau 2: Effet du croisement de la densité de population et du Pedshed sur la pratique de la marche à pied.

18 La discrétisation a été réalisée grâce à la méthode de Jenks. Pour la majorité des indicateurs, trois classes ont été créées. Ce nombre est assez faible, mais est nécessaire pour garantir une significativité des croisements. Pour ces variables, on peut alors considérer trois modalités assez grossières : « faible » (0), « moyenne » (1), et « forte » (2). Seules la couverture végétale et la concentration en équipements, commerces et services ont été découpées en quatre classes, car cela semblait nécessaire pour préserver la diversité des configurations spatiales.

19 Attention, la case « mean » reflète effectivement pour chaque croisement le pourcentage de déplacements mobilisant au moins un mode mécanisé. Un pourcentage augmentant entre deux case signifie donc un plus faible recours à la marche.

Quand on regarde les hautes densités, on observe des effets plus complexes à analyser. En effet, quand la densité du bâti est fixée dans la catégorie forte, aucun indicateur spatial n'a d'effet positif sur la pratique de la marche. Par exemple, le passage d'une densité de population moyenne à une densité de population forte maintient la part modale de la marche exactement au même niveau (tableau 3). Cela peut s'interpréter par une prédominance de la densité du bâti sur les autres indicateurs à forte densité. On peut aussi remarquer qu'à forte densité de population fixée, une augmentation de la hauteur du bâti, de la densité de bâti, de la concentration d'équipements commerces et services, de la proportion d'espaces publics surfaciques ou de la densité de stations de transports en commun. On remarque donc une perte d'importance de la densité de population : cet indicateur a un effet fort et prédominant sur la part modale piétonnière dans les faibles densités, mais son influence sur la mobilité s'estompe en centre-ville. Ceci est compréhensible : une fois qu'on est en ville dense, avec une forte pratique de la marche, il est plus difficile d'augmenter la part modale piétonnière, et ce sont des caractéristiques plus liées à la qualité des espaces publics et des aménités disponibles. On remarque que la densité de stations de transports en commun et de stations Vélo/V garde étonnamment un effet positif sur la marche, ce qui invalide notre hypothèse d'une possible compétition entre transports en commun et marche. Par contre une augmentation du Pedshed ou de la densité d'intersections n'ont pas d'effet positif sur la marche quand la densité de population est haute et fixée. Les caractéristiques du réseau viaire semblent donc particulièrement détachées de la pratique de la marche.

DensBat_1000C		Denspop_ZAP1000C					
		0 MAP		1 MAP		2 MAP	
		PctN	Mean	PctN	Mean	PctN	Mean
0		36.73	55.05	22.07	36.11	1.4	21.77
1		0.83	53.18	12.01	34.07	8.88	26.24
2		.	.	3.5	23.04	14.58	23.05

Tableau 3: Effet du croisement de la densité de population et de la densité de bâti sur la pratique de la marche à pied.

D. Modèle général.

Une fois ces premières analyses effectuées, un modèle général combinant plusieurs indicateurs spatiaux a été créé. La sélection du modèle le plus pertinent a été réalisée sur des critères de significativité du modèle et des variables explicatives, ainsi que sur l'AIC (Akaike Informative Criterion) qui permet de comparer plusieurs modèles grâce à la vraisemblance pénalisée par une fonction du nombre de paramètres, afin d'éviter de sélectionner un modèle sur-paramétré.

Le modèle obtenu, présenté ci-dessous, est assez performant : il est globalement significatif et tous les paramètres sont individuellement significatif au seuil de 0,1%. On observe que trois variables spatiales ont été conservées : racine carrée de la densité de population à 1000 mètres, racine carré de la hauteur moyenne du bâti à 1000 mètres, et couverture végétale à 800 mètres. Les deux premières étant fortement corrélées, cette configuration est plus utile en tant que modèle prédictif qu'en tant que modèle explicatif.

Model Information			
Data Set	VINCENT.DEPL3	Weight Variable	Coef
Response Variable	MAP	Sum of Weights	23723.000057
Probability modeled	MAP=0	Model	Binary logit
Number of Observations	23723	Optimization	Fisher's scoring

Model Fit Statistics		
Criterion	Intercept Only	Intercept and Covariates
AIC	31104.780	24308.766
SC	31112.855	24421.805
-2 Log L	31102.780	24280.766

Testing Global Null Hypothesis: BETA=0			
Test	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq
Likelihood Ratio	6822.0146	13	<.0001
Score	6144.6088	13	<.0001
Wald	4736.3803	13	<.0001

Analysis of Maximum Likelihood Estimates						
Parameter		DF	Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept		1	0.4430	0.1300	11.6017	0.0007
DIST		1	-1.7694	0.0318	3091.7000	<.0001
Sexe	1	1	-0.1289	0.0160	64.8951	<.0001
AgeC	70	1	1.0095	0.0639	249.7442	<.0001
AgeC	-15	1	-0.2328	0.0695	11.2096	0.0008
AgeC	15-34	1	0.1801	0.0435	17.1686	<.0001
AgeC	55-69	1	0.5571	0.0524	112.9229	<.0001
TxMotorisation		1	-0.9978	0.0564	312.6399	<.0001
Permis	0	1	0.4654	0.0277	281.7173	<.0001
Abonnement	0	1	0.1410	0.0212	44.2822	<.0001
NbMenage		1	-0.0845	0.0130	41.9843	<.0001
Denspop_ZAP1000RC		1	0.0145	0.000944	235.9429	<.0001
HauteurMoyPond_1000RC		1	0.2473	0.0463	28.4641	<.0001
PropVeg_1000		1	0.00776	0.00173	20.0569	<.0001

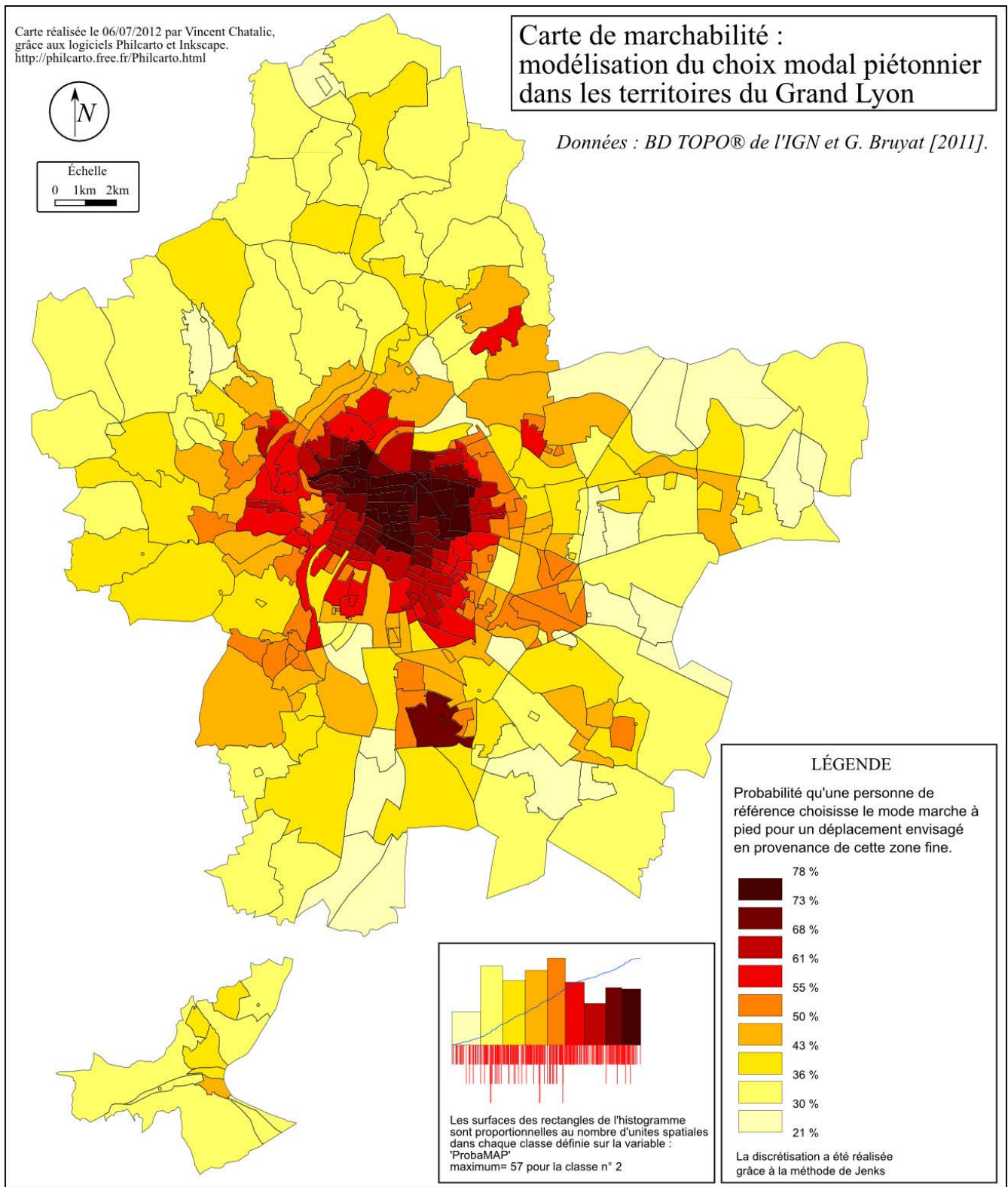
Odds Ratio Estimates			
Effect	Point Estimate	95% Wald Confidence Limits	
DIST	0.170	0.160	0.181
Sexe 1 vs 2	0.773	0.726	0.823
AgeC +70 vs 35-54	2.744	2.421	3.110
AgeC -15 vs 35-54	0.792	0.691	0.908
AgeC 15-34 vs 35-54	1.197	1.100	1.304
AgeC 55-69 vs 35-54	1.746	1.575	1.934
TxMotorisation	0.369	0.330	0.412
Permis 0 vs 1	2.536	2.275	2.828
Abonnement 0 vs 1	1.326	1.220	1.441
NbMenage	0.919	0.896	0.943
Denspop_ZAP1000RC	1.015	1.013	1.016
HauteurMoyPond_1000RC	1.281	1.169	1.402
PropVeg_1000	1.008	1.004	1.011

Association of Predicted Probabilities and Observed Responses			
Percent Concordant	80.2	Somers' D	0.606
Percent Discordant	19.6	Gamma	0.608
Percent Tied	0.2	Tau-a	0.289
Pairs	133963752	c	0.803

Tableau 4: Régression logistique : modèle global

Le modèle a ensuite été utilisé sur les données existantes pour le territoire du Grand Lyon pour produire une carte de marchabilité présentée ci dessous. Pour ce faire, on a choisi une situation de référence en sélectionnant les modalités les plus représentées. Cela correspond à une femme de 35-54 ans dans un ménage de trois personnes équipé d'une voiture, elle possède le permis de conduire mais pas d'abonnement de transports en commun, et entreprend un déplacement de 800 mètres.

Carte 4



La carte met en évidence l'existence d'un gradient centre-périphérie qui reflète bien les tendances observées lors de l'étude de la distribution des indicateurs spatiaux. Cependant, il est intéressant de constater que les valeurs les plus élevées ne sont pas observées sur la Presqu'île, mais autour des quartiers Croix-Rousse, Part-Dieu, et du centre-ville de Villeurbanne. Ceci s'explique probablement par l'enclavement de la Presqu'île entre les deux fleuves, les infrastructures routières et ferroviaires au niveau de Perrache, ainsi par les faibles densités au niveau de Confluence (non-urbanisé lors de la récolte des données utilisées) et de la colline de Fourvière. Le principal atout de cette carte est la précision, à l'échelle de la zone fine, que l'on ne pouvait pas atteindre directement avec les données EMD faute de représentativité. Cela permet d'observer l'existence de points chauds inattendus en termes de marchabilité (à Vénissieux, Vaulx-en-Velin, Rillieux-la-Pape, Lyon La Duchère, Lyon Point du Jour). Ces zones comprennent des grands-ensembles, probablement favorisés par la présence de la variable hauteur du bâti dans le modèle, espaces qui ne sont pas toujours associés à une forte marchabilité.

On peut aussi repérer des zones présentant une marchabilité particulièrement faible : Dardilly, Limonest, parc Miribel-Jonage, Decines-Charpieu, Solaize, etc. Ces espaces correspondent généralement à des centres commerciaux, des zones d'activité et des parcs et jardins.

Une utilisation intéressante de cette cartographie de la marchabilité peut être tirée d'une comparaison avec la distribution du choix modal piétonnier effectivement observé dans l'EMD à l'échelle des secteurs de tirage, représentée dans la carte ci-dessous. On repère une cohérence globale entre la marchabilité et la pratique de la marche. Néanmoins, certains espaces accueillent en réalité bien plus déplacements piétonniers que le contexte spatial ne le laisserait suggérer. C'est par exemple le cas pour les quatre secteurs de tirage sur territoire de Vaulx-en-Velin, qui présentent un choix modal piétonnier supérieur à 70 %, l'un des plus élevés du terrain étudié, alors que la marchabilité, tout en étant au dessus de la moyenne, n'est pas parmi les valeurs les plus élevées. Ceci s'explique probablement par une situation sociale défavorisée : cette ville s'illustre par une population relativement plus pauvre, jeune, enclavée et faiblement motorisée que le reste de l'agglomération lyonnaise. Cette population est donc plus susceptible d'avoir recours à la marche à pied, mais évolue dans un environnement spatial moins propice à son déroulement. La confrontation de ces deux cartes peut donc s'avérer utile d'un point de vue opérationnel pour repérer les espaces sur lesquels les pouvoirs publics peuvent concentrer leurs efforts. Une telle action n'épargne pas pour autant la nécessité d'agir conjointement pour réduire les inégalités sociales structurelles. On peut faire le même constat pour le quartier de La Duchère.

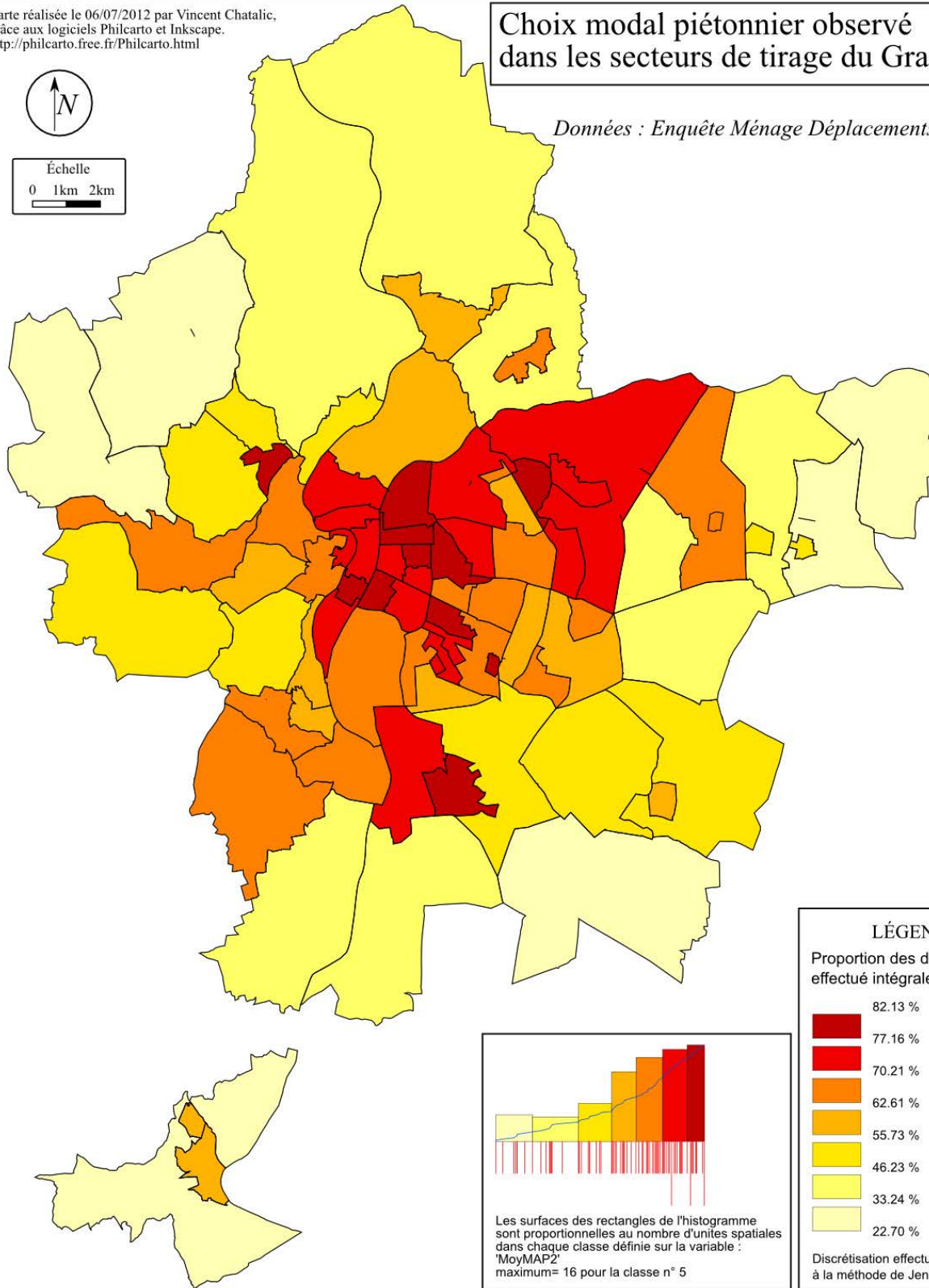
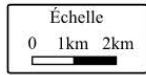
La place de la Presqu'île est également intéressante, puisqu'elle fait également partie des espaces accueillant le plus de marche à pied, ce que le modèle de marchabilité ne laissait pas envisager. Ce résultat est difficile à interpréter : il ne semble pas être lié à des critères socio-démographiques favorables à la marche. Il est peut-être lié au fait que la distance moyenne de déplacement est assez faible dans cette zone, ou peut-être que d'autres variables spatiales sont en faveur de la marche à pied.

L'utilisation de ces cartes peut alors avoir une valeur opérationnelle intéressante.

Carte réalisée le 06/07/2012 par Vincent Chatalic,
grâce aux logiciels Philcarto et Inkscape.
<http://philcarto.free.fr/Philcarto.html>

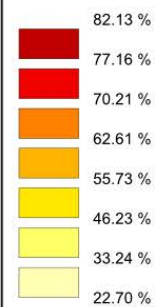
Choix modal piétonnier observé dans les secteurs de tirage du Grand Lyon

Données : Enquête Ménage Déplacements Lyon 2006

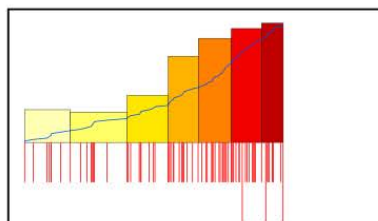


LÉGENDE

Proportion des déplacements effectués intégralement à pied



Discretisation effectuée grâce à la méthode de Jenks



Les surfaces des rectangles de l'histogramme sont proportionnelles au nombre d'unités spatiales dans chaque classe définie sur la variable : "MoyMAP2"
maximum= 16 pour la classe n° 5

Carte 5

E. Sous-modèles selon le degré de centralité.

La dernière étape de ce travail était de produire deux sous-modèles, afin de distinguer les espaces centraux des espaces périphériques. Une telle démarche permet d'atténuer l'influence de la densité et de l'opposition centre-périphérie, prédominante dans le modèle global, afin d'examiner plus finement les différences entre des espaces appartenant à des contextes semblables.

Une première étape a été de vérifier la pertinence du modèle de base sur ces bases de données restreintes. Il apparaît que le modèle utilisé pour l'ensemble du jeu de donnée n'est plus entièrement valable : en effet, certaines classes d'âge et le sexe ne sont plus significatifs. On n'a pas trouvé d'explication satisfaisante à ce résultat. La variable sexe a alors été retirée du modèle, avant de tester individuellement l'influence des indicateurs spatiaux (en annexe 4).

Pour les espaces centraux, les résultats sont assez similaires à ceux observés sur l'ensemble des données : tous les indicateurs ont un effet significatif et positif sur la pratique de la marche, à l'exception de la couverture végétale qui garde un effet négatif. Ce résultat contredit alors notre hypothèse selon laquelle la couverture végétale aurait un effet positif sur la marche en centre ville, car moins liée à la densité et plus à la qualité de l'espace urbain (parcs, alignements d'arbres). Il semble donc que plus un espace central accueille de végétation, moins il est propice à la marche. Malgré la limitation aux espaces centraux, l'étude des odds ratio révèle que les indicateurs de densité (densité de population, du bâti et d'intersections, concentration en stations de transports en commun, en stations Vélo'V et en équipements, commerces et services) gardent un impact prédominant sur le choix modal piétonnier. On peut aussi noter que les variables les plus pertinentes restent les indicateurs produits à partir de ZAP de rayon d'un kilomètre. Par ailleurs, on peut étudier l'effet de la proportion d'espaces publics surfaciques accessibles et la part de la voirie réservée au piétons, puisque ces deux indicateurs ne semblent fiables que pour les zones centrales. Ils ont tout deux un effet positif et significatif sur le choix modal piétonnier, même si l'impact de la variation d'un écart-type pour ces variables est bien moindre que celui obtenu sur des indicateurs de densité.

Dans les espaces périphériques, les résultats sont assez surprenants : d'une part, les régressions n'offrent pas systématiquement des résultats significatifs (notamment pour le Pedshed, la densité d'intersections et la densité bâtie). D'autre part, dans un cas, l'indicateur sélectionné pour le modèle global sur l'ensemble du jeu de données n'apparaît pas comme le plus pertinent pour cette sous-population : ainsi l'indicateur de proportion d'espace bâti sélectionné ici est celui produit à partir de ZAP de 400 mètres de rayon (contre 1 km dans sur le jeu de données complet). Ce changement est difficile à interpréter. Par ailleurs, certains odds ratio prennent des valeurs complètement opposées à ce que le bon sens suggère. Par exemple, la proportion d'espace bâti a un effet négatif sur la pratique de la marche, alors que la couverture végétale a un effet positif. Moins une zone est urbanisée, plus elle accueille d'espaces verts, plus un déplacement est susceptible de se réaliser à pied plutôt que dans un autre mode. Ceci va à l'encontre des résultats observés précédemment (cartes, diagrammes de distribution des variables d'effet sur le choix modal et modèle général sur toute la population) et est donc très difficile à interpréter. Au contraire, la hauteur de bâti, la densité de population, la concentration en stations de transports en commun, et en équipements, commerces et services, ont un effet significatif et positif sur la pratique de la marche. La présence de tant de résultats inattendus et difficilement interprétables peut être reliée au manque de significativité du Pedshed dans les territoires périphériques. En effet, les ZAP produites dans des zones fines périphériques très étendues peuvent s'avérer peu représentatives de la réalité de l'environnement bâti effectivement expérimenté par les enquêtés (cf. IV.A.ii). Ces difficultés d'interprétations sont préoccupantes et tendent à mettre en doute la qualité des modèles produits.

Ces premiers résultats peuvent être complétés par l'étude de corrélations entre les indicateurs spatiaux (figures 2 et 3), qui confirment l'existence de similitudes entre l'échantillon de déplacements provenant d'espaces centraux et la population étudiée dans son ensemble (cf. figure 1). Pour l'échantillon de déplacements provenant d'espaces périphériques, les relations entre les indicateurs semblent par contre complètement différents : ils sont très peu corrélés les uns aux autres. Certains indicateurs qui semblent *a priori* liés apparaissent faiblement corrélés (par exemple : proportion d'espace bâti, hauteur du bâti et concentration en équipements, commerces et services). Cette absence de lien est particulièrement étrange au vu des résultats obtenus sur les autres échantillons. Il est difficile de savoir si ces résultats témoignent d'une réelle diversité des configurations spatiales dans les espaces périphériques, ou si c'est la manifestation d'un biais (possiblement lié à la méthode de production des ZAP) particulièrement fort dans ce type de contexte territorial.

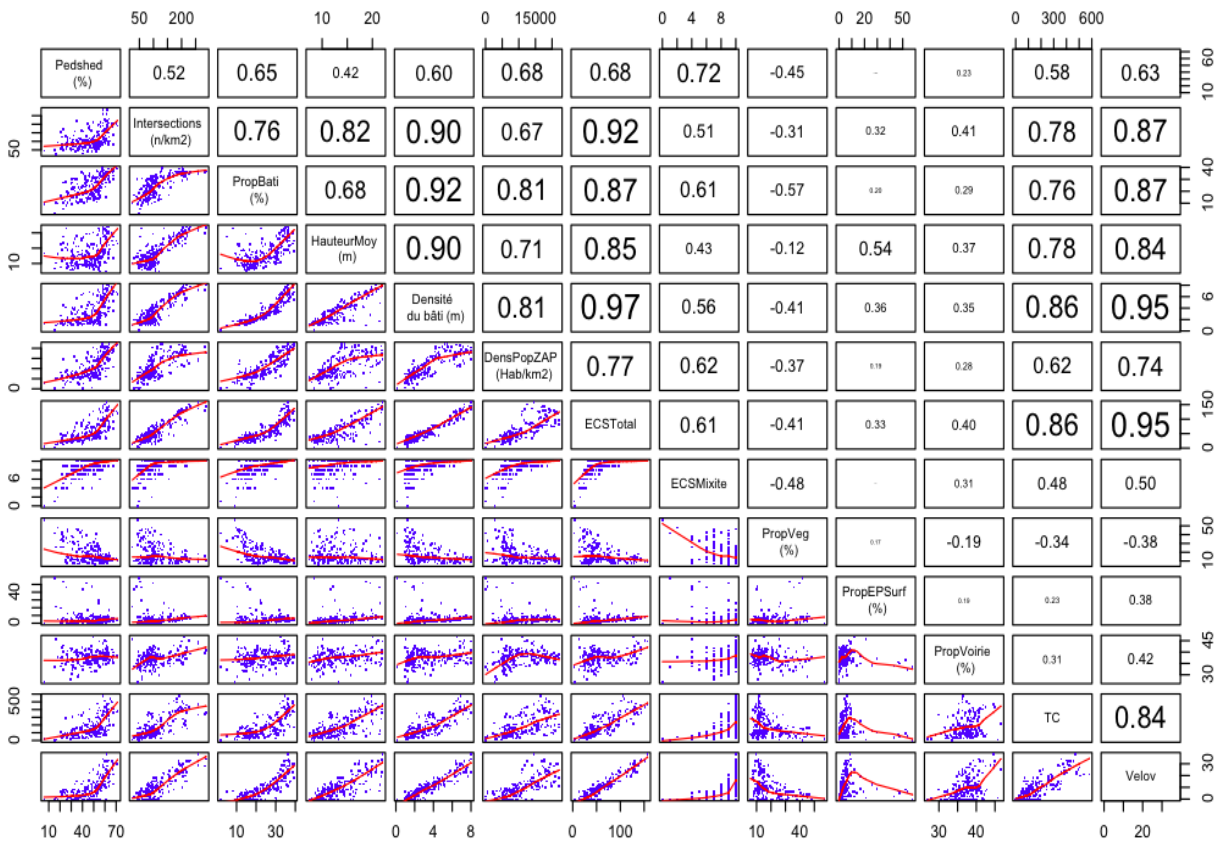


Figure 2: Diagrammes de dispersion et coefficients de corrélation pour les déplacements provenant d'espaces centraux.

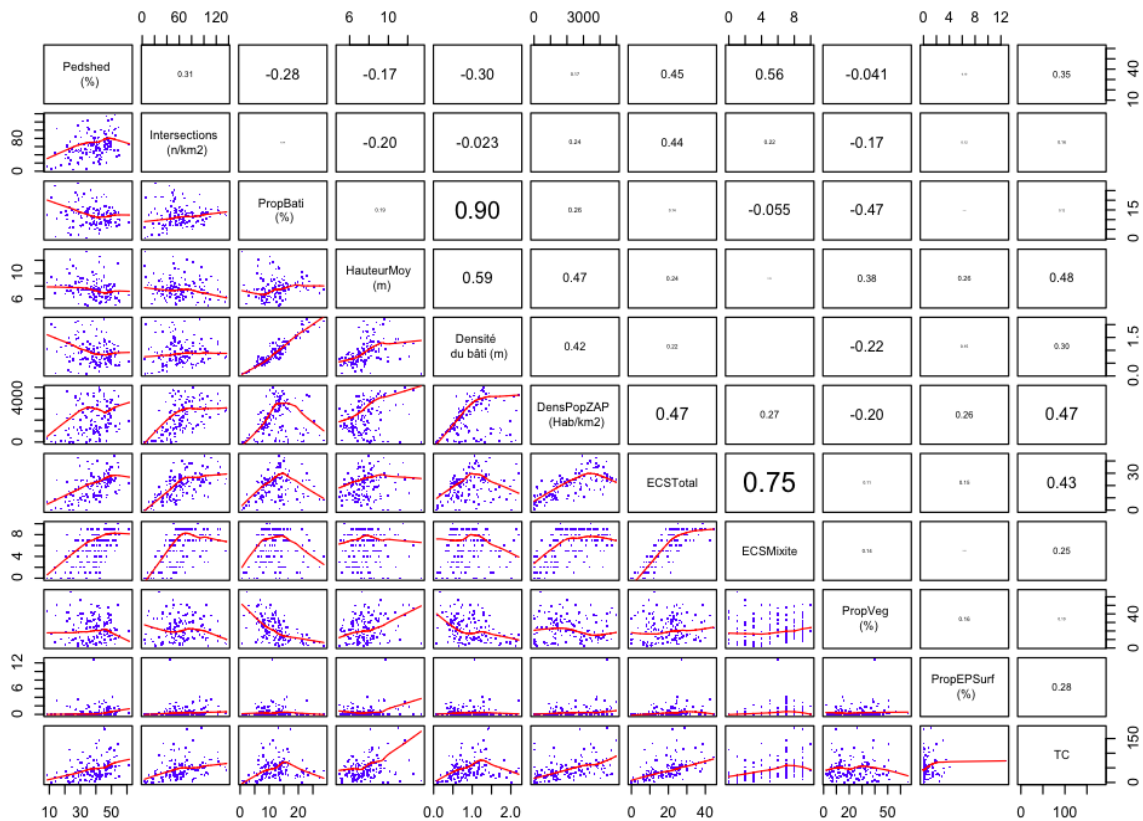


Figure 3: Diagrammes de dispersion et coefficients de corrélation pour les déplacements provenant d'un espaces périphériques.

Les sous-modèles sélectionnés comme les plus pertinents²⁰ produits à partir de ces deux sous-échantillons (présentés ci dessous) ajoutent de nouveaux résultats difficiles à analyser. Pour l'échantillon de déplacements provenant d'espaces centraux, quatre indicateurs spatiaux fortement corrélés ont été sélectionnés. Il est donc impossible d'isoler des effets propres à chaque indicateur, et le modèle n'a pas vraiment de valeur explicative. On remarque que les indicateurs de proportion d'espaces publics surfaciques et de part de la rue réservée aux piétons n'ont pas été retenus comme pertinents dans ce modèle. Pour le modèle produit pour les espaces périphériques, on observe que la proportion d'espace bâti et la hauteur du bâti joue négativement sur la marchabilité, alors que la couverture végétale joue positivement. Encore une fois, il est difficile de trouver une explication rationnelle à ces résultats. Face à ces nombreuses incertitudes, il ne semble pas raisonnable d'utiliser ces sous-modèles pour décrire précisément la marchabilité. On peut penser que des biais lors de la construction des indicateurs (plus précisément lors de la construction des ZAP) viennent affaiblir la modélisation et produisent des résultats peu compréhensibles.

Analysis of Maximum Likelihood Estimates					
Parameter		Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept		0.614	0.2046	9.0047	0.0027
DIST		-1.761	0.0369	2281.5688	<.0001
Sexe	1	-0.1805	0.019	89.9965	<.0001
AgeC	70	1.0268	0.0768	178.7767	<.0001
AgeC	-15	-0.1075	0.0817	1.7342	0.1879
AgeC	15-34	0.1624	0.0504	10.3701	0.0013
AgeC	55-69	0.5308	0.0634	70.0485	<.0001
TxMotorisation		-0.9192	0.0652	198.7391	<.0001
Permis	0	0.3925	0.0317	153.3456	<.0001
Abonnement	0	0.1654	0.0233	50.349	<.0001
NbMenage		-0.0781	0.015	27.0216	<.0001
Denspop_ZAP1000RC		0.00522	0.00148	12.3925	0.0004
HauteurMoyPond_1000RC		0.2994	0.0498	36.1886	<.0001
PropBat_1000		0.0133	0.00386	11.8723	0.0006
ECSMixite_800		0.0347	0.0199	3.0449	0.081

Tableau 5: Modèle pour les espaces centraux : estimation des coefficients.

Analysis of Maximum Likelihood Estimates					
Parameter		Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept		2.2752	0.2617	75.6064	<.0001
DIST		-1.8854	0.0658	821.2147	<.0001
AgeC	70	0.9926	0.1191	69.4152	<.0001
AgeC	-15	-0.5529	0.1337	17.0951	<.0001
AgeC	15-34	0.2416	0.0886	7.4346	0.0064
AgeC	55-69	0.642	0.097	43.7688	<.0001
TxMotorisation		-1.2293	0.1156	113.0136	<.0001
Permis	0	0.669	0.0559	143.199	<.0001
NbMenage		-0.1079	0.0272	15.7167	<.0001
DensPop_ZAP1000		0.000376	0.000034	121.6696	<.0001
PropVeg_800		0.0271	0.00305	78.6939	<.0001
HauteurMoyPond_1000		-0.1452	0.0311	21.8147	<.0001
PropBat_400		-0.0192	0.00561	11.7334	0.0006

Tableau 6: Modèle pour les espaces périphériques : estimation des coefficients.

20 Les critères de sélection sont ceux déjà utilisés pour le modèle de marchabilité construit sur l'échantillon complet.

IV. Discussion.

A. Quelles données pour étudier la marchabilité : bilan, limites et perspectives.

i. Les limites des données de l'Enquête Ménage Déplacements.

Les Enquêtes Ménage Déplacement présentent l'avantage de proposer un gros échantillon (11229 ménages, 27573 personnes et 96255 déplacements pour l'ensemble de l'aire métropolitaine lyonnaise étudiée en 2006, soit un taux de sondage estimé à 1,4%). Cependant, le protocole d'enquête utilisé occasionne quelques biais qui peuvent affecter l'analyse statistiques.

Cela concerne d'abord le redressement des données, effectué à l'échelle des secteurs de tirages en fonction du nombre et de la taille de ménages [CETE de Lyon, 2006, p.22]. Il n'y a pas de redressement fin systématique visant à équilibrer le panel enquêté dans chaque secteur de tirage en fonction du profil socio-démographique réel observé dans les recensements de l'INSEE. Pourtant, le fort taux de non-réponse (31% des cas) et les difficultés rencontrées lors de l'enquête laissent à penser que le panel enquêté ne correspond pas exactement à un échantillon représentatif, malgré la volonté initiale de suivi et de contrôle « qualitatif » [ibid, p.20]. Les services de l'État sont d'ailleurs conscients de l'existence de ce biais de sélection et cherchent aujourd'hui à développer une méthode de redressement standardisée, cohérente entre les différents EMD et reproductible, qui permette une comparaison dans le temps et entre agglomérations [L. Pascal, 2012]. D'après les premiers résultats, la part modale de la marche à pied aurait été sous-estimée de près d'un point de pourcentage dans l'EMD Lyon 2006.

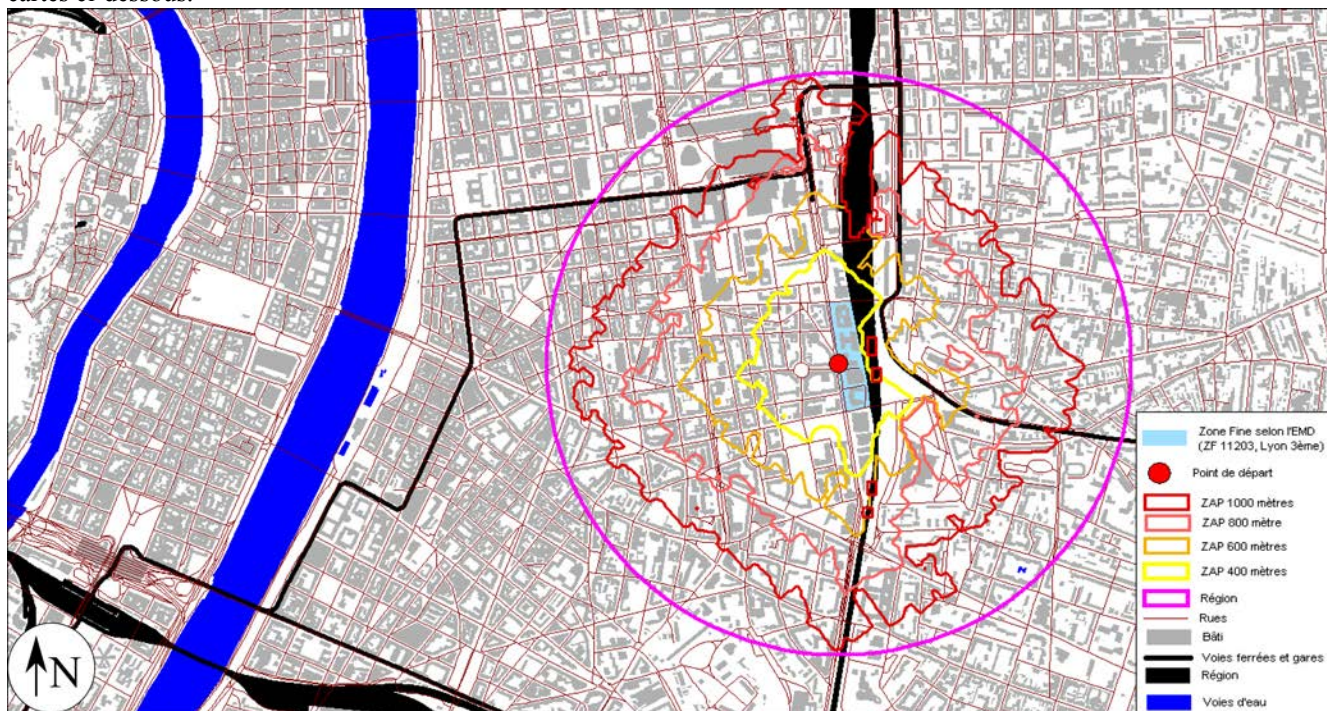
Ensuite, le choix méthodologique d'étudier exclusivement les « pratiques de déplacements des personnes pour "un jour normal et moyen de semaine" » [CERTU, 2008a] se traduit dans le recueil des déplacements en semaine, lors des mois d'automne et d'hiver, en excluant tous les jours exceptionnels (vacances, jours fériés, grève des transports publics, météo exceptionnelle). Or les exploitations de l'ENTD ont montré la sensibilité des piétons au froid, ainsi que l'effet contrasté de la fin de semaine sur le mode marche à pied, selon les motifs de déplacement [R. de Solère et F. Papon, 2010, pp.20-21]. On peut donc penser que ce choix initial conduit à occulter ou sous-estimer certaines pratiques de déplacement (notamment la marche récréative).

Le protocole d'enquête standard CERTU impose la réalisation d'entretiens au domicile du ménage, en face-à-face avec les personnes interrogées, via l'intermédiaire d'enquêteurs spécialement formés. Cette mesure, coûteuse en temps et en argent permet de s'assurer d'une bonne qualité des données recueillies. Mais malgré cette précaution, il convient de rappeler que les données sont récoltées sur une base déclarative : les individus doivent se rappeler de tous les déplacements effectués la veille ainsi que de leurs caractéristiques. Certains déplacements ont alors inévitablement été oubliés et on peut penser que certaines variables, comme le temps de trajet, sont parfois mal-évaluées par les enquêtés (biais de mémoire).

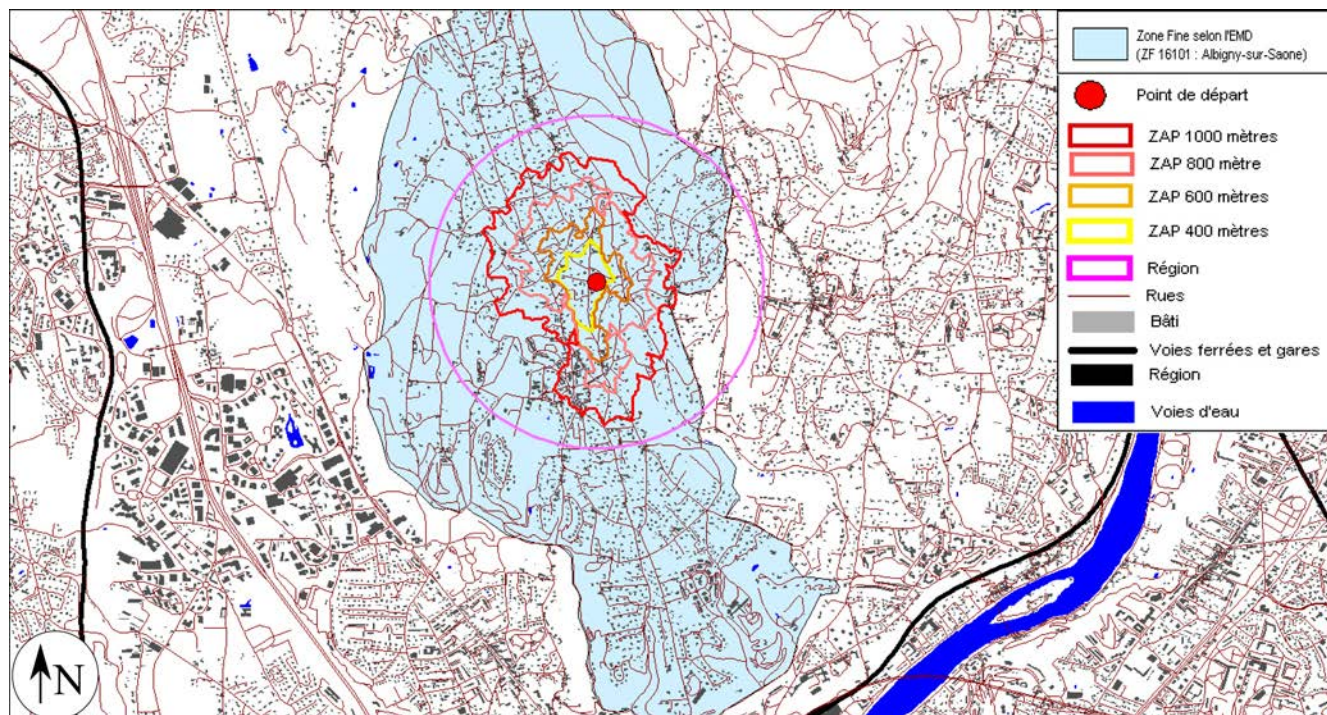
Par ailleurs, la transformation de ce temps de transport en distance du déplacement n'est pas sans poser de problème. En effet, pour les déplacements piétonniers, la distance est simplement obtenue par le produit du temps de déplacement par la vitesse moyenne de marche (4 km/h), ce qui est assez réducteur au vu de la variabilité des vitesses de déplacement selon l'âge. De plus, la méthode de calcul des distances de déplacements motorisés réalisés à l'intérieur d'une zone fine semble assez contestable.

ii. ZAP et environnement bâti.

Certains biais intrinsèques à la construction des indicateurs spatiaux ont déjà été détaillés en II.2, on ne reviendra donc pas dessus. Mais on a pu constater lors de ce travail de recherche que certains indicateurs spatiaux adoptent des valeurs inattendues et difficiles à expliquer, notamment dans les zones fines périphériques. On peut penser que ces irrégularités sont liées à une défaillance lors de la création de ZAP. En effet, les ZAP sont plus fiables pour de petites zones fines centrales que pour de grandes zones fines périphériques. En il convient de rappeler que chaque zone fine est associé à une unique ZAP calculé à partir d'un unique point central sélectionné de manière quasi-aléatoire (cf. annexe 1). On a considéré dans ce travail que chaque déplacement provenant d'une zone fine se déroule dans un environnement bâti assimilable à celui capturé par la ZAP. Or, il semble que cette hypothèse n'est pas forcément toujours raisonnable, comme on peut l'observer grâce aux cartes ci-dessous.



Carte 6: ZAP Lyon 3ème arrondissement.



Carte 7: ZAP Albigny-sur-Saône.

La carte 6 présente la création de ZAP en milieu urbain central. On voit que cette ZAP est associée à une petite zone fine (surface en bleu clair). Cette zone fine est entièrement incluse dans la ZAP de 400 mètres de rayon. On peut donc penser que la ZAP joue effectivement le rôle de surface permettant de capter l'environnement bâti type pour les déplacements originaires de cette zone fine. On remarque au passage l'utilité de l'outil : le dessin de la ZAP prend bien en compte les infrastructures (voies ferrées) et les grandes emprises intraversables (centre commercial de la Part-Dieu au nord-est, hôtel de police sud-ouest) afin de retranscrire l'espace effectivement accessible à pied de manière plus précise que le tampon circulaire de 1 km.

Par contre, la carte 7 présente une ZAP en milieu périurbain. Elle est associée à une zone fine de résidence bien plus grande que la ZAP elle-même. Dans ce contexte on comprend que la ZAP ne peut pas couvrir un espace parfaitement représentatif de l'environnement bâti dans lequel les déplacements originaires de cette zone fine se déploient. La ZAP semble comprendre majoritairement un tissu urbain de type pavillonnaire ainsi que quelques parcelles agricoles. On aperçoit que le bourg d'Albigny-sur-Saône (au sud-ouest du point de départ) n'est que partiellement couvert par la ZAP de 1000 mètres de rayon. On remarque également un tissu urbain de type grand ensemble au sud de la carte, qui est complètement ignoré par les ZAP. L'hypothèse de représentativité de l'environnement bâti des zones fines par les ZAP semble alors remise en question dans les espaces périphériques, ce qui pourrait expliquer l'étrangeté de certains résultats obtenus lors de ce travail de recherche. On pourrait chercher à atténuer ce biais en multipliant le nombre de ZAP produites pour une zone fine, afin de couvrir l'environnement bâti de manière plus systématique. On peut ensuite produire, pour chaque zone fine, des indicateurs spatiaux à partir d'une moyenne pondérée des valeurs renseignées dans toutes les ZAP. On peut également associer aléatoirement chaque déplacement avec une des ZAP créées pour la zone fine dont il est originaire. Ces méthodes nécessitent cependant beaucoup plus de temps que l'approche utilisée ici, ce qui limite leur développement.

iii. Quelles perspectives pour les bases de données ?

Ce travail de recherche est également l'occasion de revenir sur la pertinence des données actuellement disponibles. L'enquête ménage déplacement est un formidable atout puisqu'elle fournit un grand échantillon, offre des situations et des croisements de variables divers qui permettent le développement d'une analyse significative des effets. Cependant, elle ne présente « que » 374 configurations spatiales différentes, ce qui limite l'analyse. Si le centre ville est très finement découpé, il est plus difficile de distinguer dans les périphéries du Grand Lyon un habitant d'un bourg dense, d'un lotissement monofonctionnel, ou d'une maison isolée en rase campagne.

Dans une optique de modélisation du choix modal en fonction de l'environnement urbain, il serait plus pertinent d'obtenir une géolocalisation des individus encore plus fine. On peut par exemple penser à la diffusion des adresses des ménages interrogés dans les bases de données. Cette mesure permettrait une diversification des contextes spatiaux étudiés, sans générer aucun coût puisque les enquêteurs disposent forcément de cette information. Le gain serait cependant contrebalancé par la complexification de l'étape de calcul des ZAP et des indicateurs d'environnement bâti. Au-delà du simple domicile, ce sont toutes les origines et destinations qui pourraient être géolocalisées à l'adresse pour plus de précision. Cette proposition n'est bien sûr pas sans susciter des problèmes en termes de secret statistique mais mérite néanmoins d'être discutée.

Cela nous amène par ailleurs à considérer le découpage actuel, qui semble être le résultat d'arbitrages techniques et politiques complexes. Sa logique est parfois incompréhensible et personne ne semble véritablement en mesure d'expliquer les choix méthodologiques à l'œuvre. Sa déconnexion totale du découpage du territoire en IRIS de l'INSEE interroge et complexifie l'analyse. Si la création d'un nouveau découpage semble exclue, car cela entraînerait une rupture de série dommageable, une réflexion plus rationnelle lors de la mise en place de nouvelles enquêtes ménages peut être intéressante. Ici encore, un codage des origines et destinations à l'adresse pourrait permettre, dans un deuxième temps, la répartition des déplacements dans plusieurs systèmes de découpages territoriaux parallèles.

Enfin, les biais liés au protocole EMD évoqués plus haut suscitent un intérêt vis-à-vis des expérimentations portant sur une enquête assistée par GPS, qui permettrait de suivre finement l'itinéraire, le temps et la distance de déplacement. Le développement de ces techniques est actuellement étudié au CERTU, et on ne saurait assez insister sur les avantages qu'elle pourrait apporter pour l'étude des mobilités de proximité.

Au-delà des données de mobilité, c'est la difficulté de l'accès aux données finement géolocalisées décrivant l'environnement urbain qui nous a particulièrement interpellés. Tout en étant à l'intérieur des services de l'Etat, il a été difficile de savoir quelles données étaient disponibles. Le dialogue avec les autres acteurs publics a été facilité par les réseaux personnels, mais il semble qu'il y ait une faible connaissance mutuelle des données existantes entre l'INSEE, le CERTU, l'agence d'urbanisme de Lyon et le Grand Lyon (même si ce dernier est dans une perspective d'*open data*), et surtout un faible niveau de compatibilité entre la structure de ces données. L'existence de carroyages assez fins (pour la population ou les bases foncières) est assez encourageant, car cela se prête bien à une exploitation finement géolocalisée.

B. Des hypothèses de recherche parfois contestables.

Les hypothèses sur lesquelles la modélisation entreprise dans ce mémoire repose peuvent parfois être remises en cause.

Premièrement, nous avons jusqu'alors toujours supposé que la corrélation mise en évidence entre environnement bâti et pratique de la marche était une relation de causalité à sens unique. En effet, le point de départ du déplacement (dans la majorité des cas, cela correspond au domicile du ménage) a toujours été considéré comme un élément exogène. Mais on peut aussi penser que lors du choix résidentiel, les ménages évaluent leur envie de marcher au quotidien, et se localisent *de facto* dans un environnement bâti correspondant à leurs pratiques de mobilité préférées. Ainsi, un étudiant sans voiture et sans abonnement de transports en commun peut vouloir résider en centre ville au plus près de ses destinations quotidiennes, mais s'il était obligé d'habiter dans une banlieue résidentielle enclavée, peut-être marcherait-il aussi (faute de pouvoir faire autrement). Et *vice versa*, les membres d'un ménage fortement motorisé utilisant la voiture dans la vie quotidienne peut vouloir habiter dans une maison individuelle avec garages dans une banlieue résidentielle, mais s'ils devaient déménager en centre-ville, ils décideraient peut-être de ne pas changer leurs pratiques (conduire les enfant à l'école, au travail, et faire des achats dans des supermarchés périurbains). L'existence d'un tel biais d'auto-sélection dans les modèles reliant environnement bâti et mobilité a été notamment mis en évidence par T. Schwanen and P. Mokhtarian [2005] ou A. Pinjari et al. [2007], qui montrent que cette relation ne reflète pas une « vraie causalité », confirment l'importance des représentations et préférences à propos de la mobilité et du type d'occupation des sols²¹ sur le choix résidentiel et les caractéristiques des déplacements réalisés, et mettent en évidence que l'intensité de la pratique de déplacements actifs s'explique principalement par le fait « d'aimer » ce genre d'activités²². Ces résultats remettent en question l'idée simpliste qu'il « suffit » d'altérer l'environnement urbain pour influencer les pratiques de mobilités. Cependant, si l'existence de comportements d'auto-sélection limite l'interprétation de nos résultats comme l'expression d'une relation de causalité à sens unique, cela ne signifie pas pour autant la disparition de tout effet de l'environnement bâti sur les pratiques de mobilité. Ainsi, Heath et al. [2006] montrent que ces effets agissent conjointement : après prise en compte de l'auto-sélection, l'environnement bâti garde un effet sur les activités physiques. Cet effet est plus faible qu'avant l'introduction de l'auto-sélection dans le modèle, mais est tout de même plus fort que celui observé pour l'auto-sélection. Dans une étude consacrée précisément à la marche à pied, Cao et al. [2006] parviennent aux mêmes conclusions. Les promenades sans but précis (« *strolling* ») sont particulièrement peu sensibles à l'auto-sélection, et bien plus à l'environnement bâti, alors que la tendance est moins visible pour les déplacements à but commercial.

Dans ce travail de recherche, l'emploi de la régression logistique (outil issu de la statistique multivariée) permet de contrôler l'effet de l'environnement urbain sur la mobilité par les caractéristiques socio-démographiques des ménages. D'après le travail de synthèse de P.Barla et al. [2010, p.8], « cette approche limite mais n'élimine pas nécessairement le risque de biais d'auto-sélection puisque certaines caractéristiques non observables peuvent encore générer de la corrélation associative ». Il pourrait être intéressant d'introduire dans l'EMD des questions fermées à propos du choix résidentiel pouvant fonctionner comme une variable de contrôle de l'auto-sélection.

Pour F. Hérain [2001], agir sur l'environnement bâti, et plus particulièrement la densité, pour réduire la dépendance automobile semble une entreprise vaine²³. Mais il semble ce type de politiques d'aménagement du territoire, en améliorant la marchabilité, participe à la valorisations des modes de transport alternatifs, et permet la construction d'une alternative crédible à l'automobile.

Par ailleurs, on a raisonné comme si le nombre total de déplacements était exogène au modèle et indépendant de l'environnement bâti. Or on peut penser qu'un environnement bâti marchable peut « susciter » des déplacements piétonniers qui n'auraient pas lieu autrement. Les travaux de Cao et al. [2006] montrent en effet l'existence de ces déplacements induits par l'environnement bâti pour le motif promenade. On peut par exemple imaginer qu'une personne en chemin pour sa pause midi sera plus susceptible de faire des détours, explorer le quartier ou faire du lèche-vitrine, si elle évolue dans un contexte plus favorable à la marche. Ce type de déplacements, qui joue un rôle important dans les effets positifs de la marche, n'est pas bien envisagé par les modèles créés ici. En effet, dans le cadre de ces modèles, une modification de l'environnement bâti est susceptible de modifier le choix modal, mais pas le nombre de déplacements piétonniers. Cela remet d'ailleurs en cause l'hypothèse d'indépendance des étapes de définition de la demande de transport et de choix modal.

21 « *Attitudes toward travel and land* » [T. Schwanen and P. Mokhtarian, 2005, p.128]

22 « *For walking/bicycling/jogging we found that urban residents are most likely to use these modes, but that the conditional distance covered is influenced more by the liking for such activities than by the neighborhood or mismatch indicators.* » [T. Schwanen and P. Mokhtarian, 2005, p.149]

23 « *La dépendance automobile trouve principalement sa source, non pas dans les aspirations à vivre au vert, dans la généralisation de la motorisation ou même dans l'étalement urbain, mais dans l'efficacité du système automobile par rapport aux autres systèmes de transport. Aussi, pour réduire cette dépendance convient-il de diminuer d'abord la vitesse automobile de porte-à-porte, tout en instaurant un système alternatif de transport écologique associant étroitement la marche, la bicyclette et les transports collectifs. Il en découle une décroissance du trafic automobile qui génère un urbanisme plus dense et mixte et non l'inverse* »

De plus, on a fait l'hypothèse que le choix modal est un choix statique, indépendant et individuel. Pourtant, le choix modal peut parfois dépendre des comportements des autres : ainsi, un bus bondé peut pousser à marcher alors que ce n'était pas prévu, la création d'un pedibus peut créer un cercle vertueux incitant les enfants à marcher ensemble vers l'école, selon la formule de F. H. Whyte [1980], « what attracts people most [...] is other people », et la contraposée est semble vraie : une rue déserte peut décourager certains de marcher par peur de faire de mauvaises rencontres. La demande de transport et les décisions de mobilité des autres peuvent donc influencer le choix modal individuel, ce qui n'est pas pris en compte dans les modèles utilisés dans ce travail. Par ailleurs, on a adopté un modèle statique, alors que dans la réalité, les temporalités influencent bel et bien les comportements de mobilité. Par exemple, on a fait l'hypothèse que chaque décision de déplacement entre deux points pour un motif précis fait l'objet d'un choix modal indépendant des décisions effectuées lors des déplacements précédents. Or, il semble évident qu'une personne allant au travail en voiture ou à vélo ne va pas repartir à pied en laissant son véhicule sur place. De plus, l'heure, le jour, la saison, ou la météo peuvent jouer sensiblement sur le choix modal. Enfin, on a supposé que le choix modal était définitif, mais on peut penser que l'expérience de l'environnement pendant un trajet peut modifier un choix modal effectué préalablement. Par exemple, l'abondance du trafic automobile, de la pollution, ou une pluie soudaine peuvent pousser le piéton vers une bouche de métro.

Enfin, on a contrôlé les régressions par des facteurs démographiques, mais on n'a pas cherché à étudier l'effet croisé des variables spatiales et des variables socio-démographiques sur le choix modal. Pourtant, K. Manaugh et A. El-Geneidy [2011] ou A. Pinjari et al. [2007] montrent que ces variables ne sont pas indépendantes. L'environnement bâti n'a pas un effet objectif sur la mobilité identique pour tout individu. On aurait pu créer des sous-modèles correspondant à de grands profils socio-démographiques, mais cela aurait multiplié les cas à étudier et diminué la solidité des modèles. Il semble donc préférable de s'en tenir à un seul modèle, tout en sachant que les cartes de marchabilité produites pour une personne de référence précise peuvent s'avérer trompeuses, particulièrement dans des zones où la structure socio-démographique est particulièrement éloignée de la référence. Le même type de remarques peut s'appliquer à une distinction par le motif du déplacement [K. Manaugh et A. El-Geneidy, 2011 ; Cao et al., 2006]. Mais l'absence de catégorie « promenade » dans l'Enquête Ménage Déplacement empêche de toute façon de développer ce type de subtilité avec ces données.

C. Retour sur la problématique.

Il est intéressant de revenir sur les questions de recherches posées en introduction. Le but premier de ce travail était de déterminer les déterminants spatiaux du choix modal piétonnier. Ce mémoire de recherche confirme d'abord l'existence d'une corrélation entre environnement bâti et mobilité piétonnière. On précise les indicateurs calculés dans les ZAP d'un kilomètre de rayon ont l'effet le plus fort sur la pratique de la marche, ce qui conduit à envisager le quartier plus que la rue comme échelle pertinente pour envisager la marchabilité. À conditions socio-démographiques et à distance parcourue égales par ailleurs, notre modèle met d'abord en évidence une polarisation de la pratique de la marche à pied par un gradient de densité centre-périphérie. Cependant, les indicateurs spatiaux étant fortement corrélés, il est difficile de dégager un effet propre, et on peut penser à un effet conjoint de la densité de population, de la hauteur, la couverture et la densité du bâti, de la concentration en équipements commerces et services et en stations de transports en commun.

Ce premier grand axe explicatif peut être complété, avec l'aide de statistiques descriptives, par la mise en évidence de dynamiques internes bien distincte entre les territoires centraux et les territoires périphériques. Dans les zones périphériques à faible densité, l'augmentation de presque n'importe quel indicateur aura un fort effet sur la pratique de la marche, la densité de population ayant l'effet le plus fort. Dans les zones centrales à forte densité, une augmentation de la densité de population n'a pas grand effet sur la marche (comme si l'on avait affaire à un certain effet de seuil), alors des caractéristiques plus liées à la qualité des espaces publics et des aménités disponibles auront un effet (faible) sur le choix modal piétonnier. On a noté que les densités de stations de transports en commun et de stations Velo'v (en zone centre seulement) ont un effet positif sur la marche, y compris quand la densité est fixée, ce qui invalide notre hypothèse d'une possible compétition entre transports en commun, Velo'v et marche. Par contre une augmentation du Pedshed ou de la densité d'intersections n'ont pas d'effet positif sur la marche quand la densité de population est haute et fixée. Les caractéristiques du réseau viaire semblent donc particulièrement détachées de la pratique de la marche. Par ailleurs, la couverture végétale a un faible effet négatif sur la pratique de la marche.

Malheureusement, on n'a pas réussi à démêler les corrélations entre tous ces indicateurs spatiaux et à faire apparaître de manière claire l'importance relative de ces effets. Malgré de nombreuses tentatives, l'objectif d'une modélisation explicative semble au delà de nos moyens techniques au vu de notre expérience limitée des modèles multivariés. On ne doute pas qu'il est possible d'aller plus loin dans l'analyse et l'explication avec les données produites, mais nous sommes limités par nos compétences, ce qui est un peu frustrant.

Cependant, malgré l'absence de réponses claires à la question des déterminants spatiaux de la marche à pied, ce travail permet quand même la création de modèles prédictifs statistiquement satisfaisants. Les modèles ainsi produits permettent l'édition de cartes de marchabilité à une échelle assez fine qui peuvent avoir une utilité opérationnelle immédiate. Si on ne sait toujours pas précisément quels leviers d'action activer pour augmenter la marchabilité d'un espace, on peut par contre repérer les espaces particulièrement défavorisés en termes de marchabilité et ainsi cibler plus efficacement l'action publique.

Si l'on essaye de comparer ces conclusions avec ce qui est observé dans un contexte urbain nord-américain, ce qui est complexe au vu de la diversité des résultats produits ces dix dernières années, on trouve une assez bonne cohérence. En effet, la revue de littérature de Saelens et Handy [2008] note l'importance de la densité et de la proximité des destinations potentielles sur la pratique de la marche. Une différence réside peut-être dans la faible influence des indicateurs de maillage du réseau viaire (Pedshed et densité d'intersections) dans notre travail. Ce résultat est particulièrement visible quand on contrôle par la densité de population (cf. tris croisés). Pourtant, ces indicateurs semblent particulièrement influents dans les études nord-américaines. Cette différence s'explique peut-être par le fait que la majorité des études nord-américaines sur la marchabilité étudient des terrains bien plus périurbains que notre exemple lyonnais (qui a globalement un réseau viaire particulièrement dense et maillé). On peut donc penser que la différence de contexte urbain a un effet sur les indicateurs de marchabilité.

D. Perspectives de recherche.

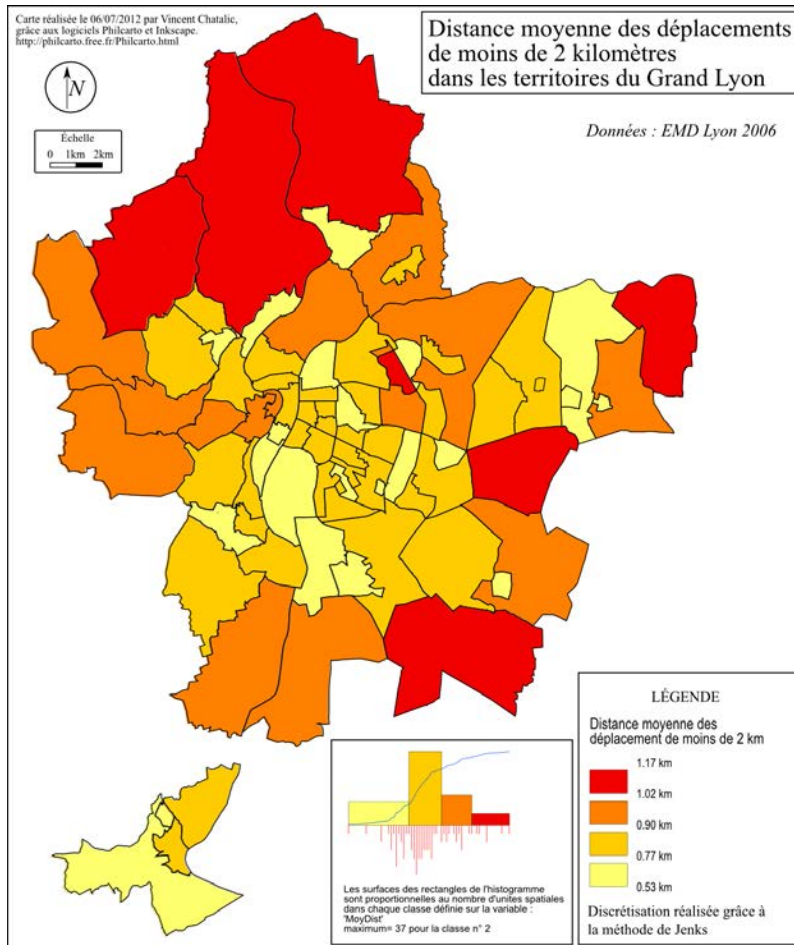
L'étude de ces biais offre des perspectives de recherche intéressantes (étudier la marchabilité en distinguant des profils socio-démographiques et des motifs de déplacement). On peut également envisager d'accorder une plus grande attention à la distance de déplacement. En effet, cette variable a été utilisée dans les régressions pour contrôler l'effet de l'environnement bâti sur la pratique de la marche, c'est d'ailleurs une des variables les plus importantes pour expliquer la variance. Les cartes de marchabilité sont donc produites pour une distance fixée (800 mètres). Or, la distance moyenne des déplacements varie fortement, comme on peut l'observer dans la carte 8 ci-contre. Il pourrait alors être intéressant de chercher à intégrer cette variation de la distance dans la modélisation et la production de cartes de marchabilité.

Il serait également intéressant de développer une modélisation de la marchabilité à l'aide des déplacements de plus de deux kilomètres, et de comparer les résultats.

Une autre piste de recherche intéressante réside dans le type de cartes utilisées pour représenter la marchabilité. Le modèle produit dans ce mémoire permet non seulement de calculer la marchabilité des zones fines de résidence, mais aussi de n'importe quelle ZAP créée à partir de n'importe quel point dans le périmètre d'enquête. Ainsi, il est possible de développer un carroyage fin du territoire du Grand Lyon en attribuant à chaque carreau un indice de marchabilité. Ce type de représentation plus précis peut être utile pour distinguer finement les espaces plus ou moins marchables dans les grandes zones fines périphériques. Ce projet nécessite cependant du matériel informatique puissant et beaucoup de temps pour produire les ZAP.

Ensuite, une autre piste de recherche serait de renforcer la solidité du modèle en étudiant conjointement les données de plusieurs Enquêtes Ménages Déplacements (sur différentes villes). En effet, la structure commune des EMD est un avantage exceptionnel : on peut facilement combiner plusieurs bases de données de mobilité et les utiliser dans une même régression. En disposant d'un plus grand nombre de déplacements, on augmente le nombre de configurations spatiales existantes et on s'assure d'une meilleure significativité du modèle. Le véritable obstacle à ce développement est la difficulté de rassembler des données harmonisées pour décrire l'environnement bâti.

Enfin, il est important de rappeler que les modèles de marchabilité produits dans ce mémoire visent à expliquer le choix modal piétonnier. Cette approche apporte de nombreux avantages, mais ce n'est qu'une approche de la marchabilité parmi d'autres. Ainsi, elle met sur le même plan des déplacements de durée très différentes et oublie complètement la



Carte 8

problématique des personnes immobiles, pourtant assez importante en termes de santé publique. Un travail visant à produire conjointement et à croiser différents types d'indicateurs de marchabilité pourrait permettre d'éviter cette mise à l'écart.

E. Croiser les approches.

Ce travail de recherche s'inscrit dès l'origine dans une approche quantitative visant à modéliser un comportement de choix modal piétonnier à l'échelle de l'agglomération. Si une telle approche a permis de mettre en évidence des variables explicatives pertinentes, elle ne peut prétendre à une explication complète du phénomène. Ainsi, certains éléments qui semblent influencer fortement la pratique de la marche ne sont renseignés dans aucune base de donnée, voire ne sont pas facilement quantifiables.

C'est le cas par exemple du paysage de la rue, de la qualité du mobilier urbain, des ambiances perçues, de la propreté, du sentiment de sécurité. On peut alors réfléchir aux méthodes de quantification de ces éléments, comme dans les travaux de S. Porta et J. Renne [2005] ou de R. Ewing et al. [2006]. Outre leur coût faramineux (en temps et argent), ces méthodes nécessitent la création de bases de données *ex nihilo* complexes, souvent générée à partir de photographies ou de vidéos, et leur généralisation semble plus qu'hypothétique, ce qui compromet leur utilisation dans une entreprise de modélisation. Il semble alors nécessaire de croiser les approches disciplinaires et méthodologiques afin de mieux prendre en compte toutes les composantes de l'environnement bâti influençant la pratique de la marche. Ainsi, l'approche ethnographique et sensible de J.-F. Augoyard [1979] apporte une compréhension fine des logiques des marcheurs du quartier de l'Arlequin et les vidéos de W. White [1980] permettent de décrypter les comportements des piétons dans une situation de foule. Les travaux du CRESSON permettent d'identifier l'influence des ambiances urbaines sur les logiques des marcheurs. La méthode des trois personnes « je, tu, il » permet notamment la mise en perspective de points de vue divers sur un même environnement urbain et son influence sur la pratique de la marche [J.-P. Thibaud, 2011]. Parallèlement, la thèse de S. Lavadinho [2011] synthétise bien l'influence de facteurs qualitatifs comme, la « ludification » de l'espace public, sur la marchabilité de la ville. Elle insiste également sur la multiplicité des échelles spatiales de la marche, qui appellent des analyses et des politiques publiques différentes.

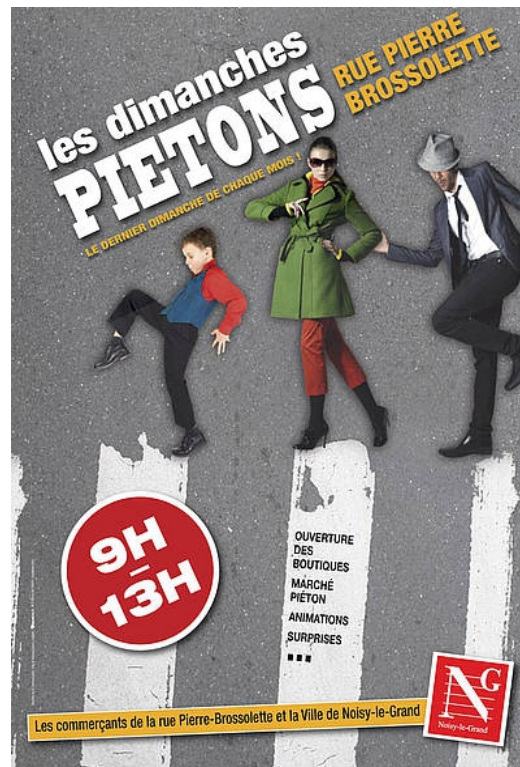


Illustration 1: Affiche informant de la piétonisation mensuelle d'une rue à Noisy-le-Grand



Illustration 2: Affiche produite pour une campagne de sensibilisation à Bordeaux

Par ailleurs, plusieurs études insistent sur l'importance des représentations de l'environnement bâti sur les pratiques de mobilité piétonnière. La perception de l'environnement bâti par les individus est parfois bien différente de l'environnement bâti objectivement mesuré [Cao et al., 2006 ; Smith, 2008]. Ainsi, une opération d'urbanisme visant à améliorer la marchabilité peut s'avérer inefficace si les habitants ne prennent pas conscience du changement opéré. Cette prise de conscience prend par fois du temps, et peut être accompagnée par les pouvoirs publics via des campagnes de sensibilisations (cartes piétonnes, signalisation des aménités proches avec les temps de marche à pied, affiches encourageant la marche, etc.). L'action sur le bâti et sur les représentations doivent être pensée conjointement, malgré les différences de cultures professionnelles, au risque de limiter l'efficacité de l'action publique.

V. Bibliographie.

- [Albe-Tersiguel et al., 2008] Albe-Tersiguel, S., Blum, E., de Berny-Riche, Mangeney, C., Parnaix, A., and Peuvergne, C. (2008). Démarche exploratoire pour une hiérarchisation des équipements en île-de-france. Technical report, IAU-IDF.
- [Albey, 2005] Albey, S. (2005). Walkability scoping paper. Technical report.
- [Augoyard, 1979] Augoyard, J.-F. (1979). *Pas à pas. Essai sur le cheminement quotidien en milieu urbain*. Seuil, Paris.
- [Bachiri and Després, 2010] Bachiri, N. and Després, C. (2010). Milieu bâti et transport actif chez les adolescents : état de la question. In Granié, M. A. and Auberlet, J. M., editors, *Le piéton : nouvelles connaissances, nouvelles pratiques et besoins de recherche*, Séries et Actes A127, pages 25–41. Bron : Les collections de l'INRETS.
- [Barla et al., 2010] Barla, P., Miranda-Moreno, L. F., and Savard-Duquet, N. (2010). Formes urbaines et mobilité, que dit la recherche ? *Les Cahiers de l'Institut EDS*, 2(1).
- [Barles, 2010] Barles, S. (2010). De l'hygiénisme à la santé environnementale, regards sur la ville. *Pollution atmosphérique*, numéro spécial:11–21.
- [Barles, 2011] Barles, S. (2011). Les villes transformées par la santé, XVIIIe-XXe siècles Â». *Les Tribunes de la santé*, 4(33):31–37.
- [Brewster et al., 2009] Brewster, M., Hurtado, D., Olson, S., and Yen, J. (2009). Walkscore.com: A new methodology to explore associations between neighborhood resources, race, and health.
- [Bruyat, 2011] Bruyat, G. (2011). Estimation de la masse de carbone stocké par les arbres de la communauté urbaine de lyon, ou comment adapter le zonage d'un PLU pour en faire un zonage de végétation. Travail de fin d'études, CERTU, ENTPE.
- [CABE Space, 2007] CABE Space (2007). Paved with gold : The real value of good street design. Technical report, CABE Space.
- [Cao et al., 2006] Cao, X., Handy, S. L., and Mokhtarian, P. L. (2006). The influences of the built environment and residential self-selection on pedestrian behavior: Evidence from austin, tx. *Transportation*, 33(1):1–20.
- [Carré and Mignot, 2003] Carré, J.-R. and Mignot, C. (2003). Écomobilité : Les déplacements non motorisés : marche, vélo, roller..., éléments clés pour une alternative en matière de mobilité urbaine. Technical report, PREDIT.
- [CERTU, 2005] CERTU (2005). Calcul a posteriori des distances dans les enquêtes ménages déplacements. Rapport d'étude, CERTU.
- [CERTU, 2008a] CERTU (2008a). L'enquête ménages déplacements "standard certu". Collection Références : guide méthodologique, CERTU.
- [CERTU, 2008b] CERTU (2008b). Les fichiers fonciers standards délivrés par la DGI appelés communément fichiers MAJIC II. Volume 1 : Guide méthodologique pour leur utilisation. Technical report, CERTU.
- [CERTU, 2008c] CERTU (2008c). Les fichiers fonciers standards délivrés par la DGI appelés communément fichiers MAJIC II. Volume 2 : Annexes du guide méthodologique pour leur utilisation. Technical report, CERTU.
- [CETE de Lyon, 2006] CETE de Lyon (2006). Enquête ménages déplacements de l'aire métropolitaine lyonnaise 2005-2006, rapport de mission d'assistance à maîtrise d'ouvrage, suivi d'enquête. Technical report, CETE de Lyon.
- [CETE Nord-Picardie, 2010] CETE Nord-Picardie (2010). Description de la livraison, du contenu et des traitements des tables issues des fichiers fonciers au 01/01/2009. Technical report, CETE Nord-Picardie.
- [Chaudet, 2010] Chaudet, B. (2010). La mobilité quotidienne des piétons âgés autour de leur domicile est-elle révélatrice d'espaces de qualité et de bien-être ? In Granié, M. A. and Auberlet, J. M., editors, *Le piéton : nouvelles connaissances, nouvelles pratiques et besoins de recherche*, Séries et Actes A127, pages 43–45. Bron : Les collections de l'INRETS.
- [Cortright, 2009] Cortright, J. (2009). Walking the walk : How walkability raises home values in u.s. cities. Technical report, Impresa, Inc., for CEOs for Cities.
- [de Solere and Papon, 2010] de Solere, R. and Papon, F. (2010). La mobilité à pied : que nous apprennent les dernières enquêtes. In Granié, M. A. and Auberlet, J. M., editors, *Le piéton : nouvelles connaissances, nouvelles pratiques et besoins*

de recherche, Séries et Actes A127, pages 15–24. Bron : Les collections de l'INRETS.

[Demers, 2010] Demers, M. (2010). Préface. In Granié, M. A. and Auberlet, J. M., editors, *Le piéton : nouvelles connaissances, nouvelles pratiques et besoins de recherche*, Séries et Actes A127, pages 15–24. Bron : Les collections de l'INRETS.

[Duncan et al., 2011] Duncan, D. T., Aldstadt, J., Whalen, J., Melly, S. J., and Gortmaker, S. L. (2011). Validation of walk score® for estimating neighborhood walkability : An analysis of four us metropolitan areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(11):4160–4179.

[Ewing et al., 2006] Ewing, R., Handy, S., Brownson, R. C., Clemente, O., and Winston, E. (2006). Identifying and measuring urban design qualities related to walkability. *Journal of Physical Activity and Health*, 3(Suppl 1):S223–S240.

[Faure and Antunes, 2011] Faure, A. and Antunes, A. (2011). Commerces et zones à priorité piétonne. Technical report, CERTU.

[Frank et al., 2005] Frank, L. D., Schmid, T. L., Sallis, J. F., Chapman, J., and Saelens, B. E. (2005). Linking objectively measured physical activity with objectively measured urban form. *American Journal of Preventive Medicine*, 28(2S2):117 – 125.

[Gardner et al., 1996] Gardner, K., Johnson, T., Buchan, K., and Pharoah, T. (1996). Developing a pedestrian strategy for London. In *ETC Proceedings*.

[Gehl, 1987] Gehl, J. (1987). *Life between Buildings : Using Public Space*.

[Gourgand and Roche, 2009] Gourgand, B. and Roche, G. (2009). Equipements et services dans les agglomérations. Rapport d'étude, CERTU.

[Granié and Auberlet, 2010] Granié, M. A. and Auberlet, J. M., editors (2010). *Le piéton : nouvelles connaissances, nouvelles pratiques et besoins de recherche*. Séries et Actes A127. Bron : Les collections de l'INRETS.

[Heath et al., 2006] Heath, G. W., Brownson, R. C., Kruger, J., Miles, R., Powell, K. E., Ramsey, L. T., and The Task Force on Community Preventive Services (2006). The effectiveness of urban design and land use and transport policies and practices to increase physical activity: A systematic review. *Journal of Physical Activity and Health*, 3(Suppl 1):S55–S76.

[Héran, 2001] Héran, F. (2001). La réduction de la dépendance automobile. *Cahiers Lillois d'Economie et de Sociologie*, pages 61–86.

[Héran, 2011] Héran, F. (2011). *La ville morcelée. Effets de coupure en milieu urbain*. Collection "Méthode et Approches". Economica, Paris.

[Héran and Pouillaude, 2010] Héran, F. and Pouillaude, L. (2010). Les zones de desserte à pied autour des stations de transport public urbain. In Granié, M. A. and Auberlet, J. M., editors, *Le piéton : nouvelles connaissances, nouvelles pratiques et besoins de recherche*, Séries et Actes A127, pages 47–63. Bron : Les collections de l'INRETS.

[Héran and Ravalet, 2008] Héran, F. and Ravalet, E. (2008). La consommation d'espace-temps des divers modes de déplacement en milieu urbain. application au cas de l'île de france. Technical report, PREDIT.

[IAU, 2011] IAU (2011). *Équipements et services : la métropole au quotidien*. Number 157. Les Cahiers de l'IAU.

[Jacobs, 1961] Jacobs, J. (1961). *The Death and Life of Great American Cities*.

[Lavadinho, 2011] Lavadinho, S. (2011). *Le renouveau de la marche urbaine. Terrains, acteurs et politiques*. PhD thesis.

[Lavadinho and Winkin, 2012] Lavadinho, S. and Winkin, Y. (2012). Comment produire de l'hospitalité pour ma marche ? boîte à outils pour augmenter le plaisir de marcher en ville. Technical report, CERTU.

[Lee and Moudon, 2004] Lee, C. and Moudon, A. V. (2004). Physical activity and environment research in the health field: Implications for urban and transportation planning practice and research. *Journal of Planning Literature*.

[Litman, 2003] Litman, T. (2003). Economic value of walkability. *Transportation Research Record*, 10:3–11.

[Litman and Brenman, 2012] Litman, T. and Brenman, M. (2012). A new social equity agenda for sustainable transportation. In *2012 Transportation Research Board Annual Meeting*.

[Manaugh and El-Geneidy, 2011] Manaugh, K. and El-Geneidy, A. M. (2011). Validating walkability indices: How do different households respond to the walkability of their neighbourhood? *Transportation research Part D: Transport and Environment*, 16(4):309 – 315.

- [Methorst et al., 2010] Methorst, R., i Bort, H. M., Risser, R., Sauter, D., Tight, M., and Walker, J. (2010). *Pedestrians' Quality Needs. Final Report of the COST project 358, Walk21*. Cheltenham : Walk21.
- [Northridge and Sclar, 2003] Northridge, M. E. and Sclar, E. (2003). A joint urban planning and public health framework: Contributions to health impact assessment. *American Journal of Public Health*, 93(1):118–121.
- [Northridge et al., 2003] Northridge, M. E., Sclar, E. D., and Biswas, P. (2003). Sorting out the connections between the built environment and health: A conceptual framework for navigating pathways and planning healthy cities. *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*, 80(4):556–568.
- [OCDE/FIT, 2012] OCDE/FIT (2012). Piétons: sécurité, espace urbain et sante. Technical report, OCDE/FIT.
- [Oliver et al., 2007] Oliver, L. N., Schuurman, N., and Hall, A. W. (2007). Comparing circular and network buffers to examine the influence of land use on walking for leisure and errands. *International Journal of Health Geographics*, 6(41).
- [OMS, 2010] OMS (2010). Recommandations mondiales sur l'activité physique pour la santé. Technical report, OMS.
- [Palmier, 2009] Palmier, P. (2009). Cartes Z.A.P. : mode d'emploi. Technical report.
- [Pascal, 2012] Pascal, L. (2012). Redressement de l'EMD lyonnaise de 2005-2006 par calage sur marges. Technical report, LET/CERTU.
- [Pinjari et al., 2007] Pinjari, A. R., Pendyala, R. M., Bhat, C. R., and Waddell, P. A. (2007). Modeling residential sorting effects to understand the impact of the built environment on commute mode choice. *Transportation*, 34:557–573.
- [Porta and Renne, 2005] Porta, S. and Renne, J. L. (2005). Linking urban design to sustainability: formal indicators of social urban sustainability field research in perth, western australia. *Urban Design International*, 10(1):51–64.
- [Robertson et al., 2012] Robertson, R., Robertson, A., Jepson, R., and Maxwell, M. (2012). Walking for depression or depressive symptoms : A systematic review and meta-analysis. *Mental Health and Physical Activity*, 5:66–75.
- [Rogers et al., 2011] Rogers, S. H., m. Halstead, J., Gardner, K. H., and Carlson, C. H. (2011). Examining walkability and social capital indicators of quality of life at the municipal and neighborhood scales. *Applied Resesearch in Quality of Life*, 6(2):201–213.
- [Roux, 2011] Roux, S. (2011). Mobilité et santé : la contribution du transport actif à l'activité physique recommandée. Étude de l'Enquête Ménages Déplacements de Lyon 2006. Travail de fin d'études, CERTU, ENTPE.
- [Saelens and Handy, 2008] Saelens, B. E. and Handy, S. L. (2008). Built environment correlates of walking: A review. *Med Sci Sports Exerc*, 40(7 Suppl):S550–S566.
- [Sauter and Wedderburn, 2008] Sauter, D. and Wedderburn, M. (2008). Measuring walking. towards internationally standardizes monitoring methods of walking and public space. In *Resource Paper prepared for the 8th ISCTSC International Conference on Survey Methods in Transport. Annecy*.
- [Schwanen and Mokhtarian, 2005] Schwanen, T. and Mokhtarian, P. L. (2005). What if you live in the wrong neighborhood? the impact of residential neighborhood type dissonance on distance traveled. *Transportation Research Part D*, 10:127–151.
- [Smith, 2008] Smith, A. (2008). *The Relationship Between Neighborhood Environment and Walking Behavior: The Influence of Perceptions*. PhD thesis, University of Maryland.
- [SYTRAL, 2007] SYTRAL (2007). Enquête ménages déplacements 2006 de l'aire métropolitaine Lyonnaise : principaux résultats. Technical report, SYTRAL.
- [Thibaud, 2011] Thibaud, J. (2011). Des modes d'existence de la marche urbaine. In Thomas, R., editor, *Marcher en ville. Faire corps, prendre corps, donner corps aux ambiances urbaines.*, Paris. Ed. des Archives Contemporaines.
- [Ville de Strasbourg, 2011] Ville de Strasbourg (2011). Plan piétons de la ville de Strasbourg 2010-2020, rapport de synthèse. Technical report, Ville de Strasbourg.
- [Ville de Strasbourg, 2012] Ville de Strasbourg (2012). Le plan piéton, une ville en marche, intégré dans le «code de la rue». Technical report, Ville de Strasbourg.
- [Walk21, 2006] Walk21 (2006). International charter for walking. Technical report, Walk21.
- [Whyte, 1980] Whyte, W. (1980). *The social life of small urban spaces*. Washington, D.C.: Conservation Foundation.

VI. Annexes

i. Annexe 1 : Zones d'Accessibilité à Pied (ZAP)

Étant malheureusement dépourvu d'ailes, les humains ne peuvent pas compter sur les distance « à vol d'oiseau » pour estimer fiablement un temps de trajet. Il suffit en effet de quelques culs-de-sac, d'un tissu de grandes emprises intraversables, d'un réseau de rues mal conçu et de quelques ruisseaux infranchissables pour allonger considérablement la distance à parcourir pour rejoindre deux points géométriquement proches. Ainsi, si l'on cherche à recenser toutes les boulangeries accessibles en 1 km depuis un domicile, il semble peu pertinent de se contenter de tracer une surface circulaire d'1 km de rayon. Il convient au contraire de relever précisément ce que le réseau de rues permet d'atteindre en 1 km, ce qui est bien plus complexe.

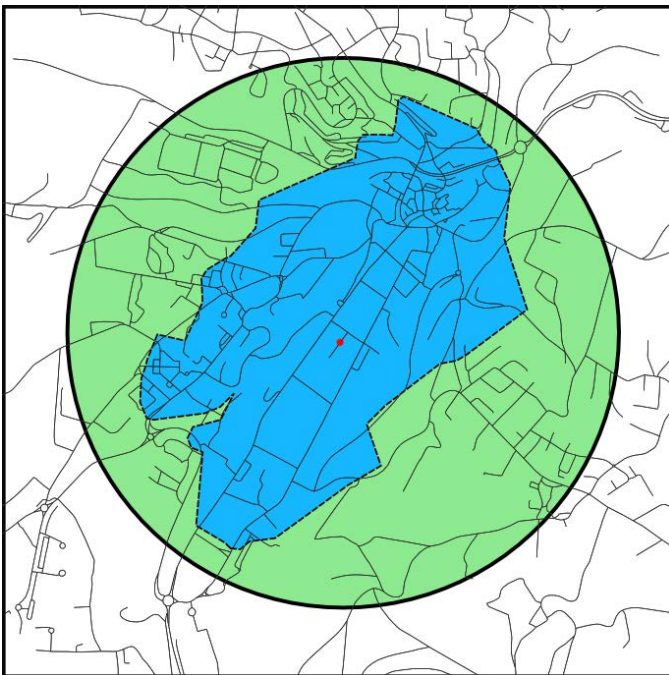
a) Présentation des différentes options existantes.

Pour résoudre ce problème, on peut recourir à la théorie des graphes et à l'algorithme du plus court chemin. Mais cela nécessite de transformer une base de données voirie en graphe topologique composé d'arcs et de nœuds situés les uns par rapport aux autres. Plusieurs outils permettent de réaliser ce travail automatiquement, notamment :

- Sous ArcGis, l'utilitaire Network Analyst, développé par ESRI²⁴ est à la fois complet et facile d'accès. Mais il présente le désavantage majeur de nécessiter une licence ArcGis et d'être en plus payant (2 500\$).
- Sous Qgis, la « Network Analysis Library »²⁵ est une suite entièrement libre. Elle propose un jeu de fonctions assez complet, mais est complexe à manier. En effet, il n'y a pas d'interface graphique et l'utilisation demande donc une bonne maîtrise de la programmation sous Qgis.
- Sous Mapinfo, le script mapbasic *reseaux.mbx* développé par Patrick Palmier (CETE Nord-Picardie) convient parfaitement à nos besoins. Développé à l'origine pour Lille-Métropole-Communauté-Urbaine (LCMU), afin de déterminer les Zones d'Accessibilité à Pied (ZAP) autour des stations de transport en commun, cet outil permet d'effectuer divers calculs d'accessibilité.

Le CERTU disposant de licences Mapinfo, c'est ce dernier outil que nous avons choisi d'utiliser.

Une fois l'outil choisi, et que l'on est capable de sélectionner le réseau de route accessible en x km à partir d'un point fixe, plusieurs méthodes peuvent être mobilisées pour transformer cet ensemble de voies en surface :

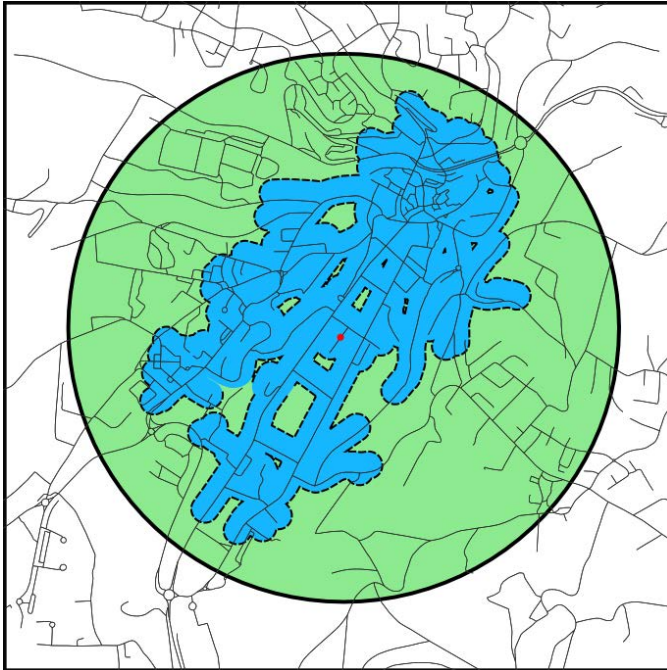


Tampon de 1km réseau par polygone ;
(« polygon-based network buffer »)

- L. Frank et al. [2005] proposent la construction de polygones à partir de sommets correspondants aux points du réseaux accessibles en exactement x km. C'est la technique dite du « *polygon-based network buffer* », qui est généralement adoptée dans les études anglo-saxonnes sur la marchabilité. C'est la méthode utilisée par défaut sous ArcGis par le Network Analyst.

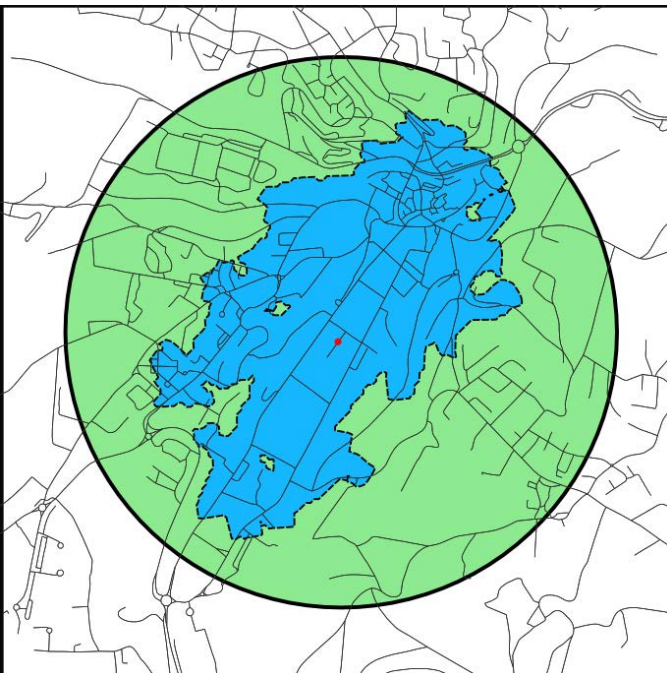
24 <http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/networkanalyst/> (consulté le 12/06/2012)

25 <http://qgis.org/pyqgis-cookbook/network-analysis.html> (consulté le 12/06/2012)



Tampon de 1km réseau par à l'échelle de la rue ;
 (« buffered line method »)

- Cette dernière est critiquée par L. Oliver et al. [2007] dans un article explorant l'importance du type de tampon choisi sur la précision de la mesure de la marchabilité. On lui reproche sa tendance à intégrer de grandes emprises intraversables et/ou non accessibles depuis la rue, ce qui peut s'avérer gênant dans le calcul d'indicateurs d'occupation des sols. L. Oliver et al. [2007] proposent à la place la réalisation de « *buffered line-based network buffer* », correspondant à une zone tampon de 50m de rayon autour de toutes les rues accessibles en x km. Cela donne des surfaces plus faibles, et permet notamment de mieux cibler les aménités, commerces et équipements véritablement accessibles depuis la rue. Le désavantage de cette technique est que les surfaces ainsi créées permettent mal de rendre compte des données non-ponctuelles à l'échelle du quartier (densités, paysages, espaces publics surfaciques).



Tampon de 1km réseau par interpolation radiale
(maille de 15m) ; (« ZAP »)

- La technique des ZAP développée par P. Palmier [2009] et intégrée dans l'utilitaire Mapinfo réseaux.mbx utilise une méthode de maillage du territoire et d'interpolation par projection orthogonale sur le segment de route le plus proche. Cette méthode permet alors d'éviter de sélectionner des parcelles comprises dans le « *polygon-based network buffer* », mais effectivement accessibles par un segment de route trop éloigné du point de départ. Cette méthode permet de plus d'intégrer des emprises intraversables (hydrographie, chemins de fer) qui bloquent l'interpolation. Néanmoins, la traversée de ces emprises est parfois mal gérée par le logiciel, ce qui peut créer quelques biais.

Les résultats obtenus pour les trois techniques, à partir d'un même point d'origine, pour une distance de 1 km sont présentées ci-dessus. On observe que les surfaces obtenues sont clairement différentes du tampon circulaire basique. Des différences sont néanmoins perceptibles entre les trois représentations graphiques. On a choisi la méthode de la ZAP, au vu de ses avantages (elle combine la facilité d'utilisation et la large échelle du tampon polygonal, tout en limitant l'inclusion de certaines emprises intraversables), et afin de se conformer au développement de cette technique en France, tant au sein du ministère que dans le milieu scientifique [F. Héran, 2008 ; 2001]

b) Présentation détaillée de la méthodologie suivie pour la construction des ZAP.

• **Données.**

La couche « route »²⁶ de la BD TOPO® version 2.0 de l'IGN a été utilisée pour représenter le réseau viaire. Cette base de donnée présente le triple intérêt d'être facilement accessible aux services de l'Etat et des collectivités territoriales, d'être exhaustive et détaillée puisqu'elle recense une grande majorité des voies de circulation de nature diverse (publique ou privée) et d'importance variée (de l'autoroute au sentier piétonnier) et enfin d'être relativement fiable (mises à jour fréquentes²⁷). Les routes y sont représentées par des polygones, ce qui convient parfaitement à l'usage escompté. Par contre, un tronçon de route compris entre deux intersections y est souvent représenté par plusieurs vecteurs consécutifs. Cela ne pose pas de souci pour la création de ZAP, mais empêche la mise en évidence précise des intersections (indispensable pour l'indicateur de densité d'intersections).

La couche « ADR Axe Voie » du SIG du Grand Lyon aurait également pu servir pour la constitution des ZAP. Base de donnée à vocation de gestion, elle a été écartée car elle est beaucoup moins précise (la plupart des sentiers piétons et des voies privées n'y sont pas représentées). Par contre, elle a été utilisée pour compter les intersections (couche « ADR Carrefour »).

D'autres couches de la BD TOPO® ont été utilisées pour représenter les obstacles intraversables (aire_triage, troncon_voie_ferree, surface_eau, troncon_cours_eau) lors de l'étape d'interpolation.

• **Protocole utilisé.**

D'abord, les tronçons non accessibles aux piétons (autoroutes, quasi-autoroutes, bretelles de la couche « route » et obstacles intraversables listés ci dessus) ont été distingués des tronçons accessibles.

L'utilitaire de création des ZAP nécessite ensuite une étape de préparation de la couche SIG de tronçons de route. Ces derniers ont été segmentés afin de limiter la présence de tronçons non linéaires, qui perturbent le calcul (utilitaire *segment.mbx*²⁸), et inversés (un double est créé et son sens de numérisation est inversé grâce à l'utilitaire *inverse.mbx*). À chaque tronçon de route correspond alors une série de segments adjacents, eux mêmes composés deux vecteurs superposés de sens opposés.

L'utilitaire *reseau.mbx* a ensuite été utilisé pour générer un graphe : une couche de nœuds et un « fichier réseau » sont créés. Pour chaque segment, les nœuds correspondant aux extrémités sont renseignés.

Ensuite, il a fallu déterminer les points de d'origine à partir desquels les ZAP devaient être calculées pour les 374 zones fines et pôles générateurs de trafic du Grand Lyon. Dans un premier temps, les centroïdes ont été créés. Dans les zones les moins denses où les centroïdes étaient éloignés des espaces bâtis, ils ont été replacés à la main dans des zones d'habitat plus denses. Il s'agissait de créer les ZAP correspondant aux territoires dans lesquels les déplacements avaient le plus de chance se réaliser, et d'éviter d'accentuer artificiellement la différence entre les espaces périphériques et centraux. Les centroïdes ont ensuite été rattaché automatiquement au point du réseau routier accessible aux piétons le plus proche grâce à l'utilitaire « calcul de distance »²⁹.

Une fois les 374 points de départ définis, une procédure de calcul des ZAP individualisée a été effectuée. Pour chaque point de départ, une zone circulaire de 1,5km de rayon est extraite de la couche route, ce qui permet de diminuer sensiblement le temps de calcul. L'algorithme du plus court chemin est exécuté pour calculer la distance entre chaque extrémité de chaque segment et le point de départ.

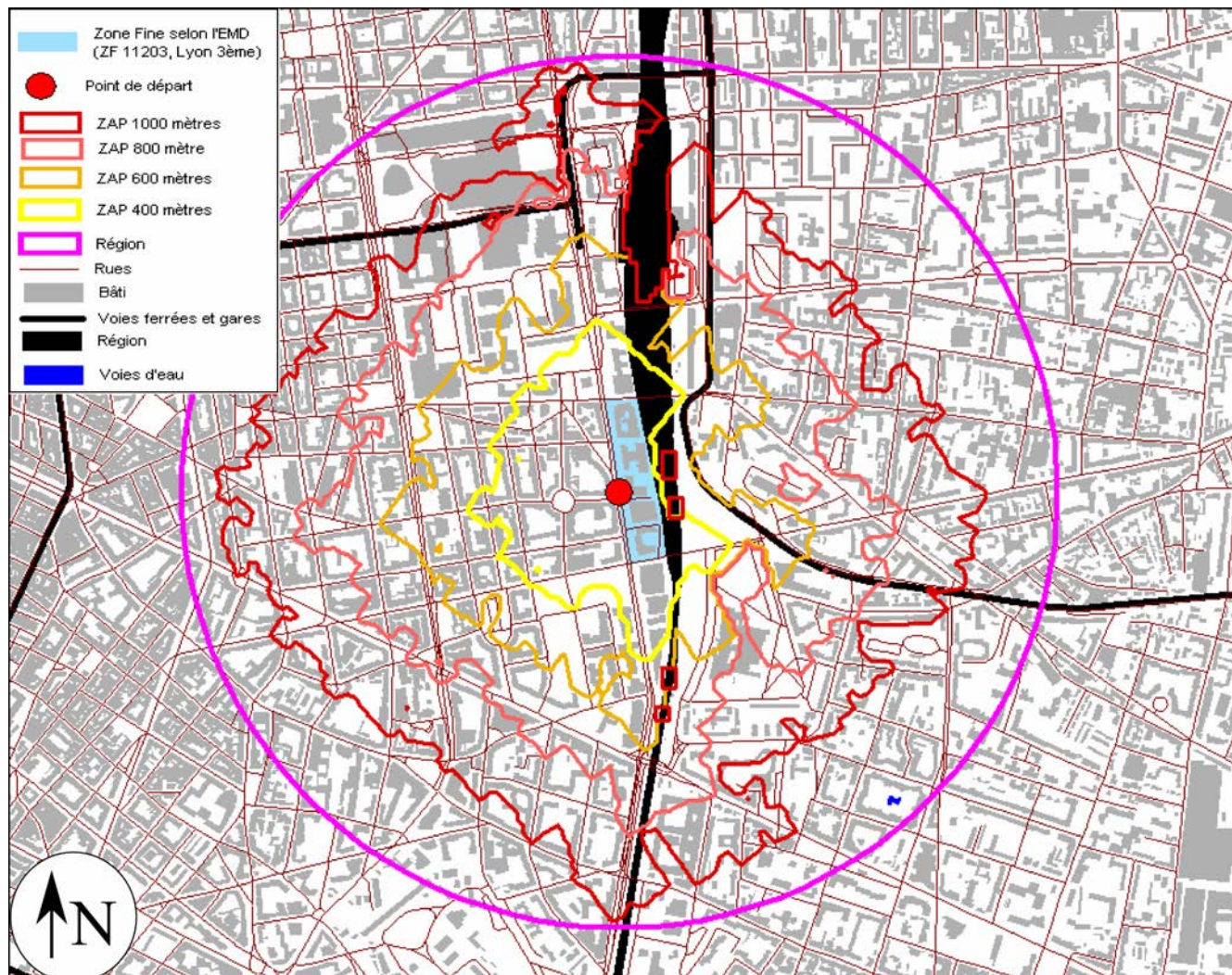
À partir de ces distances, l'interpolation est réalisée sur une grille de maille de 15m, et un rayon de recherche de 500m. Des isosurfaces de 400m, 600m, 800m et 1km sont alors créés, et permettent la création de ZAP, comme on peut l'observer sur la carte ci dessous

26 Au sein de la BD TOPO®, les couches « chemin » et « route nommée » n'ont pas été utilisées car la plupart de leurs données sont déjà présentes dans la couche « route ». C'est cette dernière, plus complète, qui a été utilisée.

27 La plupart des données utilisées a été extraite en 2010-2011.

28 Les utilitaires *segments.mbx*, *inverse.mbx* et *reseau.mbx* ont tout les trois été développés et transmis par Patrick Palmier du CETE Nord-Picardie.

29 Cet utilitaire est intégré dans Mapinfo 7.8, et permet de sélectionner les objets d'une table (ici les noeuds) minimisant la distance avec ceux d'une autre table (ici les centroïdes). Attention, plus les tables sont grandes, plus cette procédure est longue (plus de 24h dans notre cas).



ZAP Lyon 3ème arrondissement

c) **Limites et biais.**

La démarche de création de ZAP présentée ici rencontre plusieurs limites.

D'abord, les données ne décrivent pas parfaitement l'offre de cheminement piéton : en effet, beaucoup de cheminements « informels » et de raccourcis fréquemment utilisés par les lyonnais ne sont pas renseignés dans la BD TOPO®. Ainsi, les cheminements sur dalle (fréquents dans le quartier de la Part Dieu) ou traversant une emprise bâtie (gare, centre commercial, traboules) ne sont pas représentés, ce qui peut constituer un biais (cf. carte ci dessus).

Par ailleurs, malgré la mise à l'écart des autoroutes, quasi-autoroutes et bretelles, certaines voies recensées dans la BD TOPO® ne proposent pas de trottoir, et ne sont pas réellement accessibles aux piétons. Il semble intuitivement qu'elles sont minoritaires, mais on a pas trouvé de moyen pour les écarter ou même vérifier leur importance.

Ensuite, les outils et méthodes présentés ne prennent en compte que la trame d'espace publics linéaires (rues et intersections). Les espaces publics surfaciques (places, parcs, etc.) sont alors considérés par les algorithmes comme des vides à contourner. Le biais est évité pour les parcs dont les allées sont recensées, mais pas pour la place Bellecour, par exemple, qui n'est aucunement prise en compte.

Ensuite, l'étape d'interpolation gère assez mal les traversées d'emprises intraversables (par les ponts et tunnels). Le rayon de recherche de 500m, crée en effet des distorsions, qui amènent par exemple à intégrer une partie des fleuves dans la surface de la ZAP. Au vu du faible nombre de traversées à l'échelle des 374 ZAP, on peut considérer ce problème comme mineur. Mais *a posteriori*, il faudrait choisir un rayon de recherche plus faible, au risque de ne pas bien prendre en compte l'intérieur des parcelles les plus grandes.

d) *Script d'automation.*

Afin de ne pas avoir à reproduire les étapes de création de ZAP 374 fois, sur les conseils de Patrick Palmier, un script d'automation a été réalisé grâce au logiciel AutoHotKey. Il permet de réaliser automatiquement les différentes étapes de création de la ZAP. Les scripts d'automation étant assez sensibles aux caractéristiques du matériel informatique utilisé (système d'exploitation, processeur, moniteur, et chemins de localisation des fichiers), il est possible qu'il ne fonctionne pas directement sur une autre machine et que des réglages fins soient nécessaires. Le script est présenté ci dessous.

```
; Attention, ce script doit être lancé soit avec MapInfo ouvert ET LA FENETRE MAPBASIC OUVERTE, soit avec MapInfo Fermé
; Attention, penser à créer un fichier texte "ZFinGL" comprenant la liste zones fines (un nom par ligne)
; Attention, penser à changer tous les noms de chemins (tant dans le script ahk que dans les scripts MapBasic

Loop, read, C:\Documents and Settings\vincent.chatalic\Bureau\AutoHotKey\ZFinGL.txt
{
    ; Création des variables
    Myvar = %A_LoopReadLine%

    ReseauFin = C:\Documents and Settings\vincent.chatalic\Bureau\SIG_Vincent\EssaiZAP\RoutesGL\5.BaseFinale\ReseauFin.TXT
    Mouvement = C:\Documents and Settings\vincent.chatalic\Bureau\SIG_Vincent\EssaiZAP\RoutesGL\5.BaseFinale\mouvement.mvt
    Acc = C:\Documents and Settings\vincent.chatalic\Bureau\SIG_Vincent\EssaiZAP\RoutesGL\7.ZAP\%Myvar%\Acc%Myvar%.sel
    Grille = C:\Documents and Settings\vincent.chatalic\Bureau\SIG_Vincent\EssaiZAP\RoutesGL\7.ZAP\%Myvar%\Grille%Myvar%.grd
    ZAP = C:\Documents and Settings\vincent.chatalic\Bureau\SIG_Vincent\EssaiZAP\RoutesGL\7.ZAP\%Myvar%\ZAP\%Myvar%

    ; Marquage de sécurité
    FileAppend, %Myvar% --- , C:\Documents and Settings\vincent.chatalic\Bureau\AutoHotKey\Securite.txt

    ; Ouvrir MapInfo;

    IfWinNotExist, MapInfo Professional
    {
        run C:\Program Files\MapInfo\Professional\MAPINFOW.EXE
        WinWait, Démarrage,
        MouseClick, left, 285, 89
        Sleep, 2000

        ; Afficher MapBasic;
        MouseClick, left, 298, 39
        MouseClick, left, 332, 186
    }

    Else
    {
        WinActivate, MapInfo Professional
    }

    ; Etape Préparation des bases autour d'une Zfin %Myvar% précise
    ; Charger ScriptFinA MapBasic dans le Clipboard
    Clipboard =
    (
    Open Table "C:\Documents and Settings\vincent.chatalic\Bureau\SIG_Vincent\EssaiZAP\RoutesGL\5.BaseFinale\NoeudsFin.TAB" Interactive
    Open Table "C:\Documents and Settings\vincent.chatalic\Bureau\SIG_Vincent\EssaiZAP\RoutesGL\5.BaseFinale\RoutesFin.TAB" Interactive

    select * from NoeudsFin where Zfin="%Myvar%" into S%Myvar%
    Select * from RoutesFin where obj within any ( select buffer ( obj , 100 , 1.2 , "km" ) from S%Myvar% ) into Routes%Myvar%
    Select * from NoeudsFin where obj within any ( select buffer ( obj , 100 , 1.2 , "km" ) from S%Myvar% ) into Noeuds%Myvar%

    Commit Table Routes%Myvar% As "C:\Documents and Settings\vincent.chatalic\Bureau\SIG_Vincent\EssaiZAP\RoutesGL\7.ZAP\%Myvar%\Routes%Myvar%.TAB" TYPE NATIVE Charset "WindowsLatin1"
    Commit Table Noeuds%Myvar% As "C:\Documents and Settings\vincent.chatalic\Bureau\SIG_Vincent\EssaiZAP\RoutesGL\7.ZAP\%Myvar%\Noeuds%Myvar%.TAB" TYPE NATIVE Charset "WindowsLatin1"

    Close All Interactive

    Open Table "C:\Documents and Settings\vincent.chatalic\Bureau\SIG_Vincent\EssaiZAP\RoutesGL\7.ZAP\%Myvar%\Noeuds%Myvar%.TAB" Interactive
    Open Table "C:\Documents and Settings\vincent.chatalic\Bureau\SIG_Vincent\EssaiZAP\RoutesGL\7.ZAP\%Myvar%\Routes%Myvar%.TAB" Interactive
    Map From Routes%Myvar%
    set map redraw off
    Add Map Layer Noeuds%Myvar%
    select * from Noeuds%Myvar% where Zfin="%Myvar%" into L%Myvar%
    Run Application "C:\Program Files\MapInfo\Professional\Tools\reseaux.MBX"
    )

    ; Coller et exécuter ScriptA MapBasic ;
    Send ^a
    Sleep, 200
    Send ^v
    Sleep, 200
    Send ^a
    Sleep, 200
    Send {Enter}
```

```

Sleep, 30000

;Etape Accessibilite/Calcul;
WinWait, MapInfo Professional,
IfWinNotActive, MapInfo Professional, , WinActivate, MapInfo Professional,
WinWaitActive, MapInfo Professional,
Sleep, 5000
MouseMove, left, 481, 36
Sleep, 200
MouseMove, left, 490, 148

WinWait, Préparation du fichier de sélection,
IfWinNotActive, Préparation du fichier de sélection, , WinActivate, Préparation du fichier de sélection,
WinWaitActive, Préparation du fichier de sélection,

Sleep, 200
clipboard = %ReseauFin%
Send ^v
clipboard = %Mouvement%
MouseMove, left, 156, 192
Sleep, 200
Send ^v

MouseMove, left, 51, 255
Sleep, 1000
Send {Enter}

WinWait, Créer le fichier sélection,
IfWinNotActive, Créer le fichier sélection, , WinActivate, Créer le fichier sélection,
WinWaitActive, Créer le fichier sélection,
Sleep, 200

clipboard = %Acc%
Send ^v
Sleep, 200
Send {Enter}

WinWait, Avancement
WinWaitClose
WinWait, Avancement
WinWaitClose

;Etape préparation de la table des routes avant la création de grille
;Copier Script B dans Clipboard
Clipboard =
(
Alter Table "Routes%Myvar%" ( add Longa Float,Longb Float ) Interactive
Add Column "Routes%Myvar%" (Longb )From Acc%Myvar% Set To Champ1 Where COL5 = COL10

select * from Routes%Myvar% where longb<>0 AND sens="1" into Ex
Update Ex Set Longa = longb-long
Commit Table Routes%Myvar% Interactive

select * from Routes%Myvar% where longb<>0 OR sens<>"1" into Select
browse * from Select
Run Application "C:\Program Files\MapInfo\Professional\Tools\reseaux.MBX"
)

;Coller et exécuter SceiptB dans Clipboard;
Sleep, 2000
MouseMove, left, 74, 773
Sleep, 200
Send ^a
Sleep, 200
Send ^v
Sleep, 200
Send ^a
Sleep, 200
Send {Enter}

WinWait, Avancement
WinWaitClose
WinWait, Avancement
WinWaitClose
WinWait, Avancement
WinWaitClose

; Etape création de grille

WinWait, MapInfo Professional,
IfWinNotActive, MapInfo Professional, , WinActivate, MapInfo Professional,
WinWaitActive, MapInfo Professional,

Sleep, 2000
MouseMove, left, 478, 38
Sleep, 500
MouseMove, left, 479, 236
Sleep, 500

```



```
MouseDown, left, 632, 256
Sleep, 500
```

```
WinWait, Création d'une grille,
IfWinNotActive, Création d'une grille, , WinActivate, Création d'une grille,
WinWaitActive, Création d'une grille,
Sleep, 500
```

```
Send, 15{TAB}500{TAB}{RIGHT}{RIGHT}{TAB}0.001{TAB}{TAB}{TAB}{TAB}{TAB}s{TAB}l{RIGHT}{RIGHT}{TAB}l{RIGHT}{RIGHT}{RIGHT}{TAB}{TAB}{TAB}{TAB}
{TAB}{TAB}{TAB}l
Sleep, 1000
Send {ENTER}
Sleep, 500
```

```
WinWait, Enregister la grille sous,
IfWinNotActive, Enregister la grille sous, , WinActivate, Enregister la grille sous,
WinWaitActive, Enregister la grille sous,
clipboard = %Grille%
Sleep, 500
Send ^v
Sleep, 1000
Send {Enter}
```

```
WinWait, Avancement
WinWaitClose
Sleep, 500
```

```
WinWait, Avancement
WinWaitClose
Sleep, 2000
```

```
    ; Etape interpolation et création des isochrones
```

```
WinActivate, MapInfo Professional
Sleep, 2000
MouseDown, left, 488, 96
Sleep, 500
WinWait, MapInfo Professional,
IfWinNotActive, MapInfo Professional, , WinActivate, MapInfo Professional,
WinWaitActive, MapInfo Professional,
MouseDown, left, 468, 40
Sleep, 500
MouseDown, left, 575, 239
Sleep, 500
MouseDown, left, 666, 353
```

```
WinWait, Création des surfaces isovaleurs,
IfWinNotActive, Création des surfaces isovaleurs, , WinActivate, Création des surfaces isovaleurs,
WinWaitActive, Création des surfaces isovaleurs,
Sleep, 200
Send, 0.2{TAB}{TAB}{RIGHT}{TAB}0.8{ENTER}
```

```
WinWait, Fichier grille,
IfWinNotActive, Fichier grille, , WinActivate, Fichier grille,
WinWaitActive, Fichier grille,
clipboard = %Grille%
Sleep, 200
Send ^v
Sleep, 200
Send {Enter}
```

```
WinWait, Enregister table sous,
IfWinNotActive, Enregister table sous, , WinActivate, Enregister table sous,
WinWaitActive, Enregister table sous,
clipboard = %ZAP%
Sleep, 200
Send ^v
Sleep, 200
Send {Enter}
```

```
    ; Etape sauvegarde des ZAP
    ; Copier le ScriptC MapBasic dans le Clipboard
```

```
Clipboard =
(
browse * from ZAP%Myvar%
Alter Table "ZAP%Myvar%" ( add Zfin Float ) Interactive
Update ZAP%Myvar% Set Zfin = %Myvar%
Commit Table ZAP%Myvar% Interactive
```

```
Map From ZAP%Myvar%
Set Map Layer 1 Editable On
set map redraw on
```

```
select * from ZAP%Myvar% where Valeur>=0 AND Valeur<=0.6 into Z800
Objects Combine Data Valeur=800,Zfin=Zfin
select * from ZAP%Myvar% where Valeur=800 into Z800
```

```
Open Table "C:\Documents and Settings\vincent.chatalic\Bureau\SIG_Vincent\EssaiZAP\RoutesGL\8.ZAPGlobale\ZAP800.TAB" Interactive
Insert Into ZAP800 ( COL1, COL2) Select COL1, COL2 From Z800
Commit Table ZAP800 Interactive

select * from ZAP%Myvar% where Valeur >=0 into Z1000
Objects Combine Data Valeur=1000,Zfin=Zfin
select * from ZAP%Myvar% where Valeur=1000 into Z1000

Open Table "C:\Documents and Settings\vincent.chatalic\Bureau\SIG_Vincent\EssaiZAP\RoutesGL\8.ZAPGlobale\ZAP1000.TAB" Interactive
Insert Into ZAP1000 ( COL1, COL2) Select COL1, COL2 From Z1000
Commit Table ZAP1000 Interactive
)

WinWait, Avancement
WinWaitClose
WinWait, Avancement
WinWaitClose
WinWait, MapInfo Professional,
IfWinNotActive, MapInfo Professional, , WinActivate, MapInfo Professional,
WinWaitActive, MapInfo Professional,
Sleep, 500

MouseDown, left, 115, 756
Sleep, 100
MouseDown, left, 116, 757
Sleep, 100

Send ^a
Sleep, 200
Send ^v
Sleep, 200
Send ^a
Sleep, 200
Send {Enter}
Sleep, 5000

; Fermer Mapinfo
Clipboard =
(
Close table ZAP%Myvar%
Close All Interactive
Run menu command 113
)
MouseDown, left, 115, 756
Sleep, 100
MouseDown, left, 116, 757
Sleep, 200

Send ^a
Sleep, 200
Send ^v
Sleep, 200
Send ^a
Sleep, 200
Send {Enter}

FileAppend, %Myvar% - , C:\Documents and Settings\vincent.chatalic\Bureau\AutoHotKey\Securite.txt
Sleep, 5000
}
```

ii. Annexe 2 : accessibilité aux équipements, commerces et services.

La production d'indicateurs visant à décrire l'accessibilité à des aménités en termes d'équipements, de commerces et de services a posé de nombreux défis.

Un premier problème est celui de la disponibilité des données, déjà envisagé par B. Gourgand et G. Roche [2009].

Ensuite, la finesse de la géolocalisation des données est particulièrement importante. En effet, pour les besoins de ce travail de recherche, il faut disposer de données finement géolocalisées, si possible à l'adresse. La Base Permanente des Equipements (BPE), qui semblait parfaite pour cette enquête, n'est accessible au public qu'à l'échelle de l'IRIS. Il est dommage que l'INSEE ne permette pas l'accès à des données géolocalisées (qui existent) pour des buts de recherche, alors même que le CERTU est un organisme participant à l'alimentation de cette base. Les bases de données Google Map possèdent également des données assez précises finement géolocalisées, notamment utilisées par dans l'algorithme de calcul de l'indice de marchabilité Walkscore. Malheureusement, ces données ne sont pas fiables en France (la catégorie « éducation » comporte principalement des adresses de cours particulier, mais pas d'écoles publiques, et la catégorie « parcs et jardins » rassemble principalement des jardiniers et paysagistes professionnels, mais aucun des squares lyonnais). Une tentative de contact de l'équipe travaillant sur l'indicateur Walkscore s'est d'ailleurs soldée par une réponse expliquant que les données produites par le site internet ne sont pas fiables pour la France et sont donc impropres à l'utilisation dans un travail de recherche. Par chance, le CERTU disposait d'une base de données SIRENE datant de 2006 finement géolocalisée, qu'on a complétée par des données sur les équipements culturels dans le territoire du Grand Lyon produites par l'agence d'urbanisme de Lyon.

La troisième difficulté a été de décider d'une typologie permettant d'appréhender la diversité des équipements, commerces et services, et leur différence d'importance dans la vie quotidienne, et leur degré de rayonnement à l'échelle territoriale. Après avoir exploré plusieurs typologies (gamme d'équipements de la BPE, typologie de la FNAU, hiérarchisation de l'IAU [S. Albe-Tersiguel et al., 2008]), il est apparu qu'il n'existait aucune typologie de référence parfaitement adaptée à nos besoins. On a alors décidé de produire notre propre typologie en 10 catégories : commerces alimentaires ; commerces non-alimentaires ; grandes surfaces ; service à la personne ; santé ; restauration ; équipements administratifs ; équipements sportifs ; équipements culturels ; équipements scolaires. Le détail des aménités comptées pour chaque catégorie est présenté dans le tableau ci-dessous. Les aménités sont nommées par le numéro APET700 qui permet de les repérer dans la base SIRENE.

Enfin, la création d'un indicateur utile a été complexe. Le but était de produire un indicateur susceptible de refléter à la fois le nombre et la diversité des aménités accessibles. Cependant, il est difficile d'utiliser directement le nombre de commerces accessibles, car les différences entre zones fines sont énormes (pour la catégorie commerces non-alimentaires, on peut passer de 0 à plus de 500 commerces accessibles). De plus, on peut supposer que seuls les premiers commerces sont vraiment utiles pour les résidents (un habitant sera particulièrement sensible à l'accès à dix commerces de proximité plutôt que cinq, et verra moins l'importance d'un passage de 10 à 30 commerces accessibles). Au sein de chaque ZAP, on a donc compté le nombre d'aménités par catégories, puis calculé la racine carrée de ce nombre dans chaque catégorie, puis on a sommé ces dix nombres. Cette manipulation permet à la fois de limiter l'importance des aménités à forte amplitude, et d'accorder un poids aux territoires équipés d'aménités provenant de plusieurs catégories différentes. Cette méthode a donc été utilisée pour produire un indice synthétique de **concentration en équipements, commerces et services**.

Pour compléter cette mesure, la **diversité des aménités** a ensuite été calculée en fonction du nombre de catégories présentant au moins un équipement sur le territoire (sur une échelle de 0 à 10).

ComAl
Commerces alimentaires spécialisés (détail alimentaires, boulangeries, charcuteries, supérette, supermarchés)
APET700 : 1013B ; 1071* : 4711A ; 4711B ; 4711C ; 472**
ComNonAl
Commerces non-alimentaires spécialisés (autres) ;
APET700 : 474** ; 475** ; 476** ; 4771* ; 4772* ; 4775* ; 4776* ; 4777* ; 4778* ; 4779*
ComGS
Commerce multiples (supermarchés)
4711D ; 4711E ; 4711F ; 4719A ;
Serv
Service à la personne (coiffure, beauté, agence voyage, etc.) ;
APET700 : 6831Z ; 75*** ; 772** ; 79*** ; 8553Z ; 8559A ; 8560Z ; 95*** ; 9601B ; 9602A ; 9602B ; 9603Z ; 9604Z ; 9609Z
Sante
Santé (médecins généralistes, dentistes, pharmacie)
APET700 : 4773Z ; 8621Z ; 8623Z
Resto
Restauration (restos, bars)
APET700 : 56*** ;
Admin
Équipements administratifs (banques, postes);
APET700 : 53*** ; 6419Z ;
Sport
Activités sportives, récréatives et de loisir ;
APET700 : 93***
Scol
Équipements scolaires ;
APET700 : 851** ; 852** ; 853** ; 854**
Cult
Équipements culturels ;
Base de donnée Urbalyon.

iii. Annexe 3 : dictionnaire des variables spatiales.

Cette annexe présente synthétiquement les indicateurs utilisés dans ce travail de recherche. Dans les exploitations, le nom des variables est généralement suivi d'un nombre (400, 600, 800 ou 1000) indiquant l'échelle de la ZAP ou de la zone tampon utilisée pour construire la variable. Quand un nom de variable est suivi du sigle RC, cela signifie que ses valeurs ont été transformées par la fonction racine carrée.

	Nom de la variable	Nature de l'indicateur	Données	Périmètre de mesure	Formule de calcul	Unité
Topologie du réseau viaire						
	Pedshed	Accessibilité du territoire par le réseau viaire piétonnier	BD-Topo (IGN)	ZAP	(aire du tampon circulaire / aire de la ZAP)*100	(pourcentage)
	Densintersect	Densité d'intersections	SIG voirie du GrandLyon	ZAP	(nombre d'intersections / aire de la ZAP)	nombre d'intersections par km2
Caractéristiques urbanistiques.						
	DensPop_ZAP	Densité de population	Carroyage de la population (INSEE)	ZAP	(population pondérée / aire de la ZAP)	habitant par km2
	DensPop_Circ	Densité de population	Carroyage de la population (INSEE)	Tampon circulaire	(population pondérée / aire d'un cercle)	habitant par km2
	HauteurMoyPond	Hauteur moyenne du bâti	BD-Topo (IGN)	ZAP	moyenne de la hauteur de bâtiments pondérée par leur surface	m
	PropBat	Proportion d'espace bâti	BD-Topo (IGN)	ZAP	(surface bâtie/aire de la ZAP)*100	(pourcentage)
	DensBat	Densité bâtie	BD-Topo (IGN)	ZAP	((surface de bâti * hauteur du bâti)/aire de la ZAP)	m3 par km2
Accessibilité des commerces et équipements						
	ECSTotalRC	Concentration en équipements commerces et services	Base SIRENE (INSEE) SIG Grand-Lyon SIG UrbaLyon	ZAP	Voire Annexe 2	-
	ECSMixite	Diversité en équipements, commerces et services	Base SIRENE (INSEE) SIG Grand-Lyon SIG UrbaLyon	ZAP	Voire Annexe 2	-
Aménagement des espaces publics						
	PropVoirie	Part des rues réservées aux piétons	SIG voirie du GrandLyon	ZAP	(surface de trottoir/(surface de trottoir + surface de chaussée))*100	(pourcentage)
	Propveg	Couverture végétale	G. Bruyat [2011]	ZAP	(surface de végétation/aire de la ZAP)*100	(pourcentage)
	PropEPSurf	Proportion d'espaces publics surfaciques	SIG UrbaLyon	ZAP	(somme des aires d'espaces publics Surfâciques / aire de la ZAP)*100	(pourcentage)
Offre de déplacements.						
	TC	Densité de stations de transports en commun	SIG voirie du GrandLyon	ZAP	nombre de stations TC pondérées par leur importance	-
	Velov	Densité de stations Velo'v	SIG voirie du GrandLyon	ZAP	nombre de stations Vélo'V	-

iv. Annexe 4 : Sélection des indicateurs spatiaux les plus pertinents : résultat des régressions logistiques.

Cette annexe présente une compilation des résultats des régressions logistiques reliant la variable dépendante « mode de déplacement piétonnier ou motorisé » à un jeu de variables explicatives socio-démographiques (modèle de base présenté en III.2) et à un indicateur spatial. Une régression indépendante est effectuée pour chaque indicateur spatial. La méthodologie utilisée et l'analyse des résultats sont détaillées en III.3.

Pour chaque indicateur spatial, les différents critères utilisés pour la sélection du modèle le plus pertinent ont été reportés : significativité globale du modèle (Likelihood Ratio), significativité de l'indicateur introduit (test de Wald), pouvoir explicatif global du modèle (-2LogLikelihood) et l'odds ratio associé à l'indicateur spatial.

Quand la relation entre l'indicateur et le choix modal piétonnier adopte une forme non-linéaire, et que le recours à une transformation (passage à la racine carrée) semble nécessaire, les résultats de la régression avec une telle variable sont également présentés dans la colonne de droite. Une étoile indique quand cette transformation ne semble pas nécessaire et n'a pas été réalisée.

Les régressions ont été effectuées sur le panel d'enquête complet et les deux sous-populations de déplacements étudiées (provenant respectivement d'espaces centraux et périphériques). Les résultats pour ces trois échantillons sont présentés successivement. Les données ont été préalablement normalisées, les odds ratio s'interprètent donc comme l'effet d'une variation d'un écart type sur les chances qu'un déplacement se fasse à pied plutôt que dans un autre mode.

Pour chaque groupe de variables étudié, on a surligné en rouge les indicateurs non significatifs et en jaune les indicateurs sélectionnés comme pertinents.

Dans un dernier temps, on a présenté les odds ratio correspondant aux indicateurs sélectionnés pour la population complète, sur des données non normalisées. Cela permet d'interpréter les odds ratio de manière plus concrète.

a) **Échantillon complet.**

Indicateurs simples	Significativité Globale (LR)	Significativité de l'indicateur (Wald)	Pouvoir explicatif du modèle (-2LL)	Odds Ratio	Indicateurs transformés (racine carrée)	Significativité Globale (LR)	Significativité de l'indicateur (Wald)	Pouvoir explicatif du modèle (-2LL)	Odds Ratio
Pedshed400	<.0001	<.0001	25557.518	1.316	*	*	*	*	*
Pedshed600	<.0001	<.0001	25474.944	1.359	*	*	*	*	*
Pedshed800	<.0001	<.0001	25425.475	1.384	*	*	*	*	*
Pedshed1000	<.0001	<.0001	25368.497	1.412	*	*	*	*	*
Densintersect_400	<.0001	<.0001	25480.781	1.372	Densintersect_400RC	<.0001	<.0001	25455.6	1.376
Densintersect_600	<.0001	<.0001	25400.05	1.421	Densintersect_600RC	<.0001	<.0001	25404.867	1.407
Densintersect_800	<.0001	<.0001	25259.719	1.494	Densintersect_800RC	<.0001	<.0001	25245.737	1.488
Densintersect_1000	<.0001	<.0001	25142.947	1.551	Densintersect_1000RC	<.0001	<.0001	25097.77	1.56
Propveg_400	<.0001	<.0001	25863.732	0.943	*	*	*	*	*
Propveg_600	<.0001	<.0001	25846.009	0.918	*	*	*	*	*
Propveg_800	<.0001	<.0001	25821.94	0.893	*	*	*	*	*
Propveg_1000	<.0001	<.0001	25787.819	0.867	*	*	*	*	*
TC_400	<.0001	<.0001	25488.798	1.386	TC_400RC	<.0001	<.0001	25411.505	1.403
TC_600	<.0001	<.0001	25370.152	1.451	TC_600RC	<.0001	<.0001	25272.098	1.482
TC_800	<.0001	<.0001	25128.877	1.571	TC_800RC	<.0001	<.0001	24990.794	1.614
TC_1000	<.0001	<.0001	24941.571	1.65	TC_1000RC	<.0001	<.0001	24815.46	1.684
Velov_400	<.0001	<.0001	25206.328	1.528	Velov_400RC	<.0001	<.0001	25031.819	1.585
Velov_600	<.0001	<.0001	24956.928	1.646	Velov_600RC	<.0001	<.0001	24791.398	1.689
Velov_800	<.0001	<.0001	24936.794	1.655	Velov_800RC	<.0001	<.0001	24749.265	1.706
Velov_1000	<.0001	<.0001	24890.399	1.67	Velov_1000RC	<.0001	<.0001	24715.119	1.717
PropBat_400	<.0001	<.0001	25171.227	1.525	*	*	*	*	*
PropBat_600	<.0001	<.0001	24980.885	1.607	*	*	*	*	*
PropBat_800	<.0001	<.0001	24858.663	1.655	*	*	*	*	*
PropBat_1000	<.0001	<.0001	24784.942	1.683	*	*	*	*	*
HauteurMoyPond_400	<.0001	<.0001	24851.751	1.663	HauteurMoyPond_400RC	<.0001	<.0001	24811.522	1.672
HauteurMoyPond_600	<.0001	<.0001	24740.277	1.712	HauteurMoyPond_600RC	<.0001	<.0001	24692.245	1.722
HauteurMoyPond_800	<.0001	<.0001	24674.943	1.745	HauteurMoyPond_800RC	<.0001	<.0001	24621.578	1.757
HauteurMoyPond_1000	<.0001	<.0001	24660.241	1.75	HauteurMoyPond_1000RC	<.0001	<.0001	24604.15	1.764
DensBat_400	<.0001	<.0001	24939.842	1.654	DensBat_400RC	<.0001	<.0001	24850.505	1.671
DensBat_600	<.0001	<.0001	24816.542	1.703	DensBat_600RC	<.0001	<.0001	24724.584	1.723
DensBat_800	<.0001	<.0001	24711.167	1.743	DensBat_800RC	<.0001	<.0001	24616.304	1.765
DensBat_1000	<.0001	<.0001	24674.637	1.755	DensBat_1000RC	<.0001	<.0001	24573.929	1.78
Denspop_Circ400	<.0001	<.0001	24663.848	1.758	Denspop_Circ400RC	<.0001	<.0001	24564.232	1.774
Denspop_Circ600	<.0001	<.0001	24621.579	1.772	Denspop_Circ600RC	<.0001	<.0001	24498.576	1.801
Denspop_Circ800	<.0001	<.0001	24608.117	1.771	Denspop_Circ800RC	<.0001	<.0001	24479.932	1.806
Denspop_Circ1000	<.0001	<.0001	24590.253	1.776	Denspop_Circ1000RC	<.0001	<.0001	24460.916	1.812
Denspop_ZAP400	<.0001	<.0001	24756.405	1.717	Denspop_ZAP400RC	<.0001	<.0001	24680.712	1.724
Denspop_ZAP600	<.0001	<.0001	24617.466	1.769	Denspop_ZAP600RC	<.0001	<.0001	24541.042	1.776
Denspop_ZAP800	<.0001	<.0001	24581.509	1.78	Denspop_ZAP800RC	<.0001	<.0001	24477.387	1.802
Denspop_ZAP1000	<.0001	<.0001	24553.536	1.789	Denspop_ZAP1000RC	<.0001	<.0001	24429.043	1.822
PropVoirie_1000	<.0001	<.0001	25344.754	1.431	*	*	*	*	*
ECSTotalRC_400	<.0001	<.0001	25035.348	1.602	ECSTotalRCRC_400	<.0001	<.0001	24992.027	1.596
ECSTotalRC_600	<.0001	<.0001	24942.896	1.643	ECSTotalRCRC_600	<.0001	<.0001	24914.349	1.632
ECSTotalRC_800	<.0001	<.0001	24837.454	1.69	ECSTotalRCRC_800	<.0001	<.0001	24757.753	1.704
ECSTotalRC_1000	<.0001	<.0001	24769.164	1.721	ECSTotalRCRC_1000	<.0001	<.0001	24647.208	1.756
ECSMixite_400	<.0001	<.0001	25189.524	1.49	*	*	*	*	*
ECSMixite_600	<.0001	<.0001	25231.455	1.467	*	*	*	*	*
ECSMixite_800	<.0001	<.0001	25153.459	1.503	*	*	*	*	*
ECSMixite_1000	<.0001	<.0001	25192.263	1.494	*	*	*	*	*
PropEPSurf_400	<.0001	<.0001	25625.889	1.367	*	*	*	*	*
PropEPSurf_600	<.0001	<.0001	25612.807	1.401	*	*	*	*	*
PropEPSurf_800	<.0001	<.0001	25583.179	1.397	*	*	*	*	*
PropEPSurf_1000	<.0001	<.0001	25555.153	1.399	*	*	*	*	*

b) Échantillon de déplacements provenant d'espaces centraux.

Indicateurs simples	Significativité Globale (LR)	Significativité de l'indicateur (Wald)	Pouvoir explicatif du modèle (-2LL)	Odds Ratio	Indicateurs transformés (racine carrée)	Significativité Globale (LR)	Significativité de l'indicateur (Wald)	Pouvoir explicatif du modèle (-2LL)	Odds Ratio
Pedshed400	<.0001	<.0001	17709.919	1.245	*	*	*	*	*
Pedshed600	<.0001	<.0001	17683.285	1.271	*	*	*	*	*
Pedshed800	<.0001	<.0001	17672.675	1.28	*	*	*	*	*
Pedshed1000	<.0001	<.0001	17663.061	1.29	*	*	*	*	*
Densintersect_400	<.0001	<.0001	17643.051	1.325	Densintersect_400RC	<.0001	<.0001	17626.888	1.332
Densintersect_600	<.0001	<.0001	17637.851	1.333	Densintersect_600RC	<.0001	<.0001	17627.05	1.337
Densintersect_800	<.0001	<.0001	17607.657	1.361	Densintersect_800RC	<.0001	<.0001	17596.021	1.367
Densintersect_1000	<.0001	<.0001	17599.084	1.369	Densintersect_1000RC	<.0001	<.0001	17583.099	1.378
Propveg_400	<.0001	<.0001	17800.381	0.894	*	*	*	*	*
Propveg_600	<.0001	<.0001	17793.274	0.884	*	*	*	*	*
Propveg_800	<.0001	<.0001	17778.248	0.865	*	*	*	*	*
Propveg_1000	<.0001	<.0001	17767.229	0.853	*	*	*	*	*
TC_400	<.0001	<.0001	17745.289	1.212	TC_400RC	<.0001	<.0001	17730.966	1.224
TC_600	<.0001	<.0001	17707.515	1.26	TC_600RC	<.0001	<.0001	17691.145	1.273
TC_800	<.0001	<.0001	17640.496	1.332	TC_800RC	<.0001	<.0001	17622.133	1.344
TC_1000	<.0001	<.0001	17581.123	1.386	TC_1000RC	<.0001	<.0001	17571.219	1.389
Velov_400	<.0001	<.0001	17677.532	1.291	Velov_400RC	<.0001	<.0001	17644.389	1.317
Velov_600	<.0001	<.0001	17564.561	1.402	Velov_600RC	<.0001	<.0001	17535.087	1.415
Velov_800	<.0001	<.0001	17554.502	1.411	Velov_800RC	<.0001	<.0001	17518.957	1.429
Velov_1000	<.0001	<.0001	17538.8	1.423	Velov_1000RC	<.0001	<.0001	17509.5	1.435
PropBat_400	<.0001	<.0001	17618.308	1.347	*	*	*	*	*
PropBat_600	<.0001	<.0001	17568.283	1.39	*	*	*	*	*
PropBat_800	<.0001	<.0001	17527.078	1.422	*	*	*	*	*
PropBat_1000	<.0001	<.0001	17480.638	1.459	*	*	*	*	*
HauteurMoyPond_400	<.0001	<.0001	17588.043	1.369	HauteurMoyPond_400RC	<.0001	<.0001	17576.371	1.377
HauteurMoyPond_600	<.0001	<.0001	17560.643	1.413	HauteurMoyPond_600RC	<.0001	<.0001	17524.971	1.423
HauteurMoyPond_800	<.0001	<.0001	17515.341	1.436	HauteurMoyPond_800RC	<.0001	<.0001	17504.209	1.442
HauteurMoyPond_1000	<.0001	<.0001	17512.628	1.438	HauteurMoyPond_1000RC	<.0001	<.0001	17501.987	1.444
DensBat_400	<.0001	<.0001	17557.866	1.41	DensBat_400RC	<.0001	<.0001	17539.89	1.418
DensBat_600	<.0001	<.0001	17512.757	1.447	DensBat_600RC	<.0001	<.0001	17495.617	1.454
DensBat_800	<.0001	<.0001	17467.437	1.481	DensBat_800RC	<.0001	<.0001	17446.045	1.493
DensBat_1000	<.0001	<.0001	17446.143	1.497	DensBat_1000RC	<.0001	<.0001	17417.708	1.514
Denspop_Circ400	<.0001	<.0001	17514.457	1.438	Denspop_Circ400RC	<.0001	<.0001	17520.788	1.421
Denspop_Circ600	<.0001	<.0001	17500.513	1.449	Denspop_Circ600RC	<.0001	<.0001	17494.448	1.445
Denspop_Circ800	<.0001	<.0001	17497.804	1.449	Denspop_Circ800RC	<.0001	<.0001	17486.074	1.453
Denspop_Circ1000	<.0001	<.0001	17485.498	1.459	Denspop_Circ1000RC	<.0001	<.0001	17471.955	1.465
Denspop_ZAP400	<.0001	<.0001	17553.749	1.403	Denspop_ZAP400RC	<.0001	<.0001	17564.917	1.382
Denspop_ZAP600	<.0001	<.0001	17499.332	1.446	Denspop_ZAP600RC	<.0001	<.0001	17511.57	1.425
Denspop_ZAP800	<.0001	<.0001	17490.21	1.452	Denspop_ZAP800RC	<.0001	<.0001	17486.997	1.446
Denspop_ZAP1000	<.0001	<.0001	17475.627	1.464	Denspop_ZAP1000RC	<.0001	<.0001	17457.68	1.471
PropVoirie_1000	<.0001	<.0001	17769.87	1.171	*	*	*	*	*
ECSTotalRC_400	<.0001	<.0001	17577.429	1.389	ECSTotalRC_400RC	<.0001	<.0001	17569.455	1.384
ECSTotalRC_600	<.0001	<.0001	17560.213	1.403	ECSTotalRC_600RC	<.0001	<.0001	17555.011	1.399
ECSTotalRC_800	<.0001	<.0001	17520.424	1.437	ECSTotalRC_800RC	<.0001	<.0001	17496.778	1.45
ECSTotalRC_1000	<.0001	<.0001	17507.047	1.449	ECSTotalRC_1000RC	<.0001	<.0001	17478.687	1.468
ECSMixite_400	<.0001	<.0001	17652.208	1.298	*	*	*	*	*
ECSMixite_600	<.0001	<.0001	17676.737	1.272	*	*	*	*	*
ECSMixite_800	<.0001	<.0001	17614.624	1.329	*	*	*	*	*
ECSMixite_1000	<.0001	<.0001	17690.862	1.256	*	*	*	*	*
PropEPSurf_400	<.0001	<.0001	17776.468	1.182	*	*	*	*	*
PropEPSurf_600	<.0001	<.0001	17792.21	1.154	*	*	*	*	*
PropEPSurf_800	<.0001	<.0001	17795.499	1.145	*	*	*	*	*
PropEPSurf_1000	<.0001	<.0001	17802.578	1.129	*	*	*	*	*

c) Échantillon de déplacements provenant d'espaces périphériques.

Indicateurs simples	Significativité Globale (LR)	Significativité de l'indicateur (Wald)	Pouvoir explicatif du modèle (-2LL)	Odds Ratio (données normalisées)	Indicateurs transformés (racine carrée)	Significativité Globale (LR)	Significativité de l'indicateur (Wald)	Pouvoir explicatif du modèle (-2LL)	Odds Ratio (données Normalisées)
Pedshed400	<.0001	0.9304	6978.266	1.002	*	*	*	*	*
Pedshed600	<.0001	0.5517	6977.92	1.015	*	*	*	*	*
Pedshed800	<.0001	0.4509	6977.705	1.019	*	*	*	*	*
Pedshed1000	<.0001	0.0884	6975.37	1.044	*	*	*	*	*
Densintersect_400	<.0001	0.0012	6967.735	1.087	Densintersect_400Rc	<.0001	0.0003	6965.395	1.096
Densintersect_600	<.0001	0.1167	6975.811	1.041	Densintersect_600RC	<.0001	0.1638	6976.333	1.036
Densintersect_800	<.0001	0.0266	6973.356	1.058	Densintersect_800RC	<.0001	0.0152	6972.371	1.064
Densintersect_1000	<.0001	0.0007	6966.654	1.09	Densintersect_1000RC	<.0001	0.0002	6964.189	1.1
Propveg_400	<.0001	<.0001	6930.176	1.189	*	*	*	*	*
Propveg_600	<.0001	<.0001	6929.262	1.191	*	*	*	*	*
Propveg_800	<.0001	<.0001	6925.905	1.198	*	*	*	*	*
Propveg_1000	<.0001	<.0001	6932.984	1.183	*	*	*	*	*
TC_400	<.0001	0.0017	6968.448	1.082	TC_400RC	<.0001	0.0077	6971.15	1.07
TC_600	<.0001	0.1791	6976.462	1.034	TC_600RC	<.0001	0.0406	6974.068	1.053
TC_800	<.0001	<.0001	6945.582	1.158	TC_800RC	<.0001	<.0001	6938.57	1.174
TC_1000	<.0001	<.0001	6926.802	1.199	TC_1000RC	<.0001	<.0001	6926.225	1.201
PropBat_400	<.0001	<.0001	6947.506	0.864	*	*	*	*	*
PropBat_600	<.0001	<.0001	6967.358	0.919	*	*	*	*	*
PropBat_800	<.0001	<.0001	6966.43	0.916	*	*	*	*	*
PropBat_1000	<.0001	<.0001	6956.716	0.887	*	*	*	*	*
HauteurMoyPond_400	<.0001	0.044	6974.215	1.052	*	*	*	*	*
HauteurMoyPond_600	<.0001	0.0061	6970.768	1.072	*	*	*	*	*
HauteurMoyPond_800	<.0001	<.0001	6959.36	1.116	*	*	*	*	*
HauteurMoyPond_1000	<.0001	<.0001	6955.721	1.128	*	*	*	*	*
DensBat_400	<.0001	0.0711	6975.002	0.954	*	*	*	*	*
DensBat_600	<.0001	0.9484	6978.27	1.002	*	*	*	*	*
DensBat_800	<.0001	0.8981	6978.257	1.003	*	*	*	*	*
DensBat_1000	<.0001	0.2282	6976.819	0.969	*	*	*	*	*
Denspop_Circ400	<.0001	<.0001	6915.363	1.225	*	*	*	*	*
Denspop_Circ600	<.0001	<.0001	6899.031	1.256	*	*	*	*	*
Denspop_Circ800	<.0001	<.0001	6902.76	1.248	*	*	*	*	*
Denspop_Circ1000	<.0001	<.0001	6908.398	1.237	*	*	*	*	*
Denspop_ZAP400	<.0001	<.0001	6930.079	1.193	*	*	*	*	*
Denspop_ZAP600	<.0001	<.0001	6914.771	1.225	*	*	*	*	*
Denspop_ZAP800	<.0001	<.0001	6896.396	1.26	*	*	*	*	*
Denspop_ZAP1000	<.0001	<.0001	6894.084	1.264	*	*	*	*	*
ECSTotalRC_400	<.0001	<.0001	6961.234	1.11	*	*	*	*	*
ECSTotalRC_600	<.0001	<.0001	6958.646	1.118	*	*	*	*	*
ECSTotalRC_800	<.0001	<.0001	6961.552	1.109	*	*	*	*	*
ECSTotalRC_1000	<.0001	<.0001	6942.918	1.162	*	*	*	*	*

d) Échantillon complet non normalisé.

Indicateurs	Odds Ratio (non normalisé)
Pedshed1000	1.031
Densintersect_1000	1.008
Propveg_1000	0.986
TC_1000RC	1.111
Velov_1000RC	1.307
PropBat_1000	1.054
HauteurMoyPond_1000	1.128
DensBat_1000	1.281
Denspop_ZAP1000 (*)	1.096
PropVoirie_1000	1.077
ECSTotalRC_1000	1.015
ECSMixite_800	1.227
PropEPSurf_1000	1.069

(*) : la densité de population a été divisée par 1000 afin de pouvoir percevoir l'effet dans l'odds ratio.

v. Annexe 5 : Modèles détaillés.

Cette annexe présente de manière détaillée le résultats produits par SAS pour les régressions logistiques sélectionnées comme modèles les plus pertinents.

a) *Modèle de base (variables socio-démographiques uniquement).*

Data Set	VINCENT.DEPL3	Weight Variable	Coef
Response Variable	MAP	Sum of Weights	23723.000057
Probability modeled	MAP=0	Model	Binary logit
Number of Observations	23723	Optimization	Fisher's scoring

Model Fit Statistics		
Criterion	Intercept Only	Intercept and Covariates
AIC	31104.78	25896.9
SC	31112.855	25969.568
-2 Log L	31102.78	25878.9

Testing Global Null Hypothesis: BETA=0			
Test	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq
Likelihood Ratio	5223.8804	8	<.0001
Score	4844.0552	8	<.0001
Wald	3960.7735	8	<.0001

Analysis of Maximum Likelihood Estimates						
Parameter		DF	Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept		1	2.5654	0.0494	2692.3903	<.0001
DIST		1	-1.7525	0.0309	3227.1817	<.0001
Sexe	1	1	-0.1156	0.0154	56.4898	<.0001
AgeC	70	1	1.0904	0.0581	352.355	<.0001
AgeC	-15	1	-0.3513	0.0663	28.0901	<.0001
AgeC	15-34	1	0.2418	0.0416	33.7653	<.0001
AgeC	55-69	1	0.5797	0.0481	145.2811	<.0001
TxMotorisation		1	-1.0587	0.0507	436.7016	<.0001
Permis	0	1	0.3963	0.0267	221.0573	<.0001

Odds Ratio Estimates			
Effect	Point Estimate	95% Wald Confidence Limits	
DIST	0.173	0.163	0.184
Sexe 1 vs 2	0.794	0.747	0.843
AgeC +70 vs 35-54	2.976	2.655	3.334
AgeC -15 vs 35-54	0.704	0.618	0.801
AgeC 15-34 vs 35-54	1.274	1.174	1.382
AgeC 55-69 vs 35-54	1.786	1.625	1.962
TxMotorisation	0.347	0.314	0.383
Permis 0 vs 1	2.209	1.99	2.453

Association of Predicted Probabilities and Observed Responses			
Percent Concordant	76.8	Somers' D	0.539
Percent Discordant	22.9	Gamma	0.54
Percent Tied	0.2	Tau-a	0.257
Pairs	133963752	c	0.769

b) *Modèle complet.*

Model Information			
Data Set	VINCENT.DEPL3	Weight Variable	Coef
Response Variable	MAP	Sum of Weights	23723.000057
Probability modeled	MAP=0	Model	Binary logit
Number of Observations	23723	Optimization	Fisher's scoring

Model Fit Statistics		
Criterion	Intercept Only	Intercept and Covariates
AIC	31104.780	24308.766
SC	31112.855	24421.805
-2 Log L	31102.780	24280.766

Testing Global Null Hypothesis: BETA=0			
Test	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq
Likelihood Ratio	6822.0146	13	<.0001
Score	6144.6088	13	<.0001
Wald	4736.3803	13	<.0001

Analysis of Maximum Likelihood Estimates						
Parameter		DF	Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept		1	0.4430	0.1300	11.6017	0.0007
DIST		1	-1.7694	0.0318	3091.7000	<.0001
Sexe	1	1	-0.1289	0.0160	64.8951	<.0001
AgeC	70	1	1.0095	0.0639	249.7442	<.0001
AgeC	-15	1	-0.2328	0.0695	11.2096	0.0008
AgeC	15-34	1	0.1801	0.0435	17.1686	<.0001
AgeC	55-69	1	0.5571	0.0524	112.9229	<.0001
TxMotorisation		1	-0.9978	0.0564	312.6399	<.0001
Permis	0	1	0.4654	0.0277	281.7173	<.0001
Abonnement	0	1	0.1410	0.0212	44.2822	<.0001
NbMenage		1	-0.0845	0.0130	41.9843	<.0001
Denspop_ZAP1000RC		1	0.0145	0.000944	235.9429	<.0001
HauteurMoyPond_1000RC		1	0.2473	0.0463	28.4641	<.0001
PropVeg_1000		1	0.00776	0.00173	20.0569	<.0001

Odds Ratio Estimates			
Effect	Point Estimate	95% Wald Confidence Limits	
DIST	0.170	0.160	0.181
Sexe 1 vs 2	0.773	0.726	0.823
AgeC +70 vs 35-54	2.744	2.421	3.110
AgeC -15 vs 35-54	0.792	0.691	0.908
AgeC 15-34 vs 35-54	1.197	1.100	1.304
AgeC 55-69 vs 35-54	1.746	1.575	1.934
TxMotorisation	0.369	0.330	0.412
Permis 0 vs 1	2.536	2.275	2.828
Abonnement 0 vs 1	1.326	1.220	1.441
NbMenage	0.919	0.896	0.943
Denspop_ZAP1000RC	1.015	1.013	1.016
HauteurMoyPond_1000RC	1.281	1.169	1.402
PropVeg_1000	1.008	1.004	1.011

Association of Predicted Probabilities and Observed Responses			
Percent Concordant	80.2	Somers' D	0.606
Percent Discordant	19.6	Gamma	0.608
Percent Tied	0.2	Tau-a	0.289
Pairs	133963752	c	0.803

c) **Modèle pour les espaces centraux.**

Model Information			
Data Set	VINCENT.DEPL40	Weight Variable	Coef
Response Variable	MAP	Sum of Weights	17481.369256
Probability modeled	MAP=0	Model	Binary logit
Number of Observations	15303	Optimization	Fisher's scoring

Model Fit Statistics		
Criterion	Intercept Only	Intercept and Covariates
AIC	21208.226	17349.842
SC	21215.862	17464.379
-2 Log L	21206.226	17319.842

Testing Global Null Hypothesis: BETA=0			
Test	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq
Likelihood Ratio	3886.384	14	<.0001
Score	3675.5173	14	<.0001
Wald	2910.9921	14	<.0001

Analysis of Maximum Likelihood Estimates						
Parameter		DF	Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept		1	0.614	0.2046	9.0047	0.0027
DIST		1	-1.761	0.0369	2281.5688	<.0001
Sexe	1	1	-0.1805	0.019	89.9965	<.0001
AgeC	70	1	1.0268	0.0768	178.7767	<.0001
AgeC	-15	1	-0.1075	0.0817	1.7342	0.1879
AgeC	15-34	1	0.1624	0.0504	10.3701	0.0013
AgeC	55-69	1	0.5308	0.0634	70.0485	<.0001
TxMotorisation		1	-0.9192	0.0652	198.7391	<.0001
Permis	0	1	0.3925	0.0317	153.3456	<.0001
Abonnement	0	1	0.1654	0.0233	50.349	<.0001
NbMenage		1	-0.0781	0.015	27.0216	<.0001
Denspop_ZAP1000RC		1	0.00522	0.00148	12.3925	0.0004
HauteurMoyPond_1000R		1	0.2994	0.0498	36.1886	<.0001
PropBat_1000		1	0.0133	0.00386	11.8723	0.0006
ECSMixite_800		1	0.0347	0.0199	3.0449	0.081

Odds Ratio Estimates			
Effect	Point Estimate	95% Wald Confidence Limits	
DIST	0.172	0.16	0.185
Sexe 1 vs 2	0.697	0.647	0.751
AgeC +70 vs 35-54	2.792	2.402	3.246
AgeC -15 vs 35-54	0.898	0.765	1.054
AgeC 15-34 vs 35-54	1.176	1.066	1.299
AgeC 55-69 vs 35-54	1.7	1.501	1.925
TxMotorisation	0.399	0.351	0.453
Permis 0 vs 1	2.193	1.936	2.483
Abonnement 0 vs 1	1.392	1.271	1.525
NbMenage	0.925	0.898	0.953
Denspop_ZAP1000RC	1.005	1.002	1.008
HauteurMoyPond_1000R	1.349	1.224	1.487
PropBat_1000	1.013	1.006	1.021
ECSMixite_800	1.035	0.996	1.076

Association of Predicted Probabilities and Observed Responses			
Percent Concordant	78	Somers' D	0.561
Percent Discordant	21.8	Gamma	0.563
Percent Tied	0.2	Tau-a	0.237

d) *Modèle pour les espaces périphériques.*

Model Information			
Data Set	VINCENT.DEPL4C	Weight Variable	Coef
Response Variable	MAP	Sum of Weights	6241.6308016
Probability modeled	MAP=0	Model	Binary logit
Number of Observations	8420	Optimization	Fisher's scoring

Model Fit Statistics		
Criterion	Intercept Only	Intercept and Covariates
AIC	8575.242	6785.555
SC	8582.28	6877.053
-2 Log L	8573.242	6759.555

Testing Global Null Hypothesis: BETA=0			
Test	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq
Likelihood Ratio	1813.687	12	<.0001
Score	1584.318	12	<.0001
Wald	1234.3149	12	<.0001

Analysis of Maximum Likelihood Estimates						
Parameter		DF	Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept		1	2.2752	0.2617	75.6064	<.0001
DIST		1	-1.8854	0.0658	821.2147	<.0001
AgeC	70	1	0.9926	0.1191	69.4152	<.0001
AgeC	-15	1	-0.5529	0.1337	17.0951	<.0001
AgeC	15-34	1	0.2416	0.0886	7.4346	0.0064
AgeC	55-69	1	0.642	0.097	43.7688	<.0001
TxMotorisation		1	-1.2293	0.1156	113.0136	<.0001
Permis	0	1	0.669	0.0559	143.199	<.0001
NbMenage		1	-0.1079	0.0272	15.7167	<.0001
DensPop_ZAP1000		1	0.000376	0.000034	121.6696	<.0001
PropVeg_800		1	0.0271	0.00305	78.6939	<.0001
HauteurMoyPond_1000		1	-0.1452	0.0311	21.8147	<.0001
PropBat_400		1	-0.0192	0.00561	11.7334	0.0006

Odds Ratio Estimates			
Effect	Point Estimate	95% Wald Confidence Limits	
DIST	0.152	0.133	0.173
AgeC +70 vs 35-54	2.698	2.136	3.408
AgeC -15 vs 35-54	0.575	0.443	0.748
AgeC 15-34 vs 35-54	1.273	1.07	1.515
AgeC 55-69 vs 35-54	1.9	1.571	2.299
TxMotorisation	0.292	0.233	0.367
Permis 0 vs 1	3.811	3.061	4.745
NbMenage	0.898	0.851	0.947
DensPop_ZAP1000	1	1	1
PropVeg_800	1.027	1.021	1.034
HauteurMoyPond_1000	0.865	0.814	0.919
PropBat_400	0.981	0.97	0.992

Association of Predicted Probabilities and Observed Responses			
Percent Concordant	80.3	Somers' D	0.607
Percent Discordant	19.6	Gamma	0.608
Percent Tied	0.2	Tau-a	0.301
Pairs	17540059	c	0.804

vi. Annexes 6 : Atlas des indicateurs spatiaux.

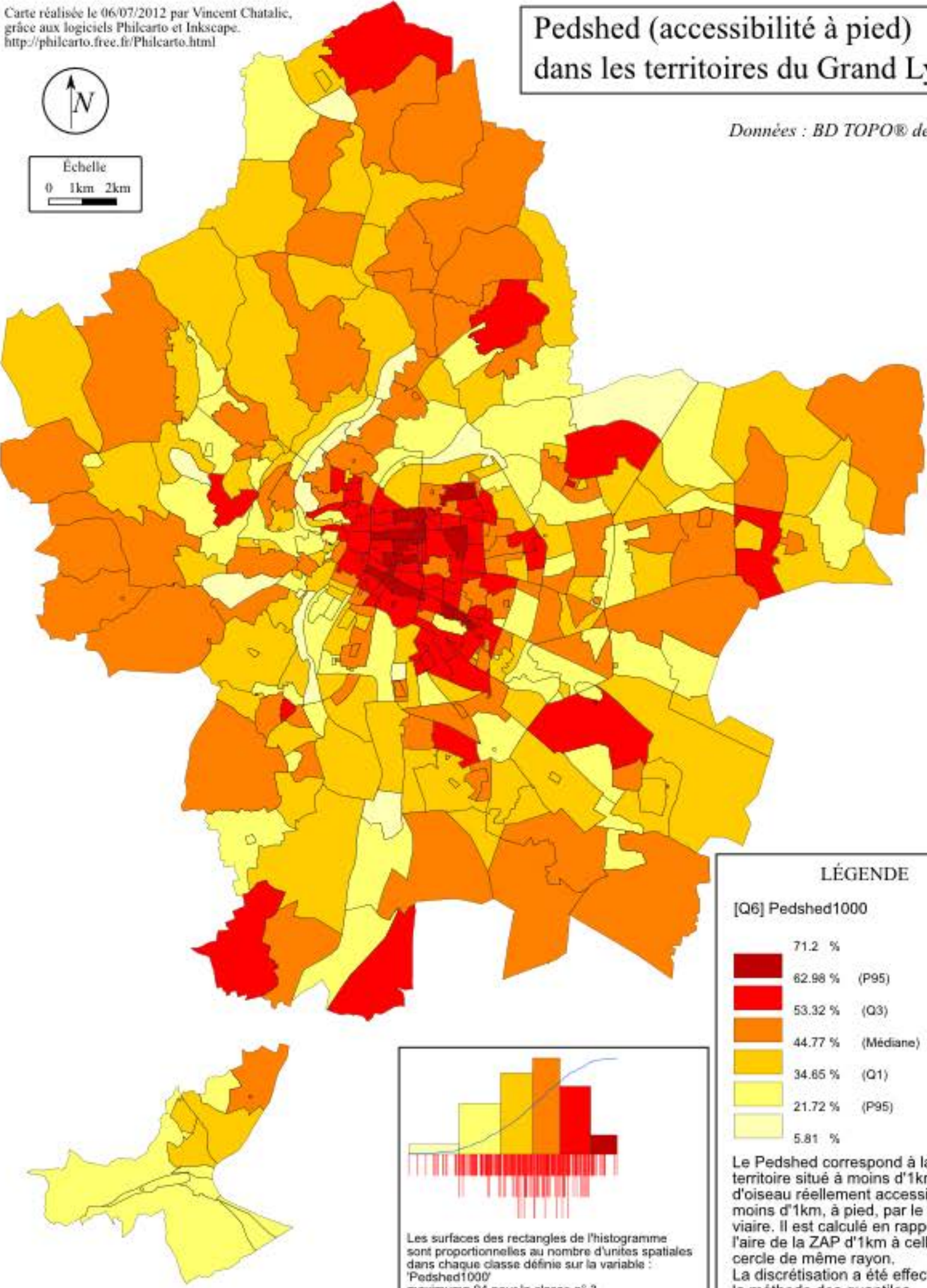
L'atlas des indicateurs spatiaux est disponible dans un fichier pdf joint à ce mémoire.

Pedshed (accessibilité à pied) dans les territoires du Grand Lyon

Données : BD TOPO® de l'IGN



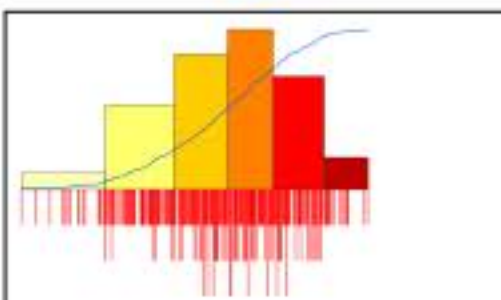
Échelle
0 1km 2km



LÉGENDE

[Q6] Pedshed1000

Dark Red	71.2 %
Red	62.98 % (P95)
Dark Orange	53.32 % (Q3)
Orange	44.77 % (Médiane)
Light Orange	34.85 % (Q1)
Yellow	21.72 % (P5)
Light Yellow	5.81 %

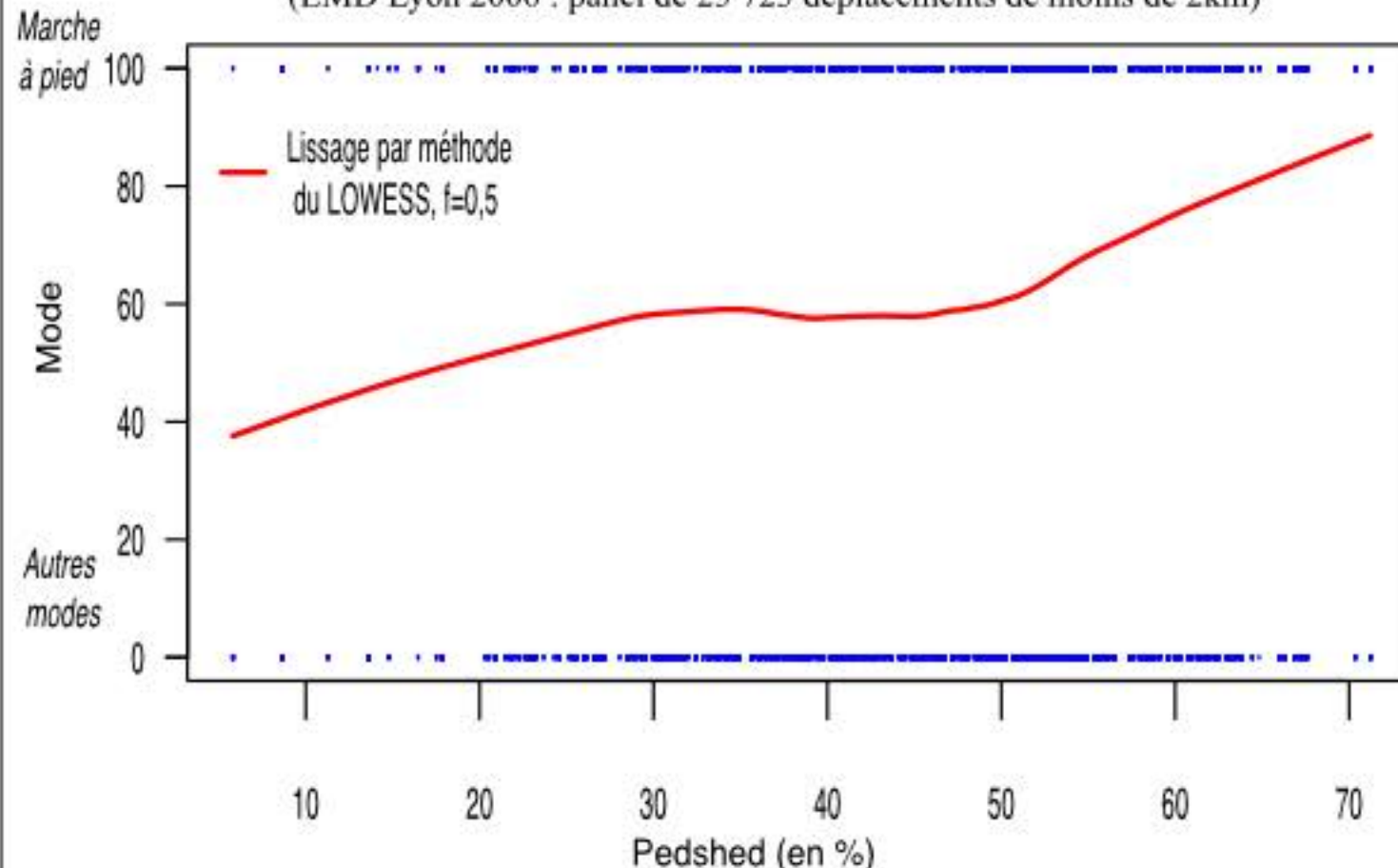


Les surfaces des rectangles de l'histogramme sont proportionnelles au nombre d'unités spatiales dans chaque classe définie sur la variable : 'Pedshed1000' maximum= 94 pour la classe n° 3

Le Pedshed correspond à la part du territoire situé à moins d'1km à vol d'oiseau réellement accessible en moins d'1km, à pied, par le réseau viaire. Il est calculé en rapportant l'aire de la ZAP d'1km à celle d'un cercle de même rayon. La discrétisation a été effectuée par la méthode des quantiles

Effet de Pedshed1000 sur la pratique de la marche

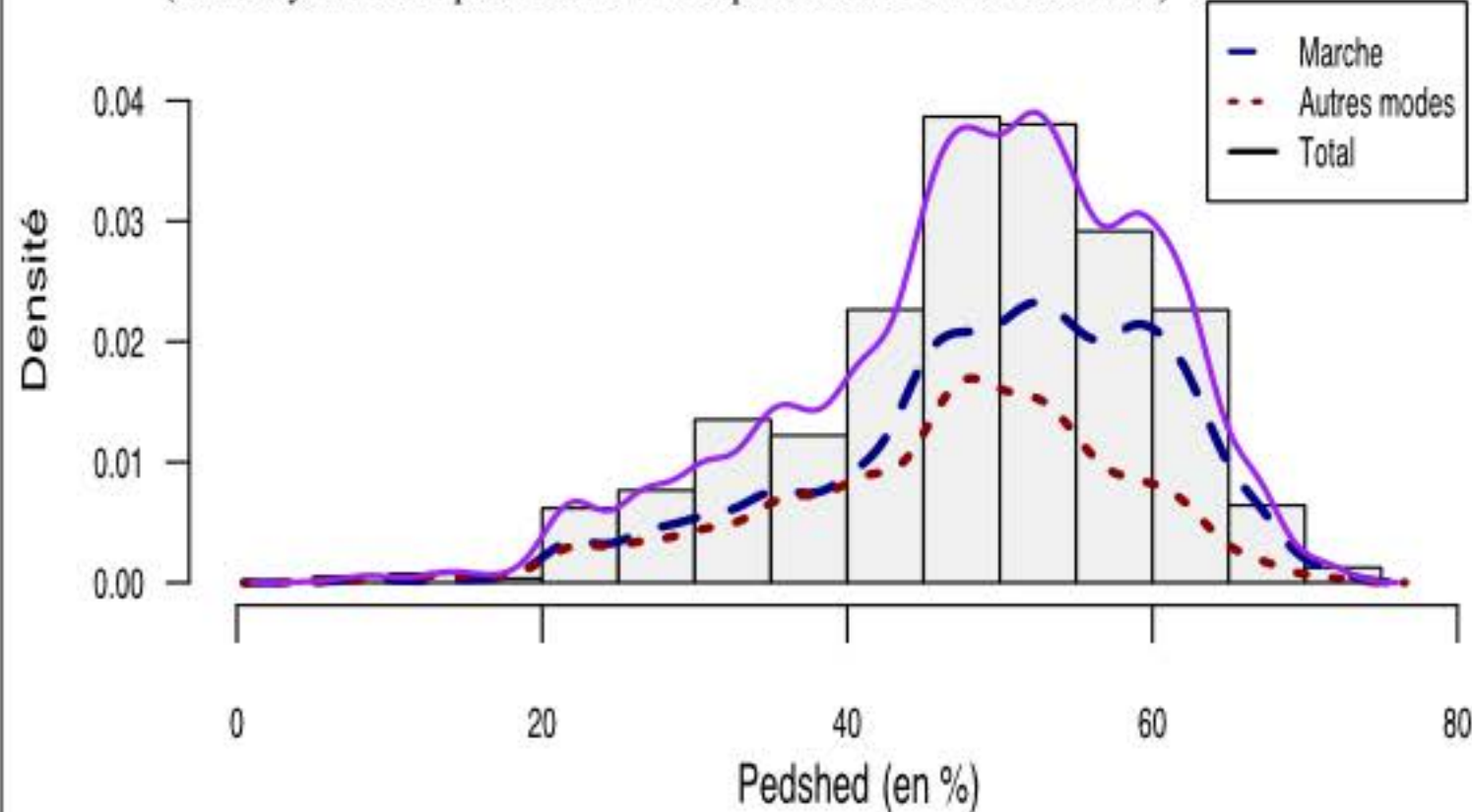
(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)



(La représentation des points et la méthode de lissage ne tiennent pas compte de la pondération)

Distribution de la variable Pedshed1000

(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)

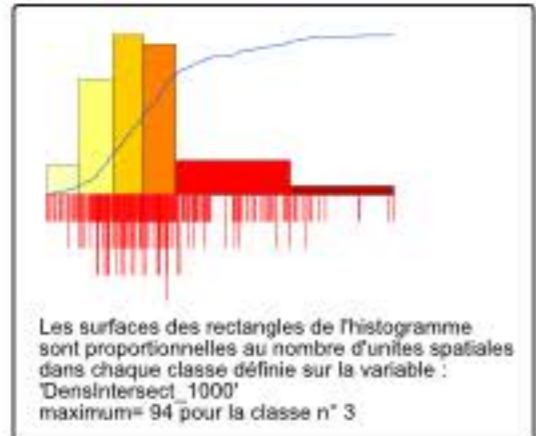
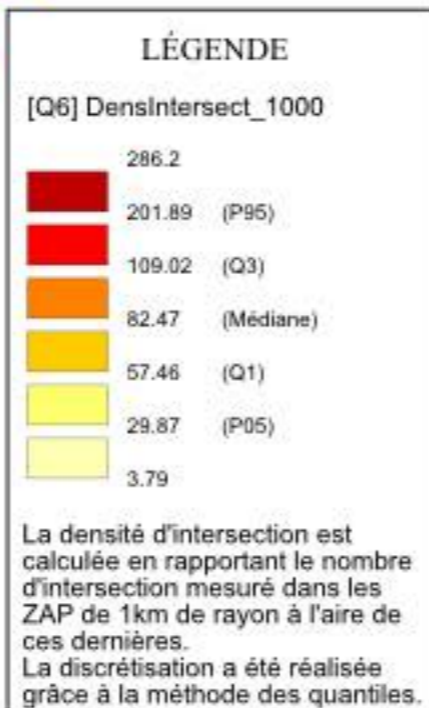
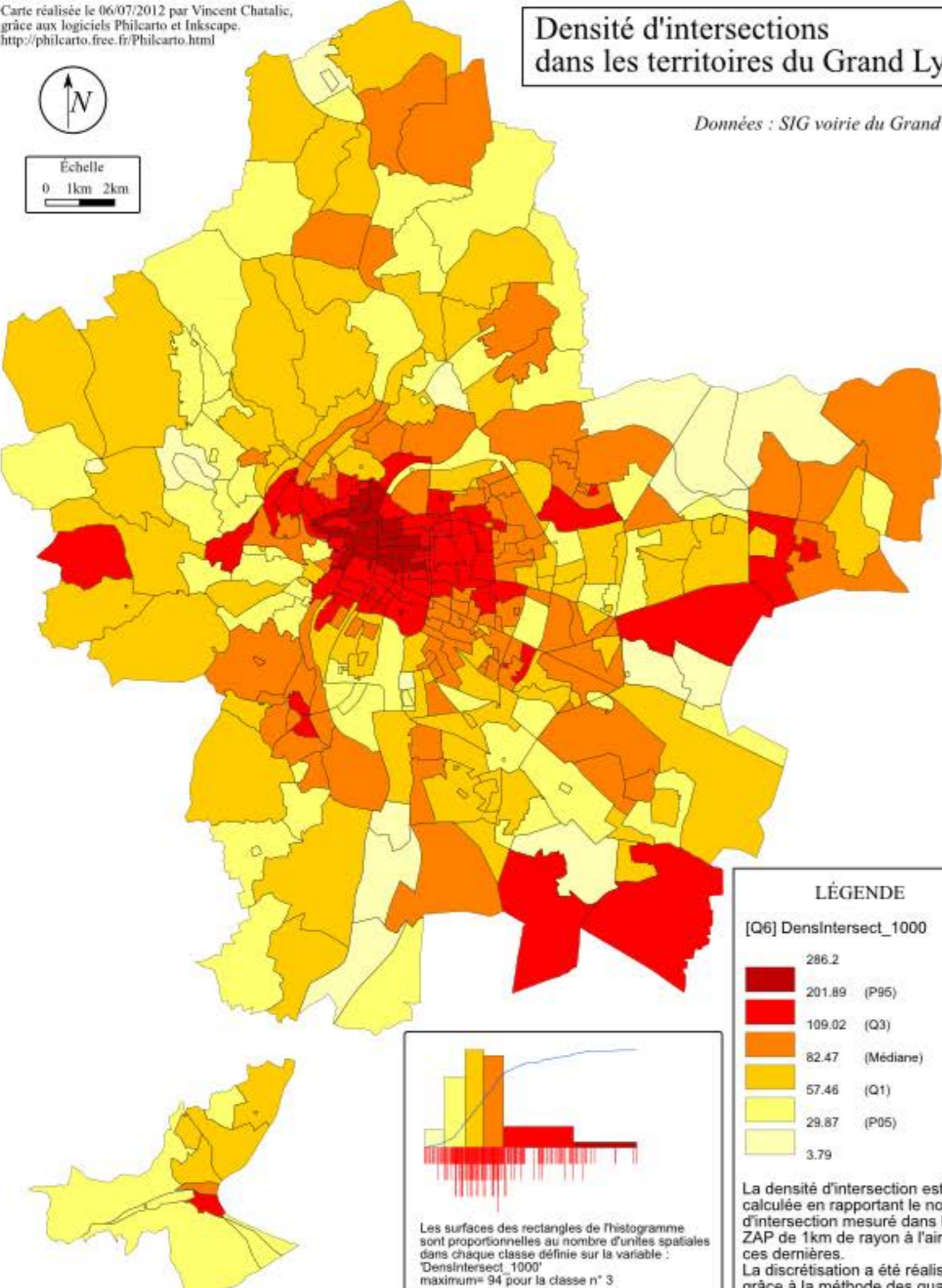


Densité d'intersections dans les territoires du Grand Lyon

Données : SIG voirie du Grand Lyon

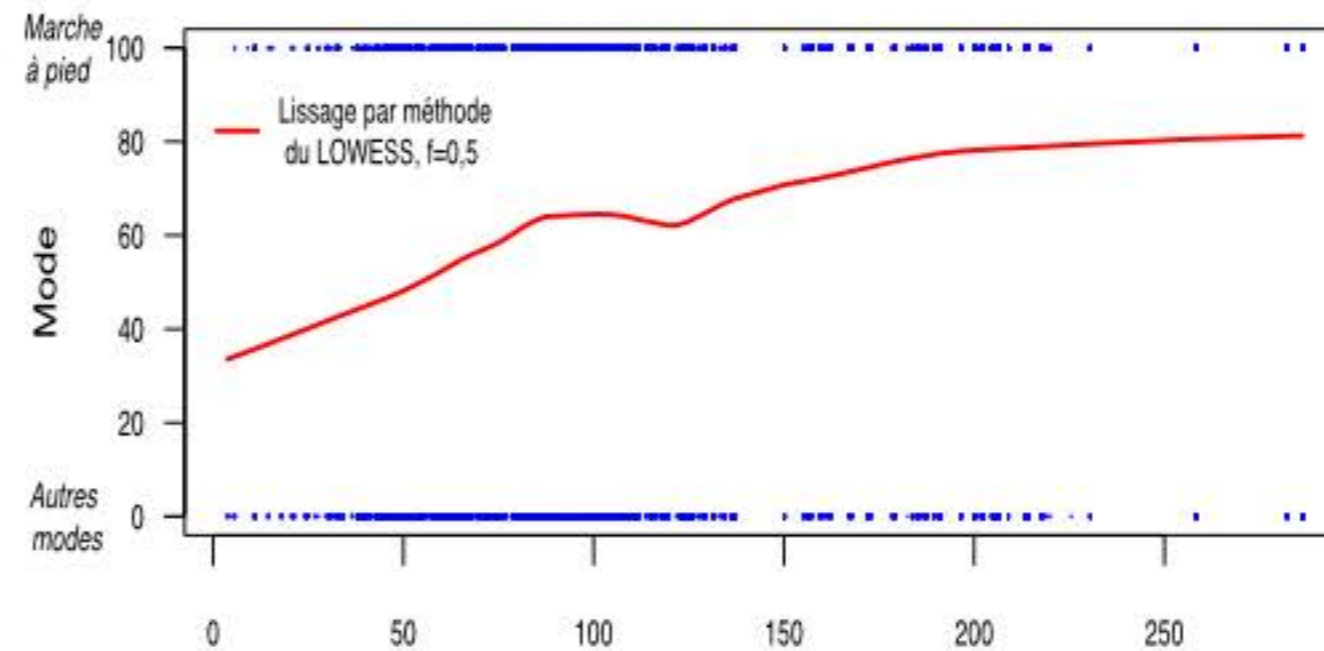


Échelle
0 1km 2km



Effet de DensIntersect_1000 sur la pratique de la marche

(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)

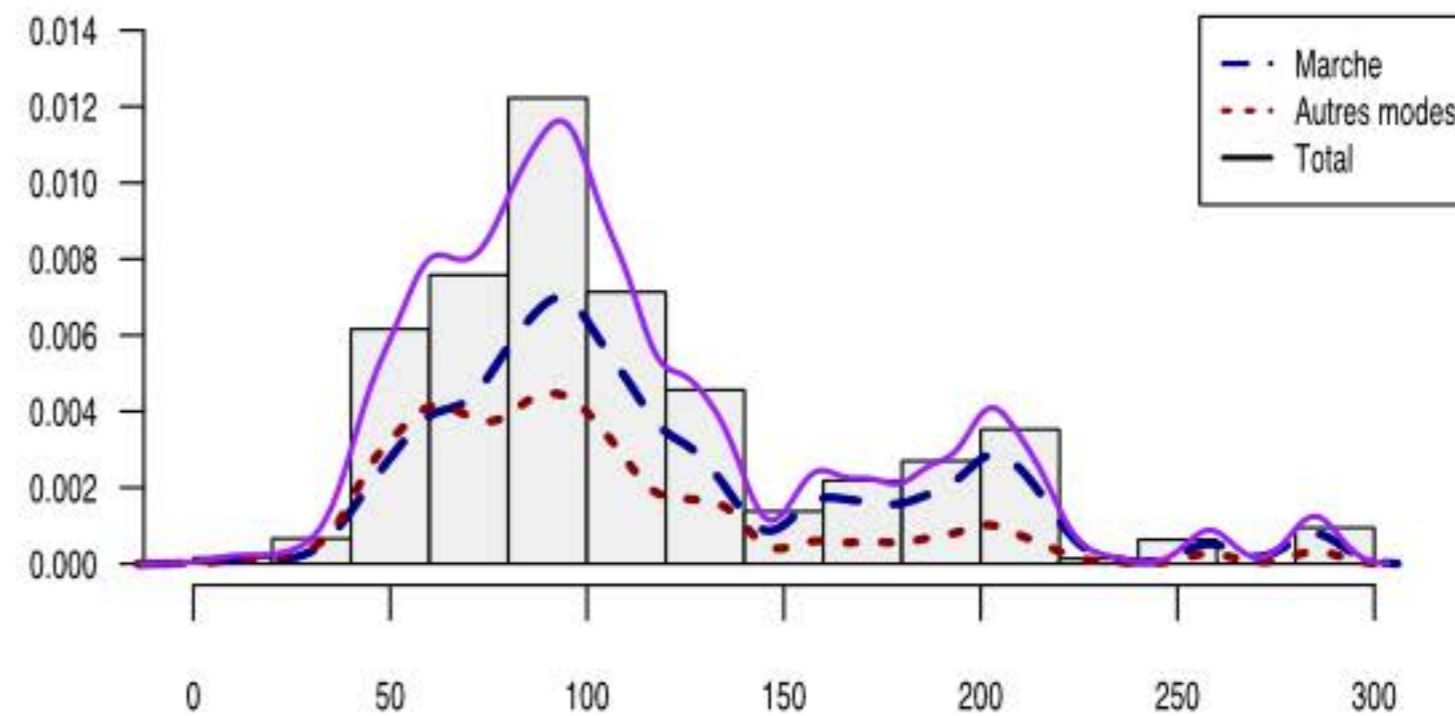


Densité d'intersections routières (en nombre par km²)

(La représentation des points et la méthode de lissage ne tiennent pas compte de la pondération)

Distribution de la variable DensIntersect_1000

(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)



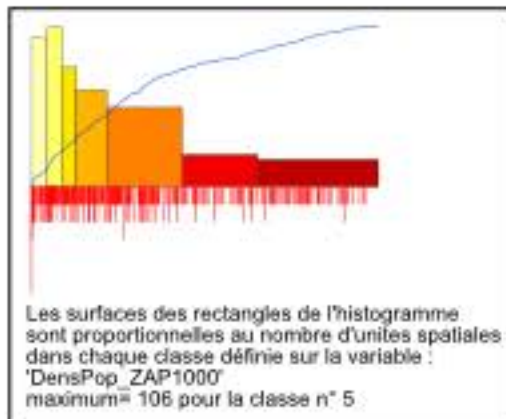
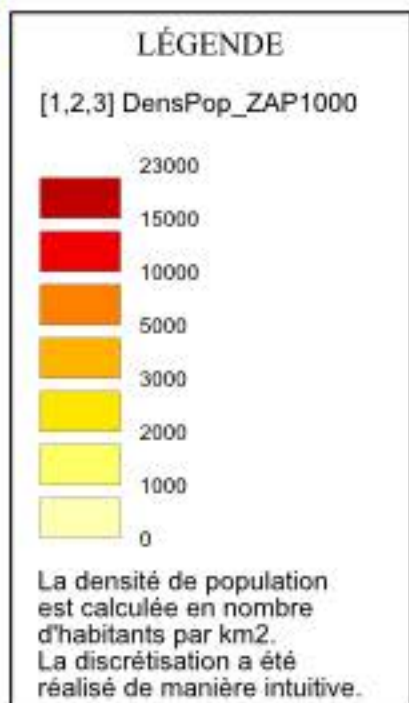
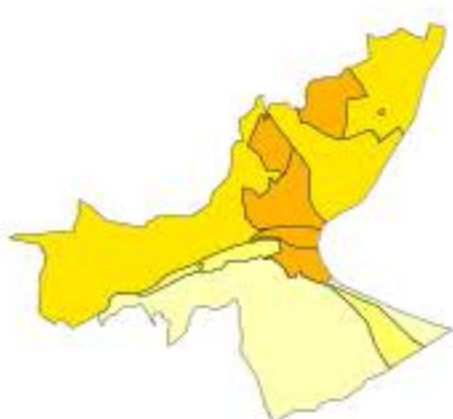
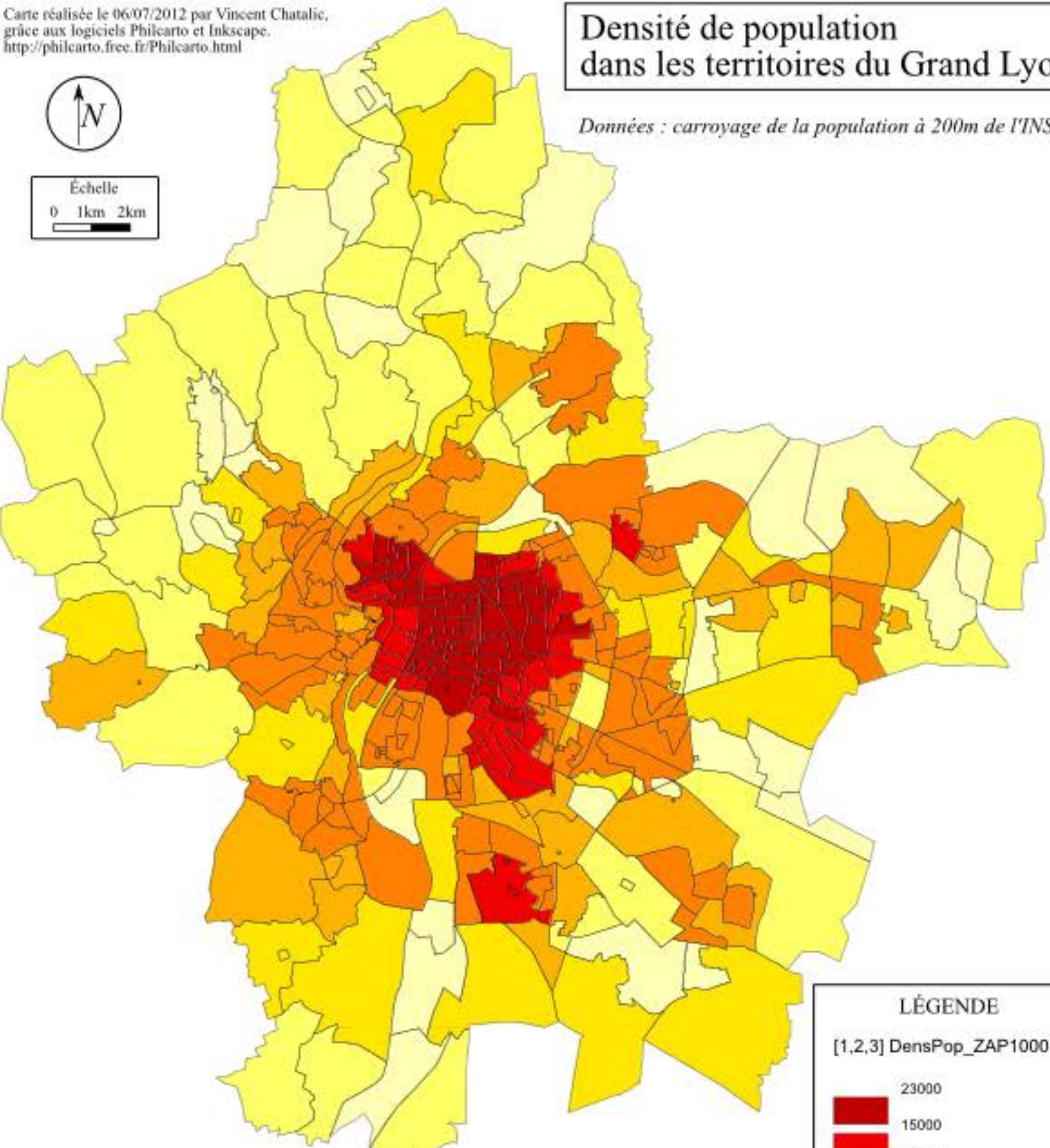
Densité d'intersections routières
(en nombre par km²)

Densité de population dans les territoires du Grand Lyon

Données : carroyage de la population à 200m de l'INSEE

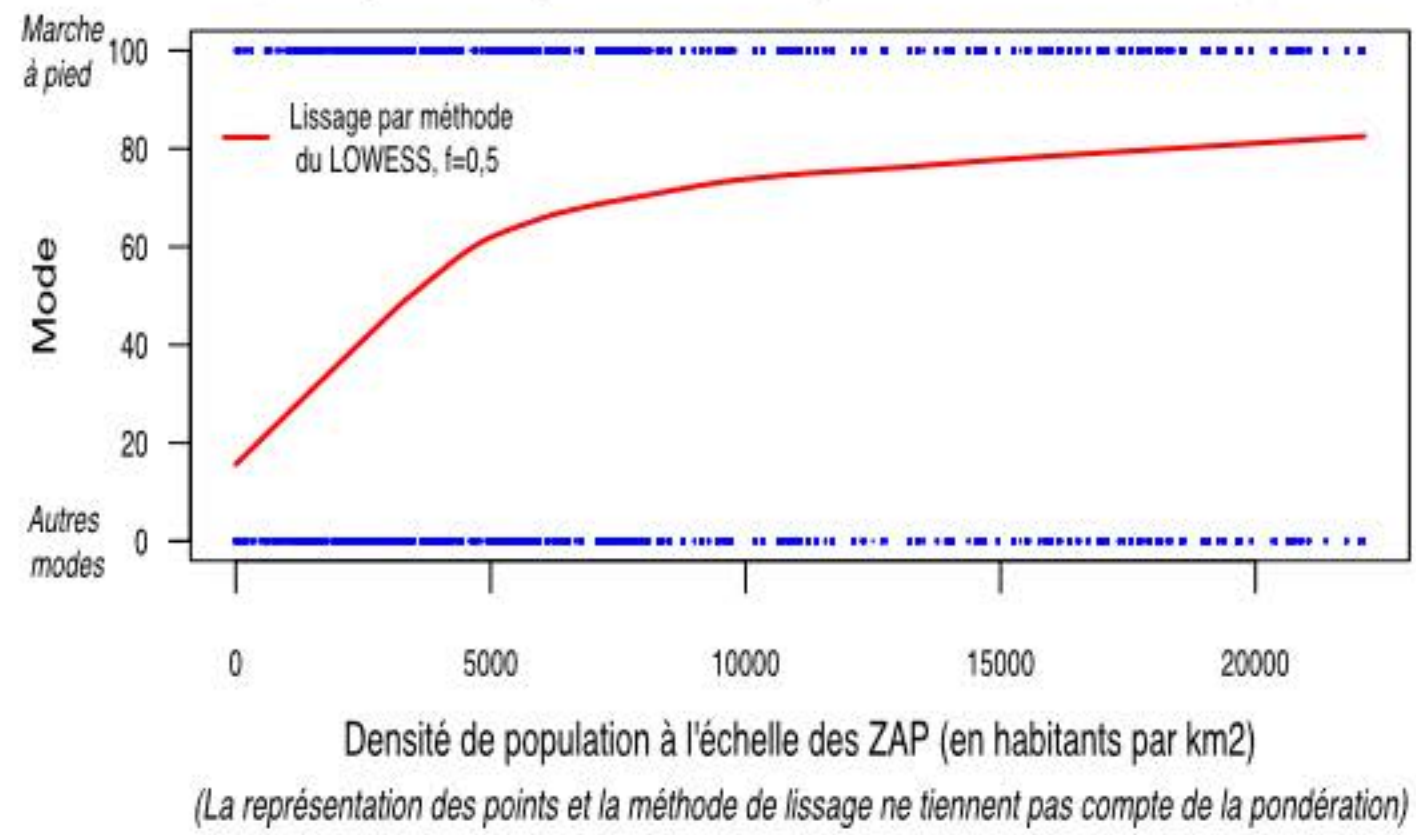


Échelle
0 1km 2km



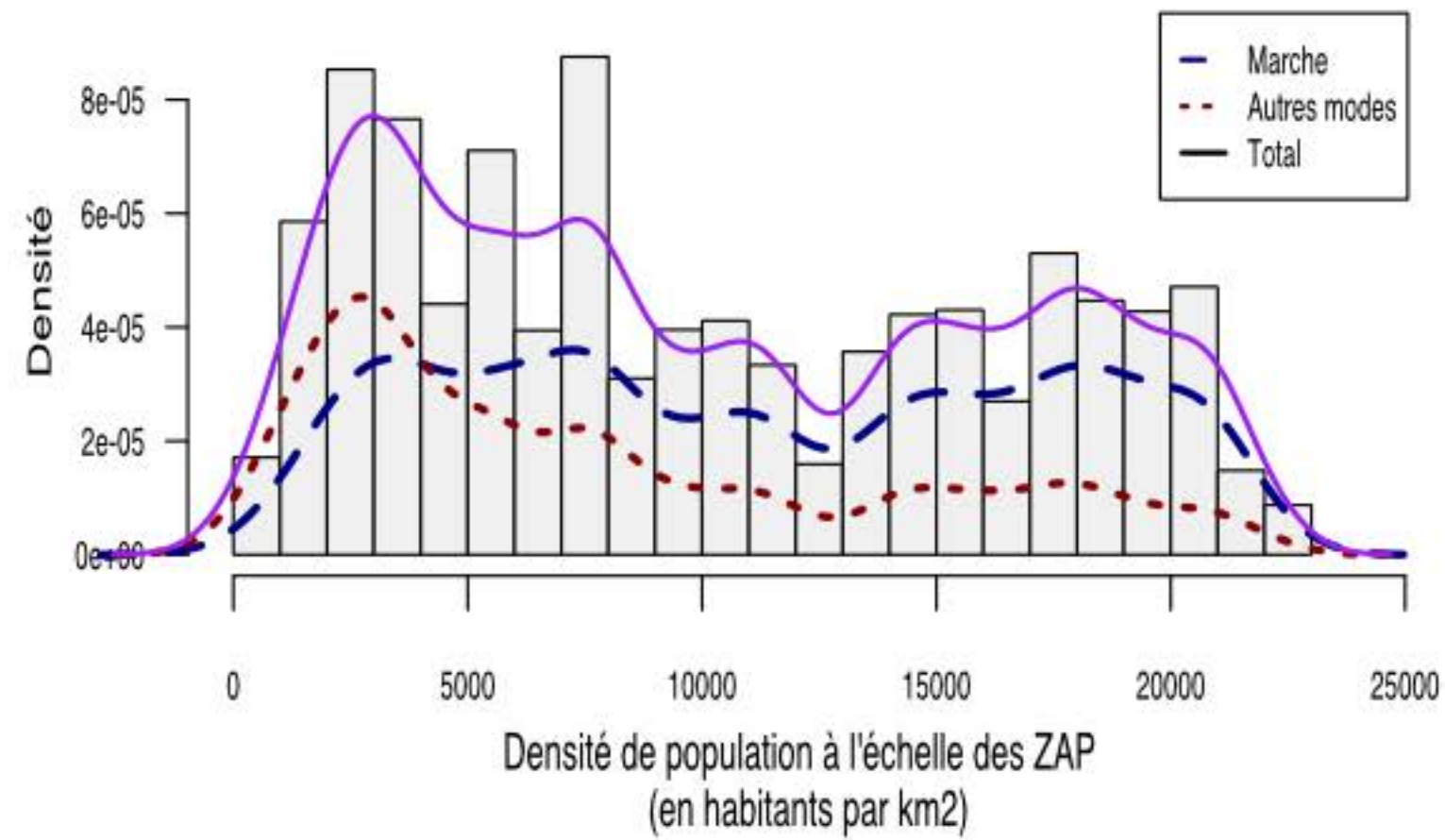
Effet de DensPop_ZAP1000 sur la pratique de la marche

(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)



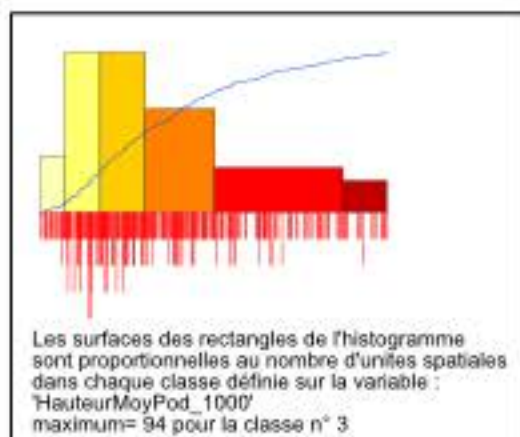
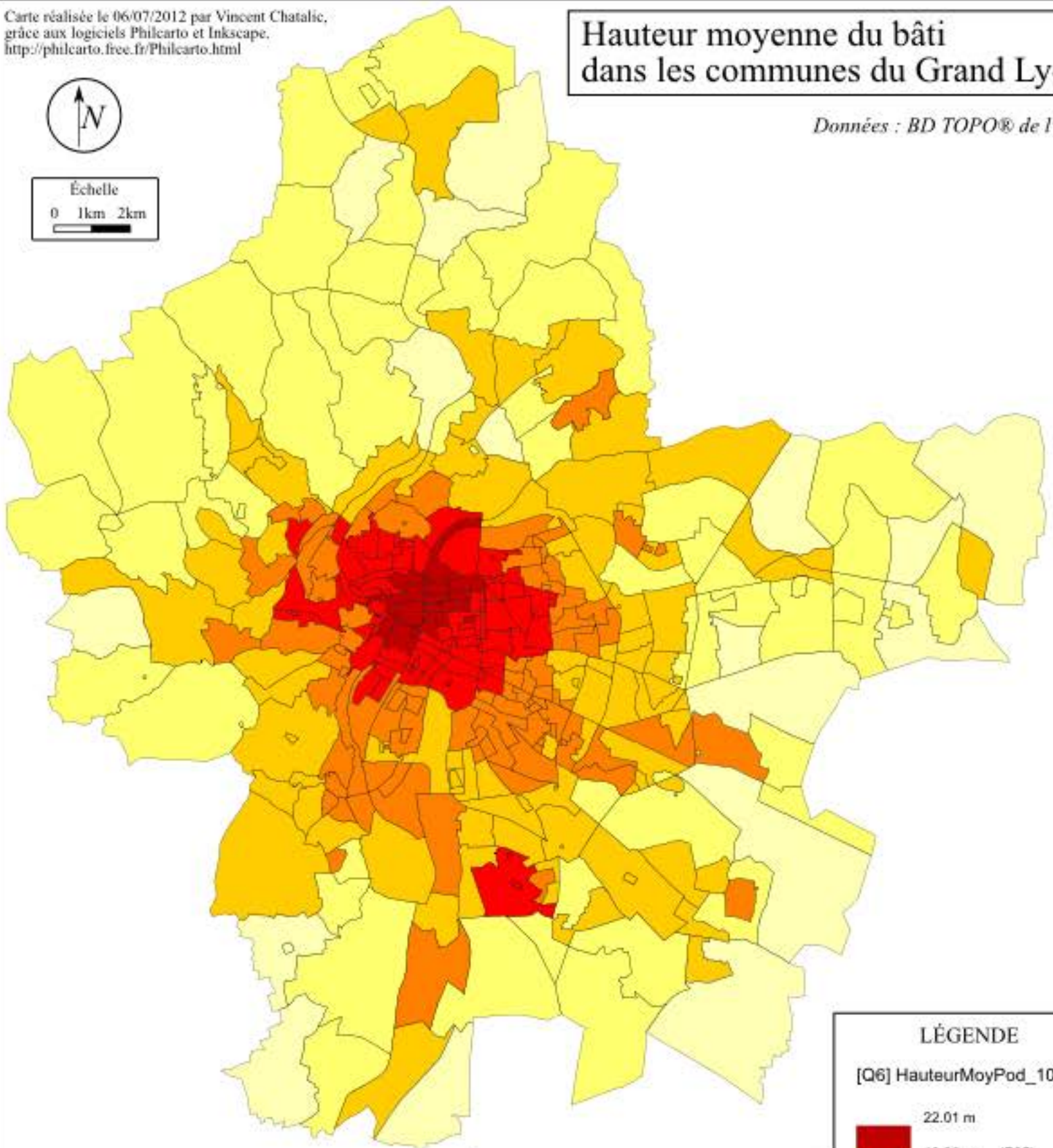
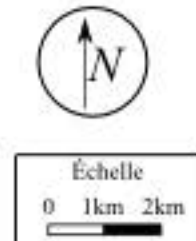
Distribution de la variable DensPop_ZAP1000

(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)



Hauteur moyenne du bâti dans les communes du Grand Lyon

Données : BD TOPO® de l'IGN



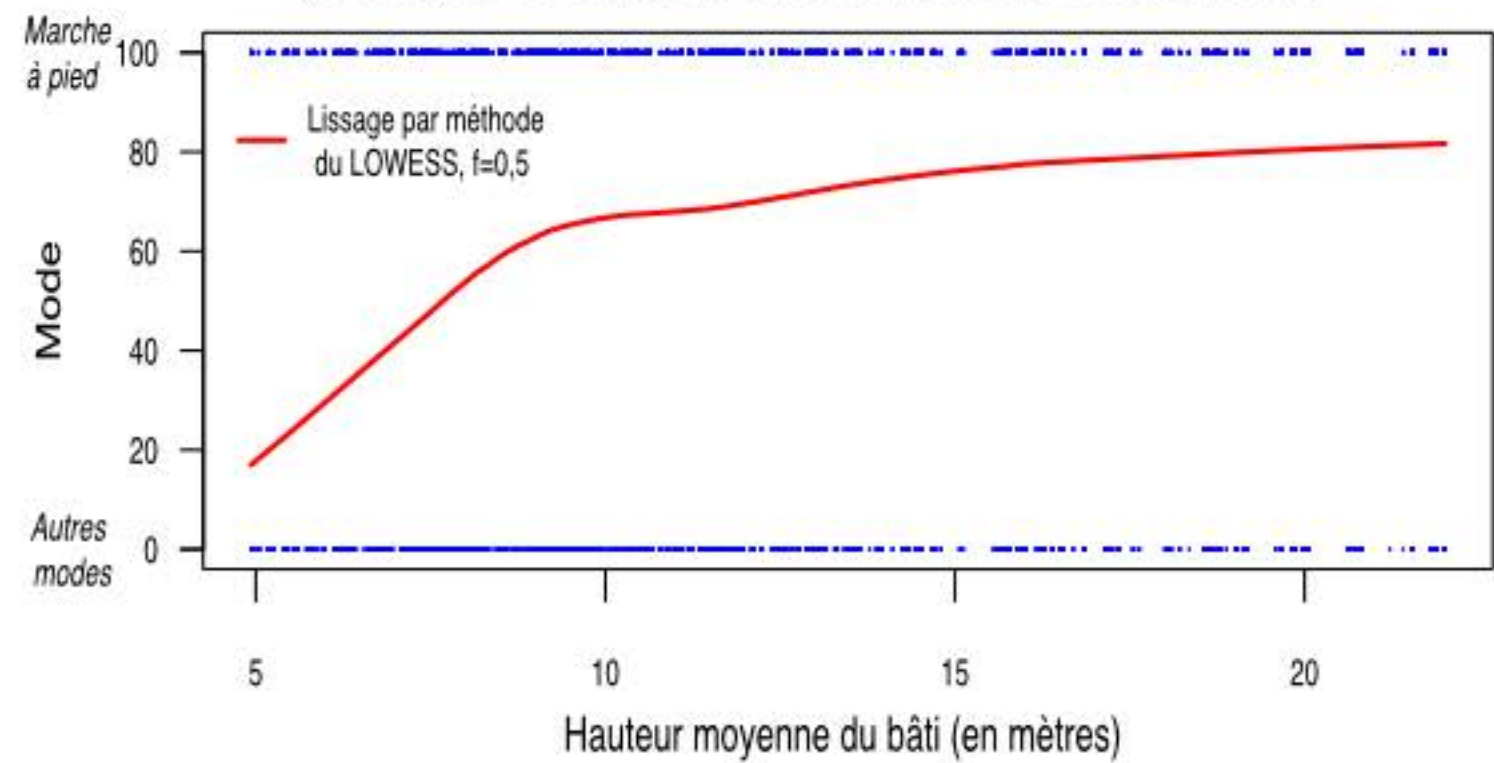
LÉGENDE
[Q6] HauteurMoyPod_1000

22.01 m	
19.88 m (P95)	
13.54 m (Q3)	
10.12 m (Médiane)	
7.9 m (Q1)	
6.13 m (P5)	
4.93 m	

La hauteur moyenne du bâti est calculée en mètres.
Discretisation par la méthode des quantiles.

Effet de HauteurMoyPod_1000 sur la pratique de la marche

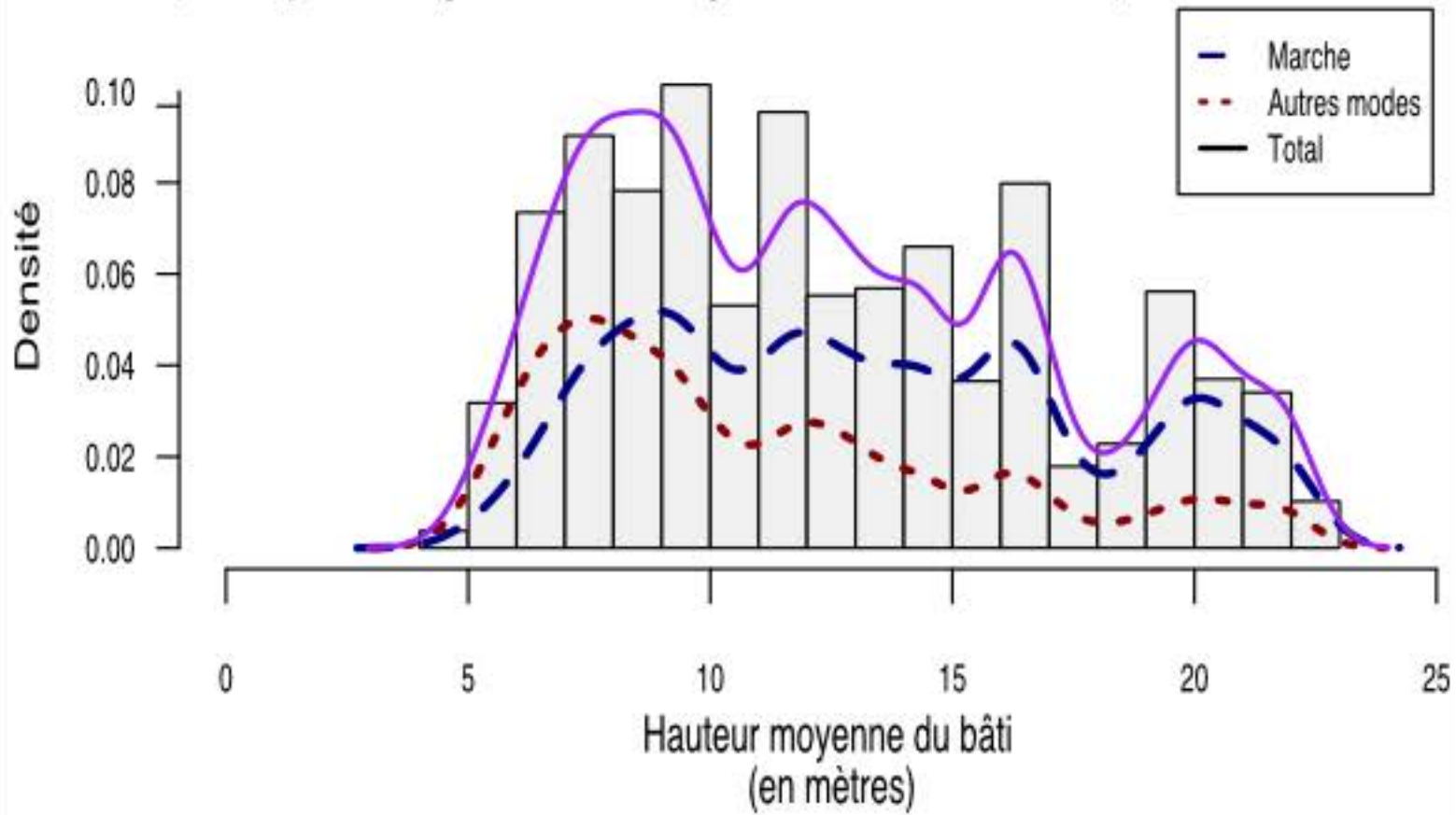
(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)



(La représentation des points et la méthode de lissage ne tiennent pas compte de la pondération)

Distribution de la variable HauteurMoyPod_1000

(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)

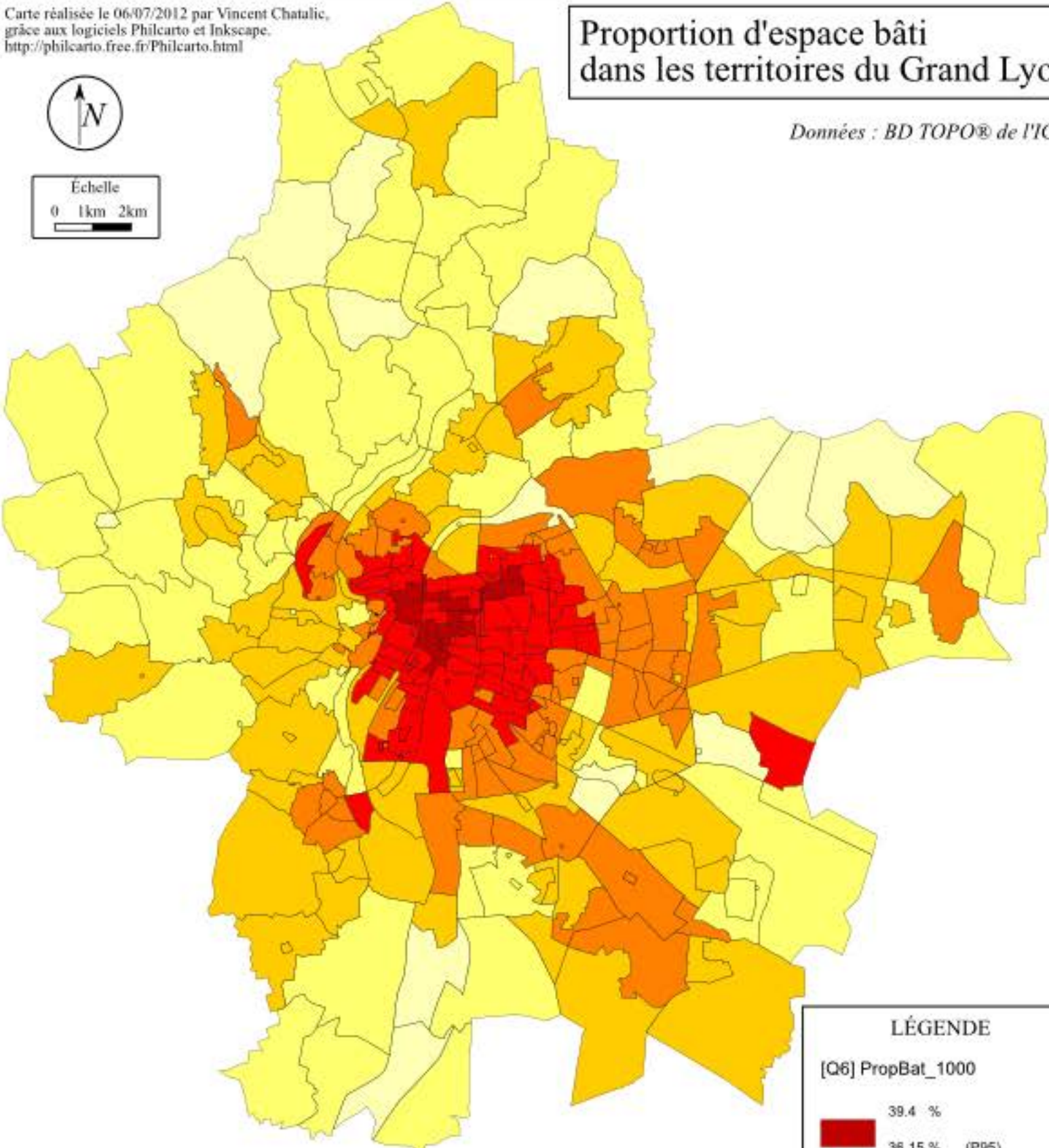


Proportion d'espace bâti dans les territoires du Grand Lyon

Données : BD TOPO® de l'IGN

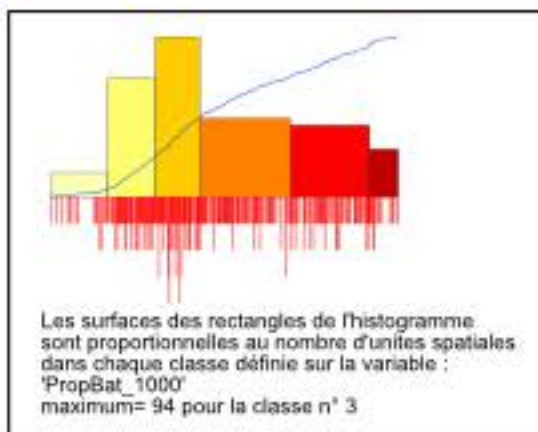


Échelle
0 1km 2km



LÉGENDE
[Q6] PropBat_1000

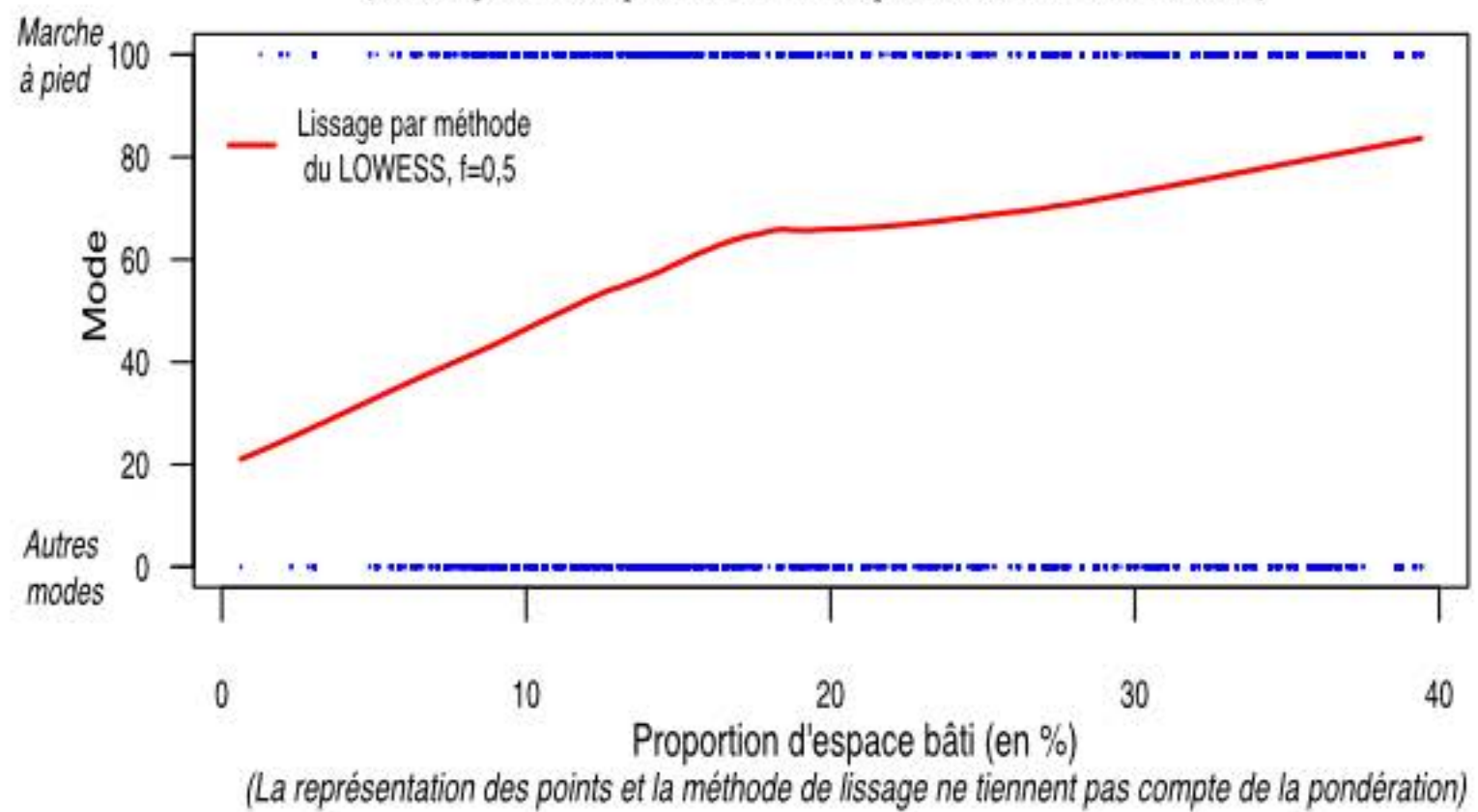
39.4 %	
36.15 % (P95)	
27.16 % (Q3)	
16.87 % (Médiane)	
11.82 % (Q1)	
6.37 % (P5)	
0 %	



La proportion d'espace bâti est calculé en rapportant la surface de bâti à l'aire de la ZAP de 1km de rayon. La discrétisation a été réalisée par la méthode des quantiles.

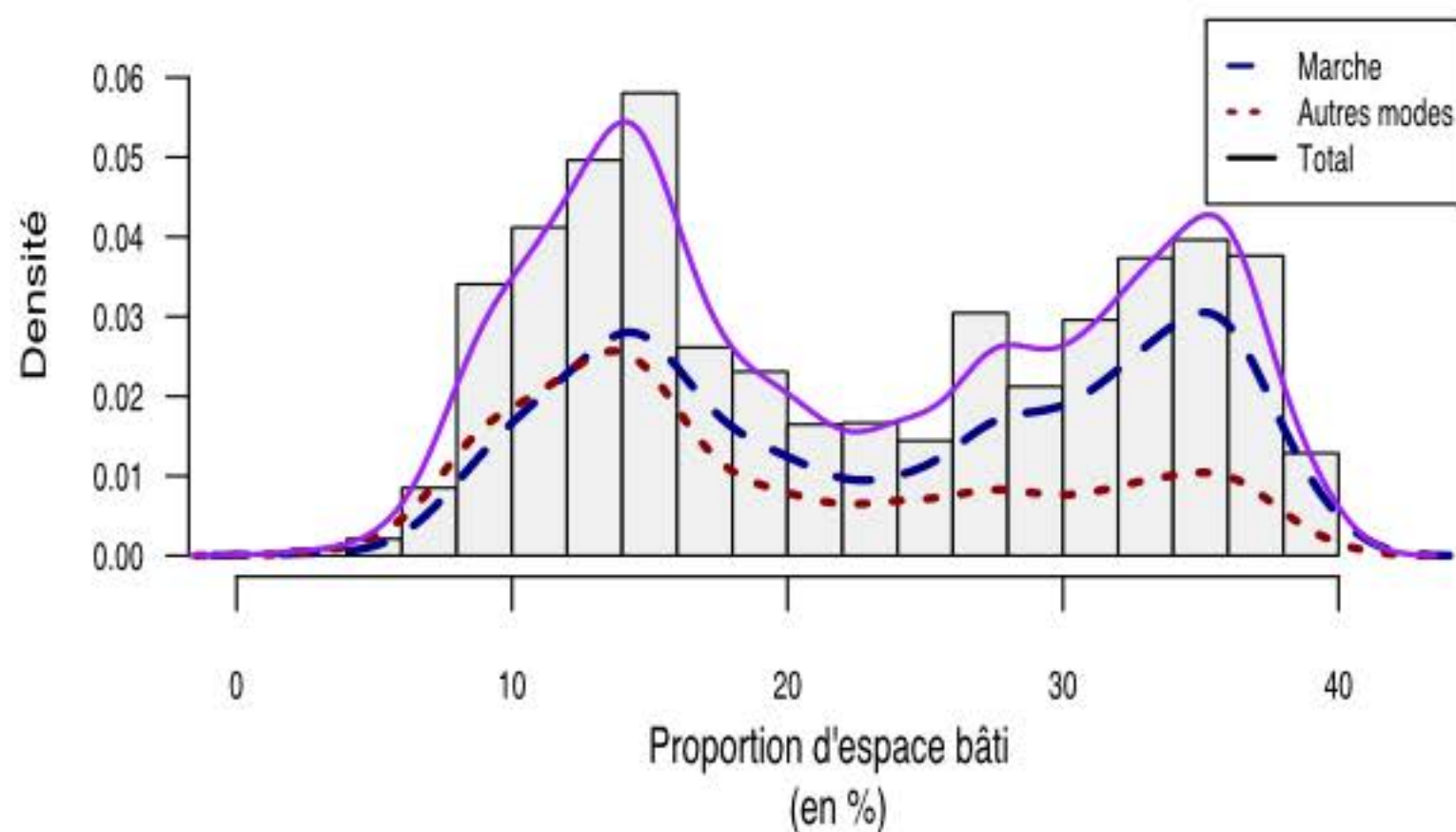
Effet de PropBat_1000 sur la pratique de la marche

(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)



Distribution de la variable PropBat_1000

(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)

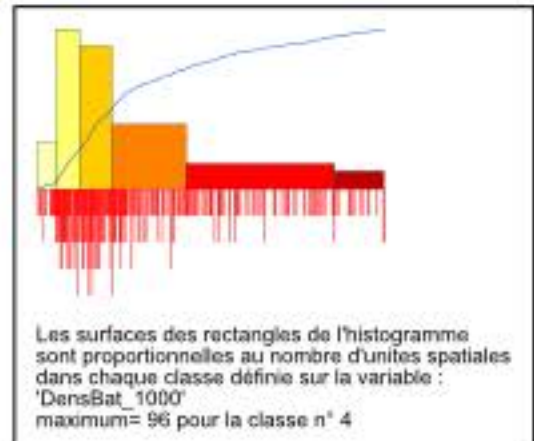
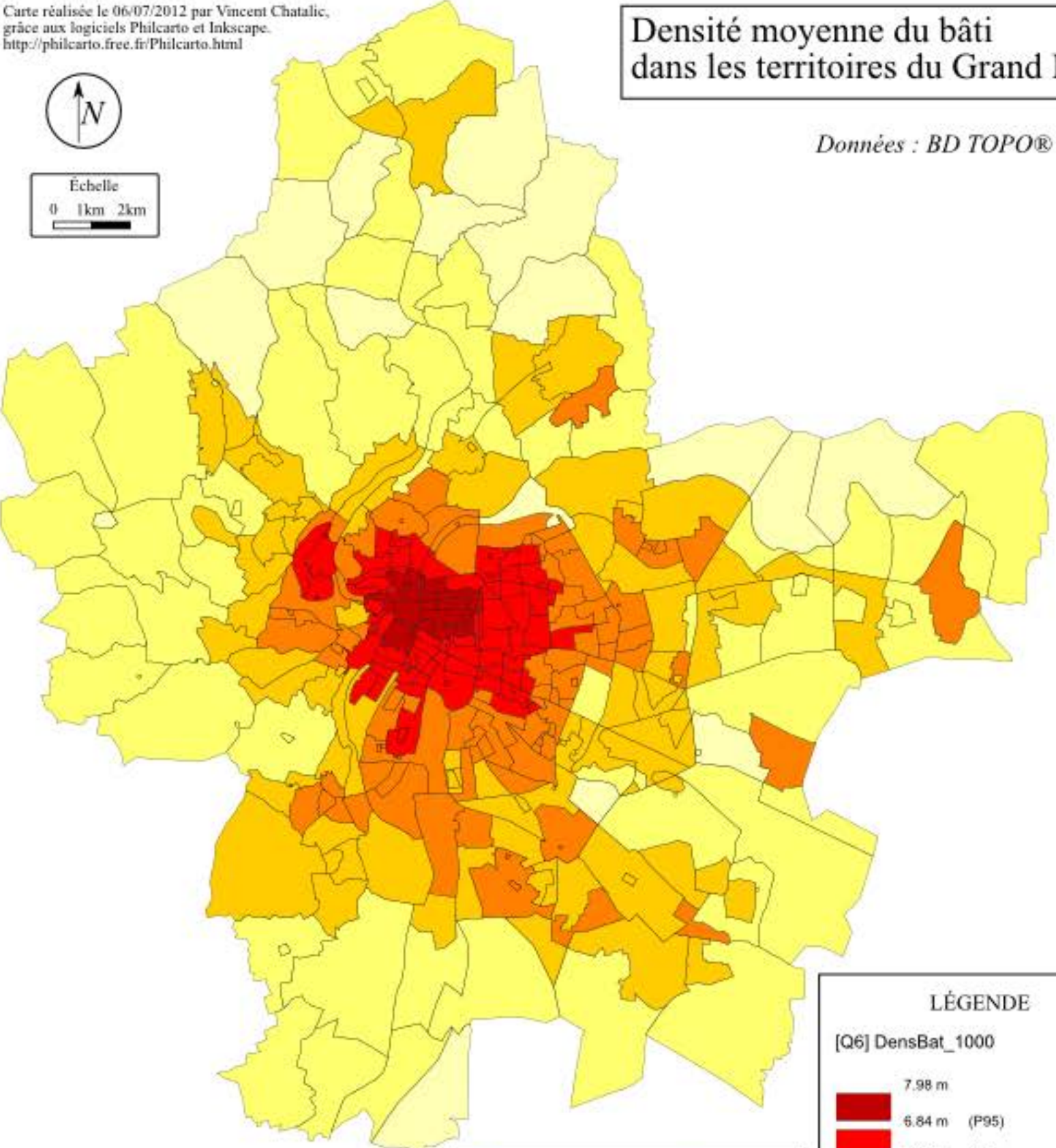


Densité moyenne du bâti dans les territoires du Grand Lyon

Données : BD TOPO® de l'IGN

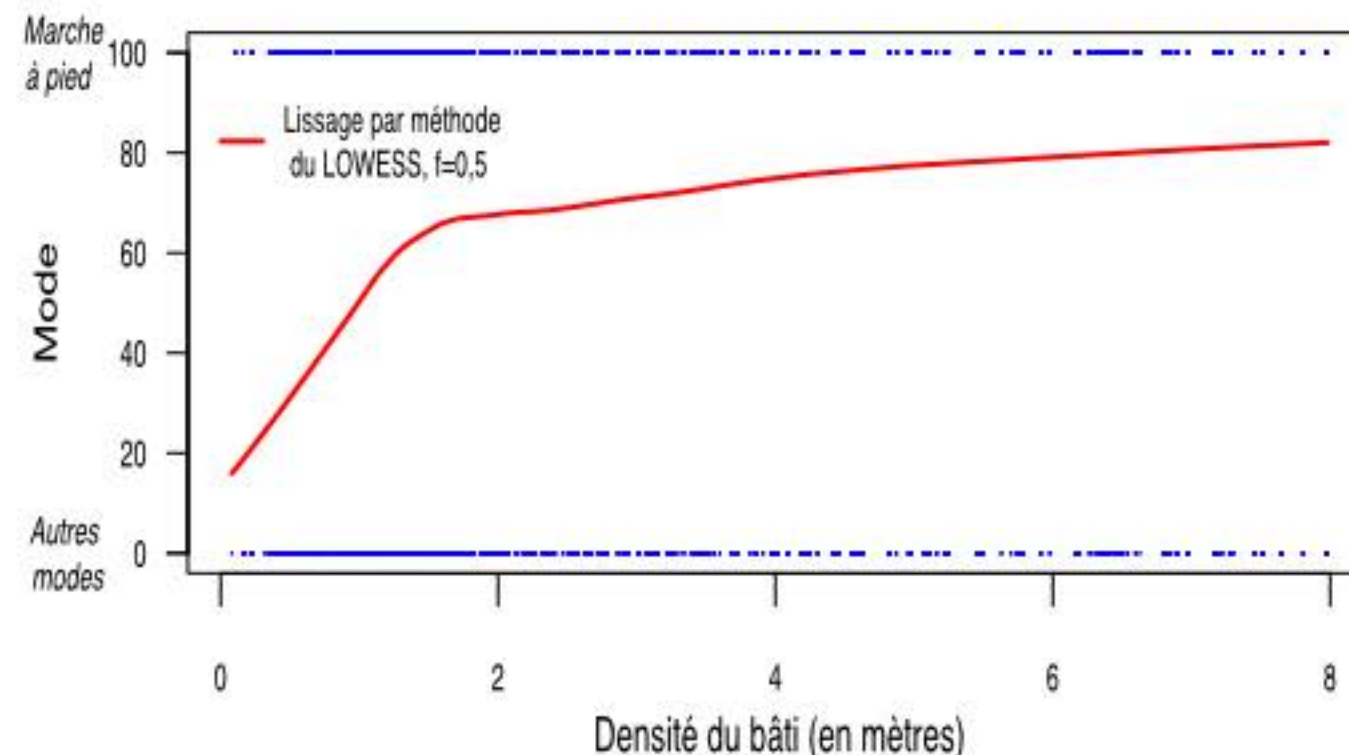


Échelle
0 1km 2km



Effet de DensBat_1000 sur la pratique de la marche

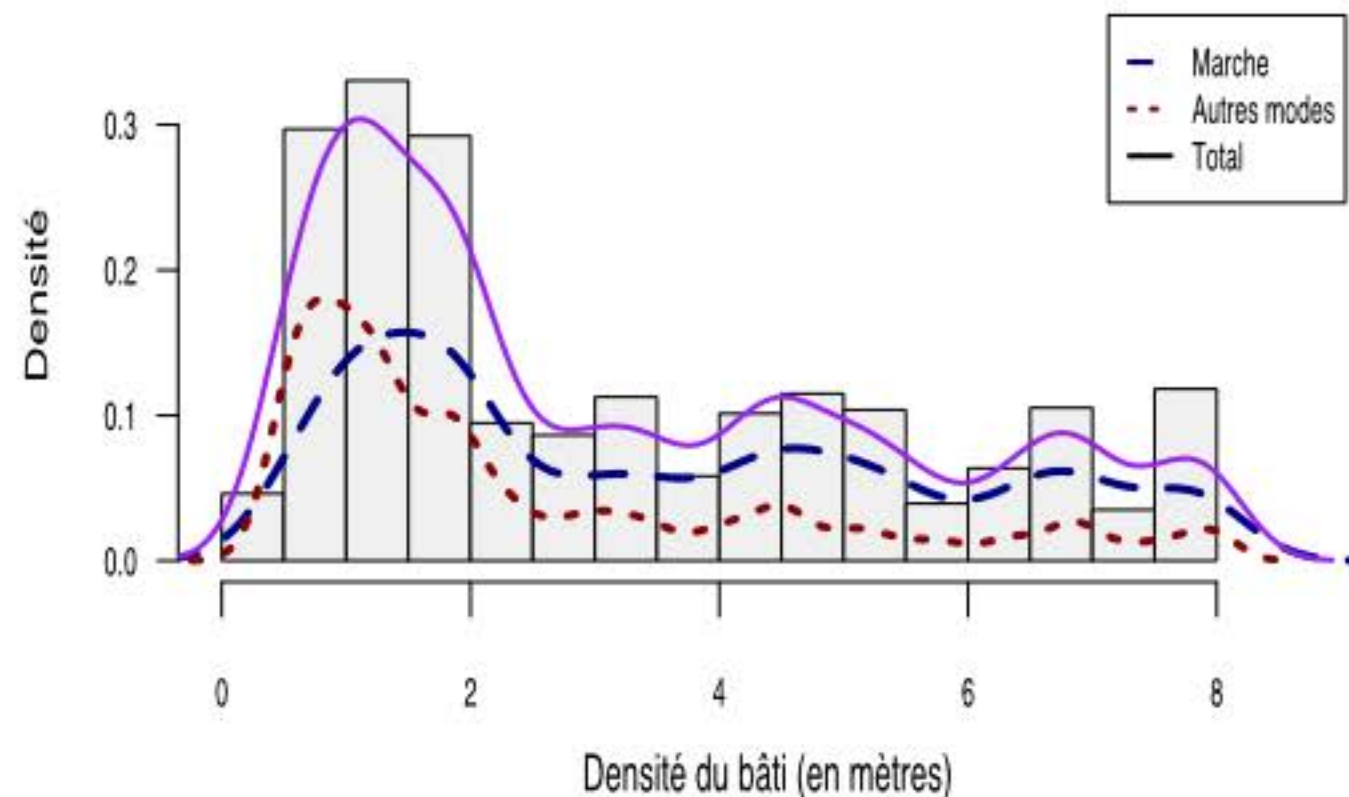
(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)



(La représentation des points et la méthode de lissage ne tiennent pas compte de la pondération)

Distribution de la variable DensBat_1000

(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)

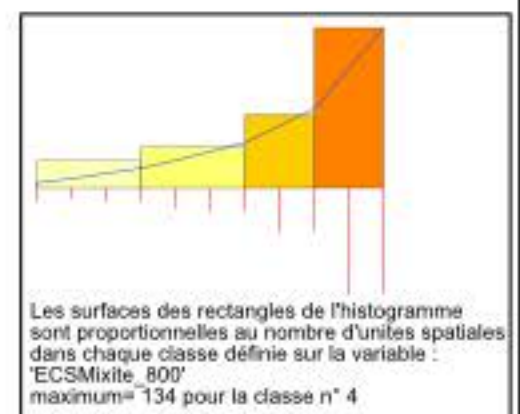
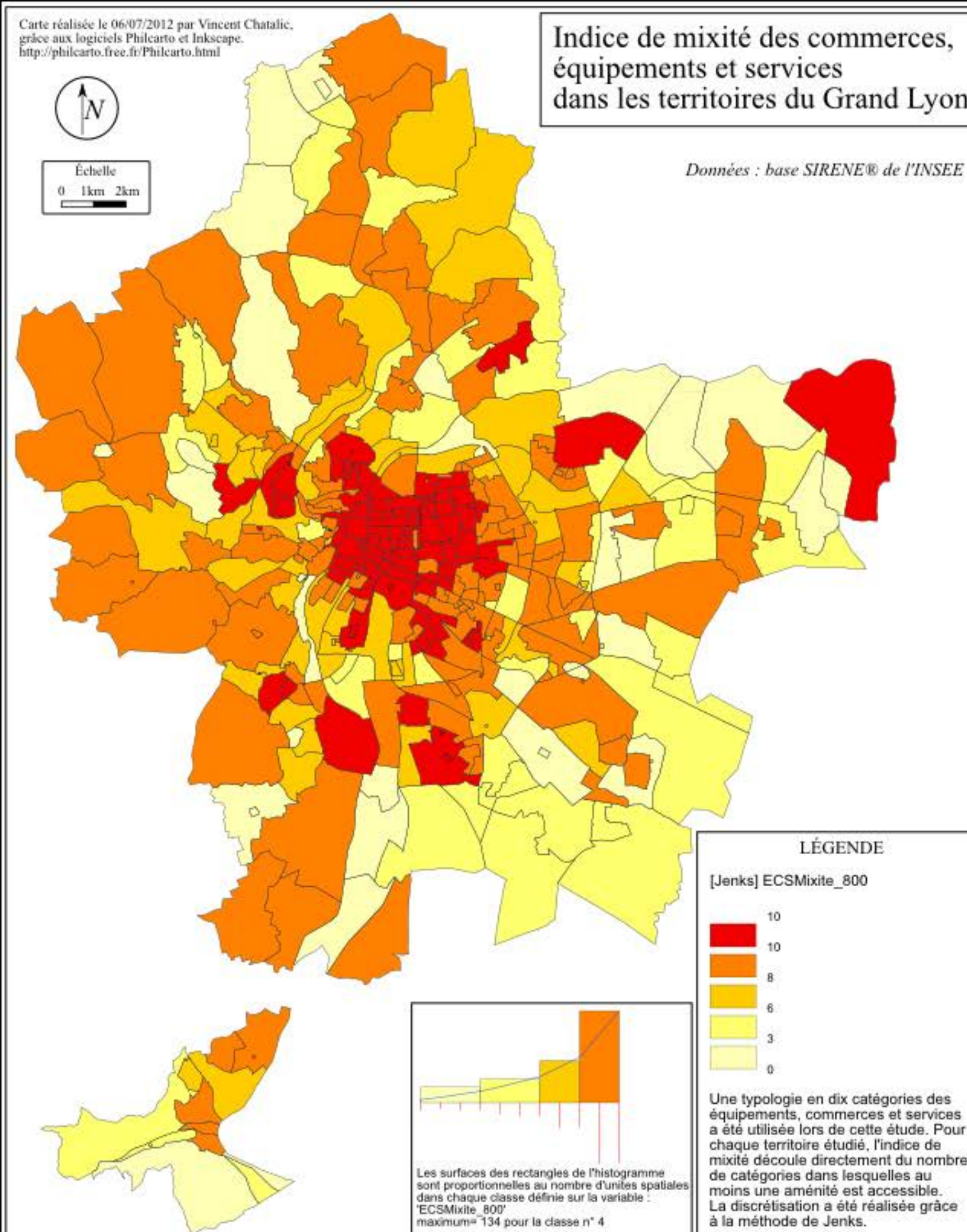


Indice de mixité des commerces, équipements et services dans les territoires du Grand Lyon

Données : base SIRENE® de l'INSEE

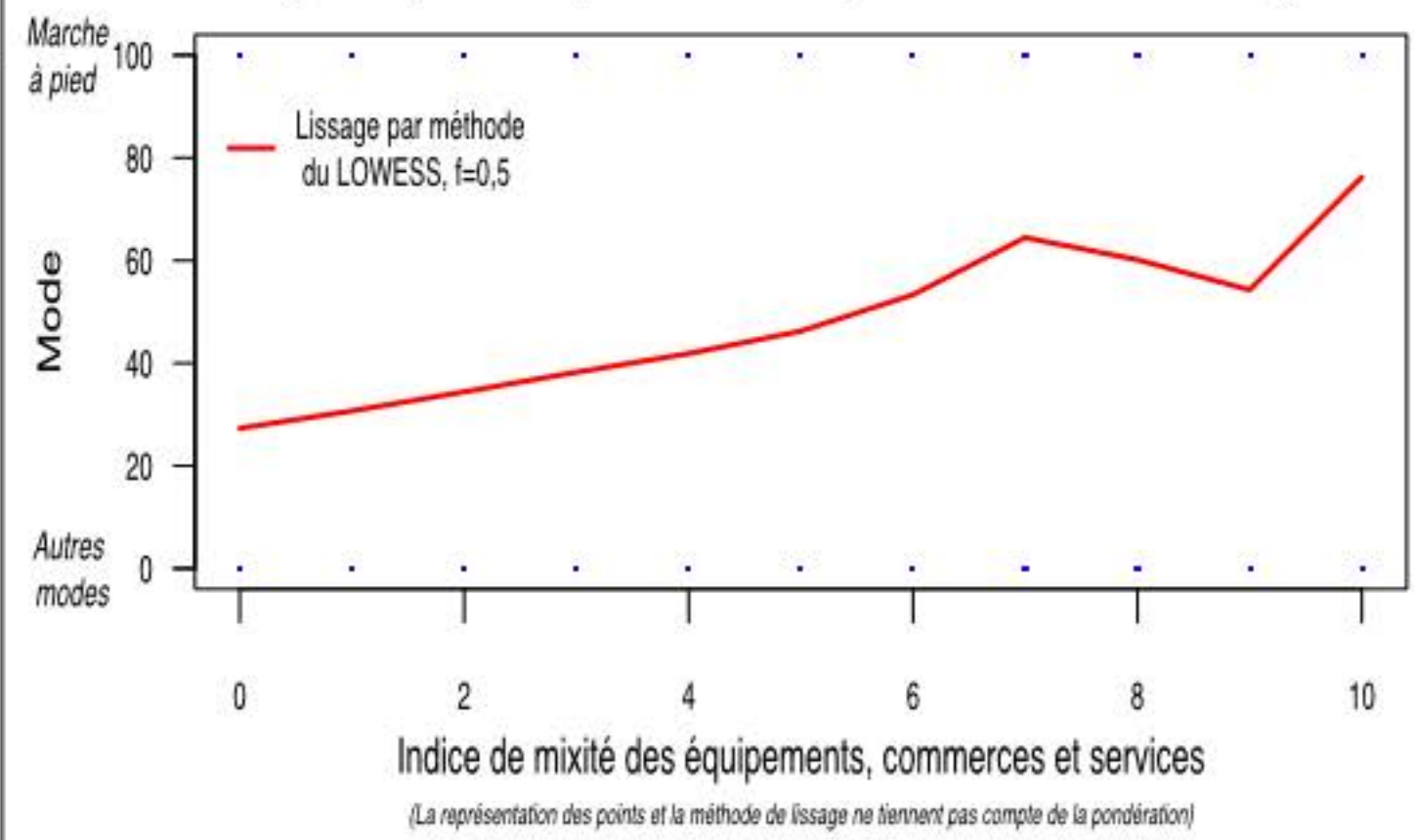


Échelle
0 1km 2km



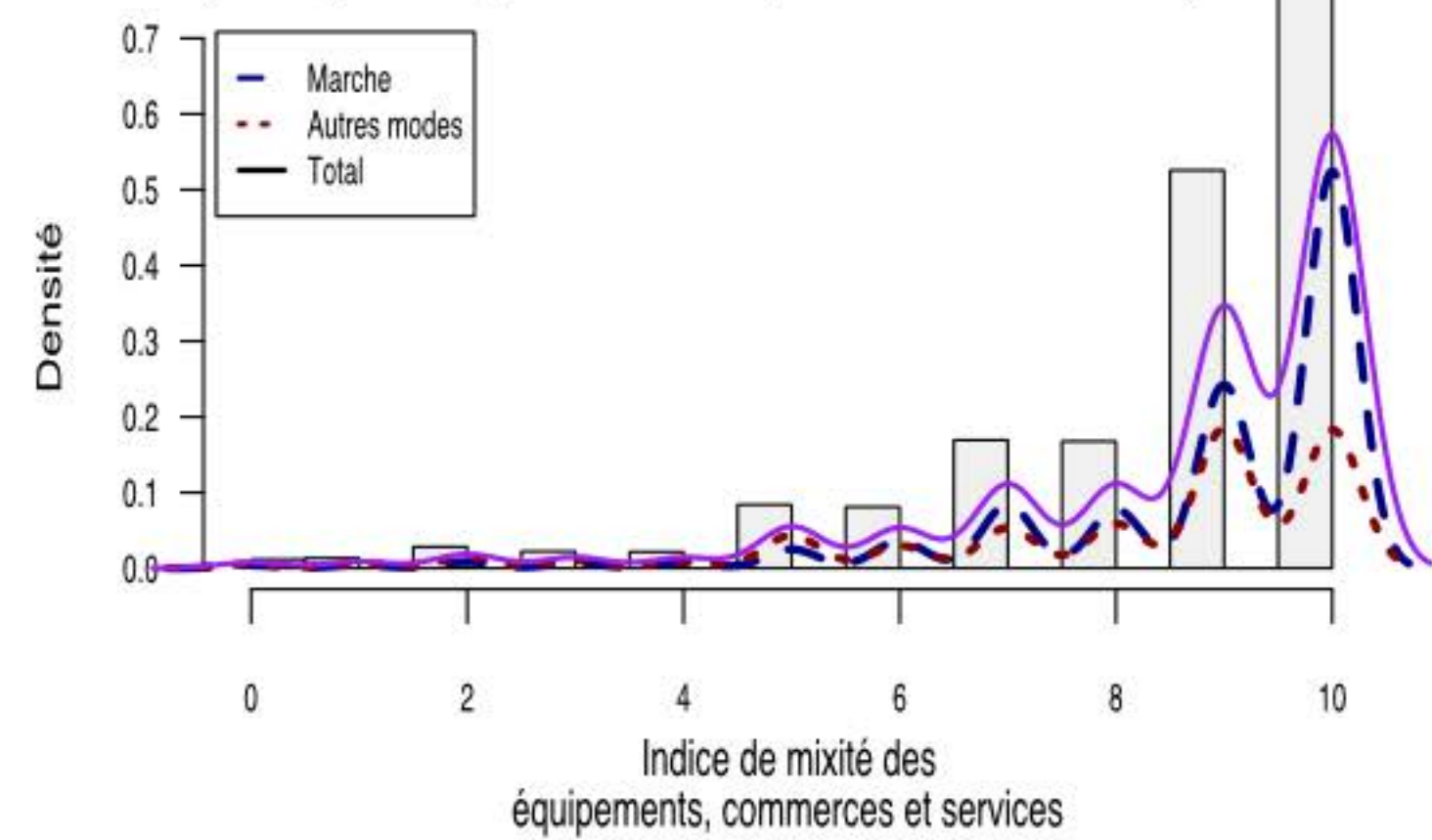
Effet de ECSMixite_800 sur la pratique de la marche

(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)



Distribution de la variable ECSMixite_800

(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)

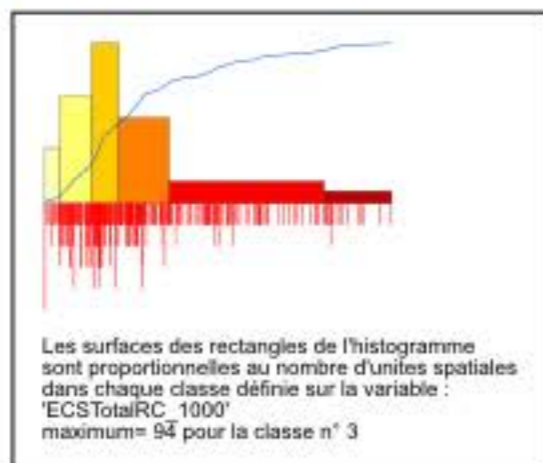
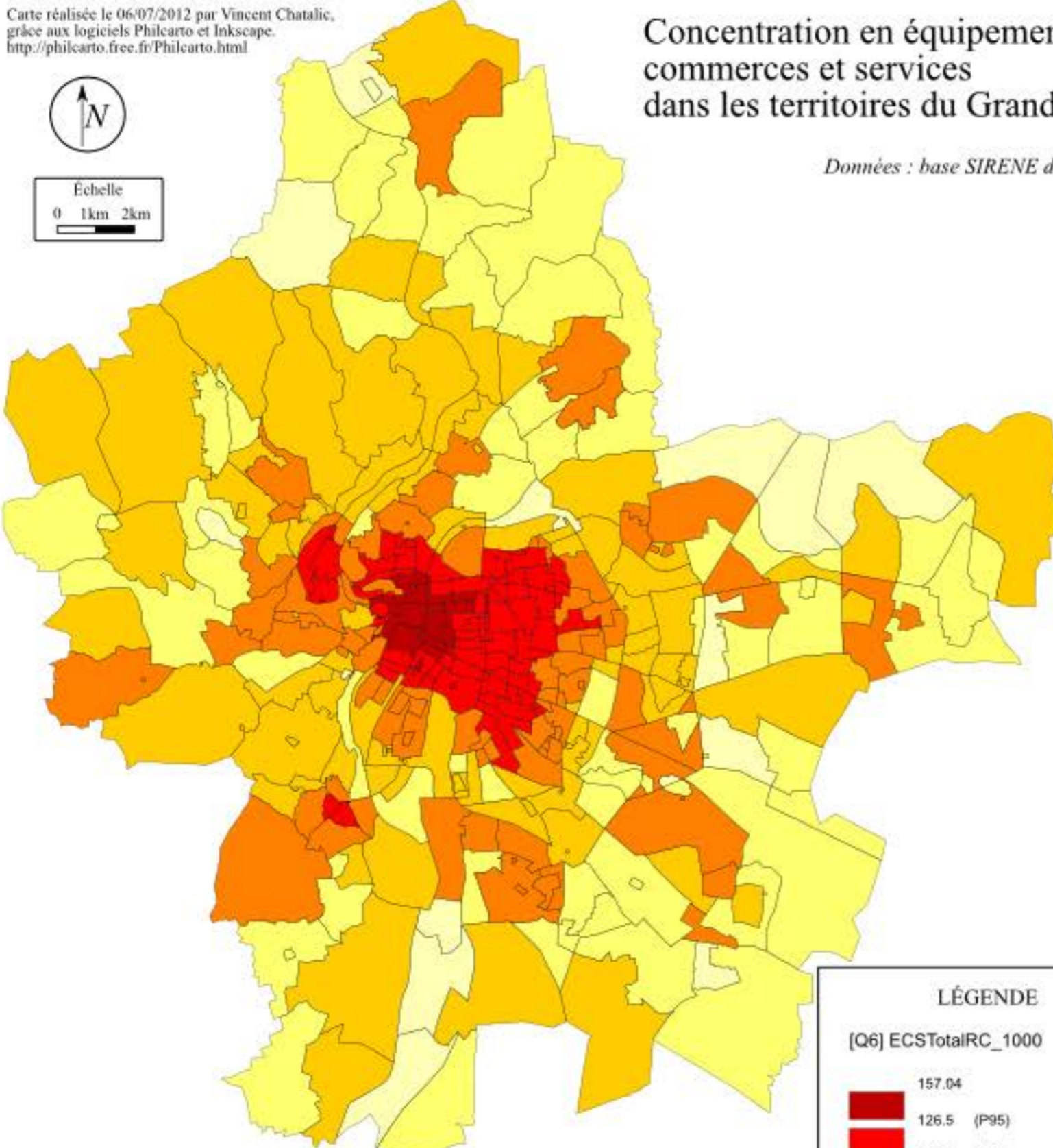


Concentration en équipements, commerces et services dans les territoires du Grand Lyon

Données : base SIRENE de l'INSEE

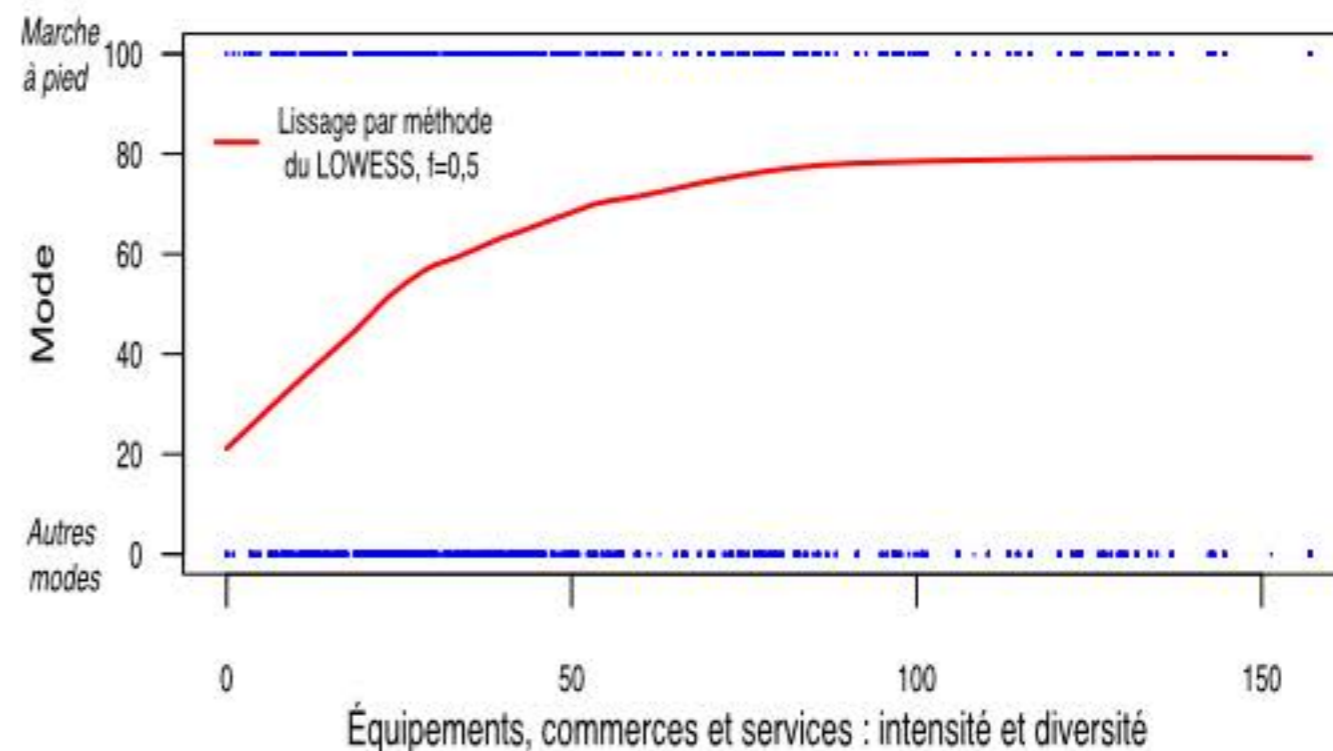


Échelle
0 1km 2km



Effet de ECSTotalRC_1000 sur la pratique de la marche

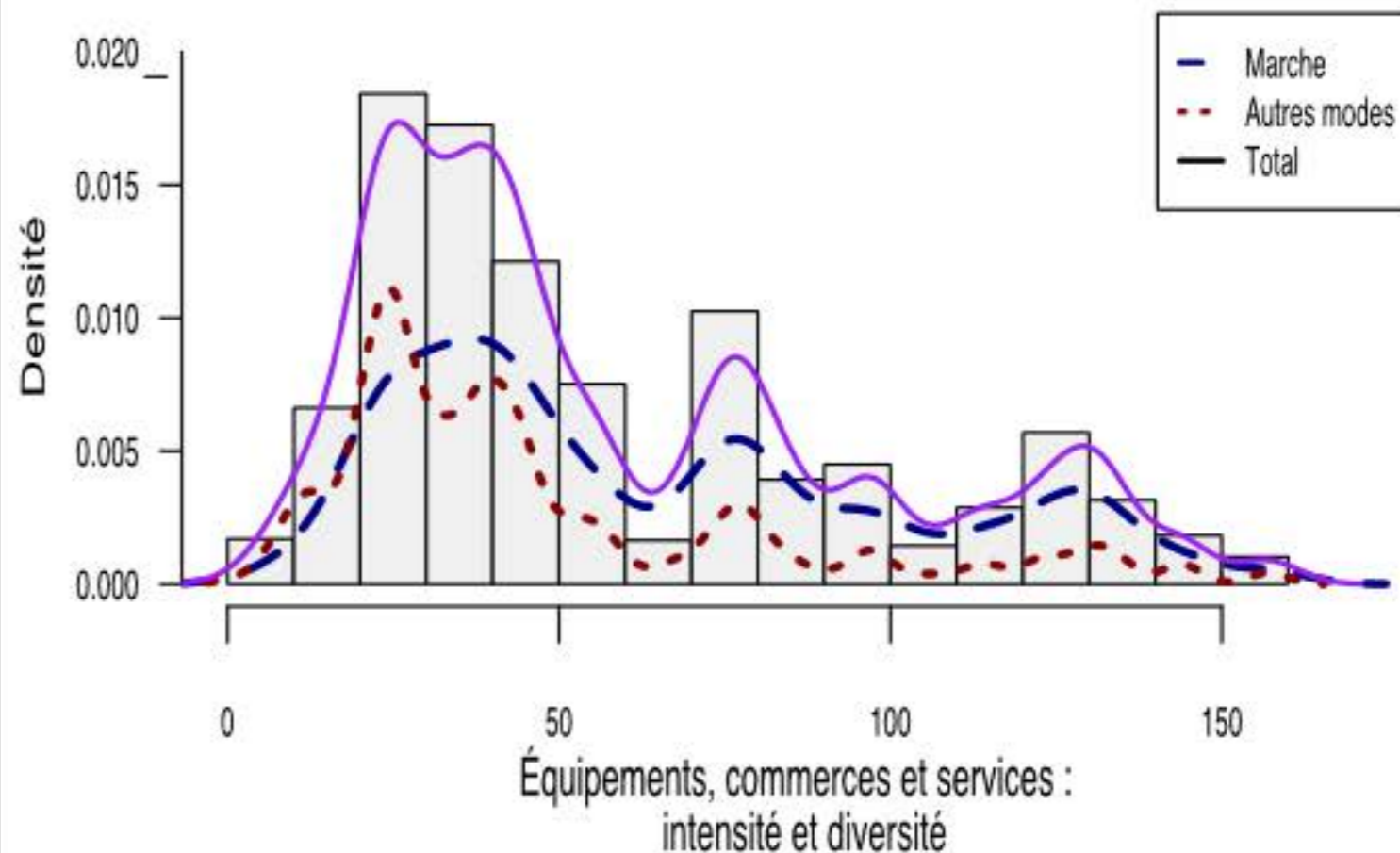
(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)



(La représentation des points et la méthode de lissage ne tiennent pas compte de la pondération)

Distribution de la variable ECSTotalRC_1000

(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)

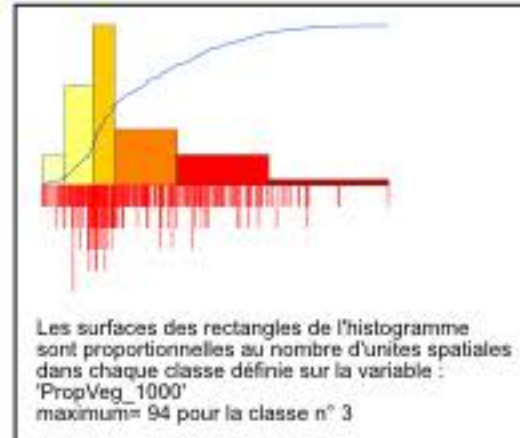
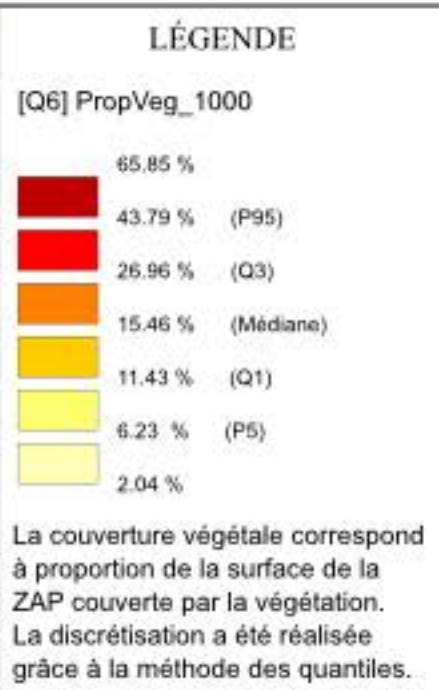
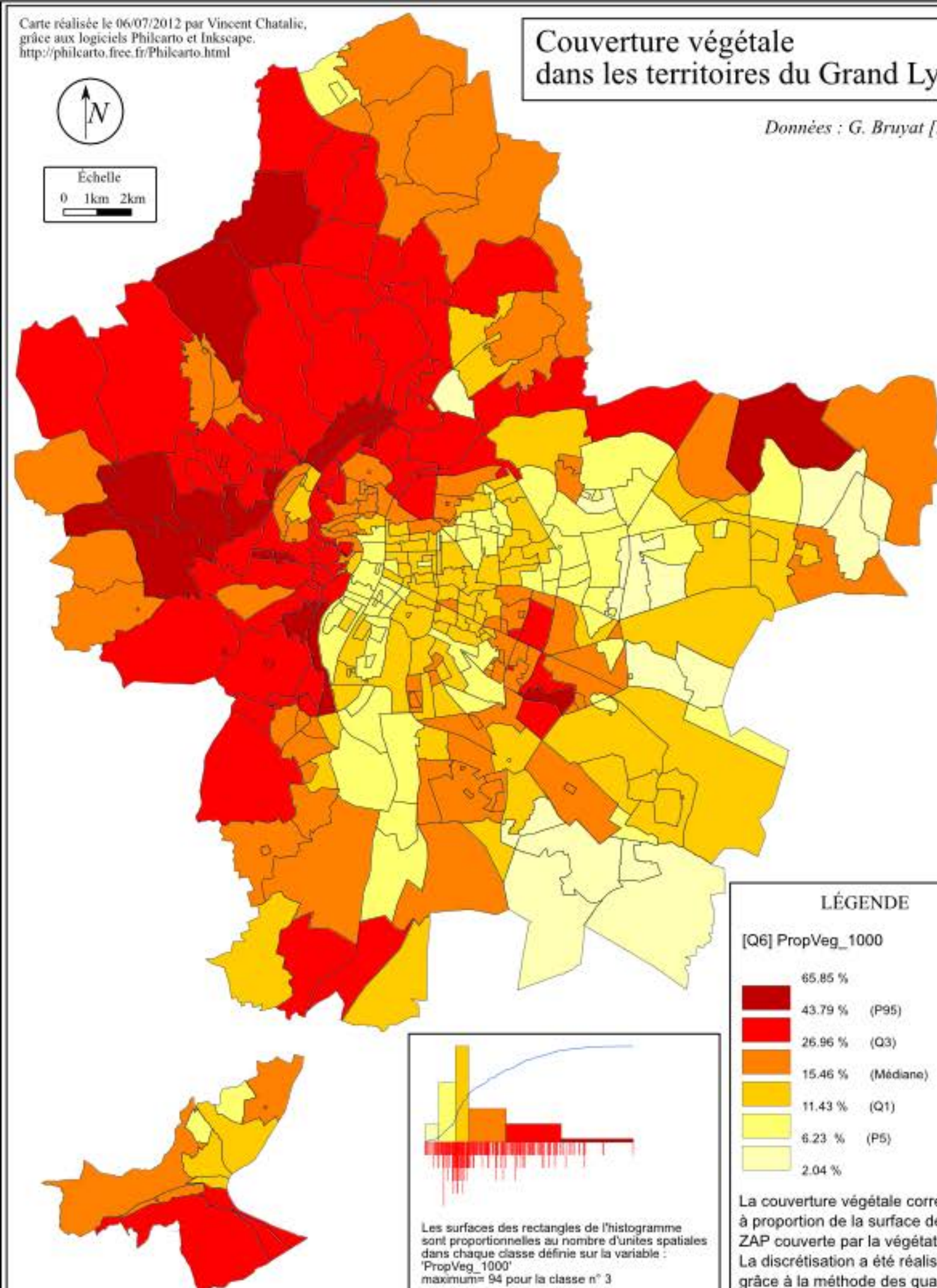


Couverture végétale dans les territoires du Grand Lyon

Données : G. Bruyat [2011]

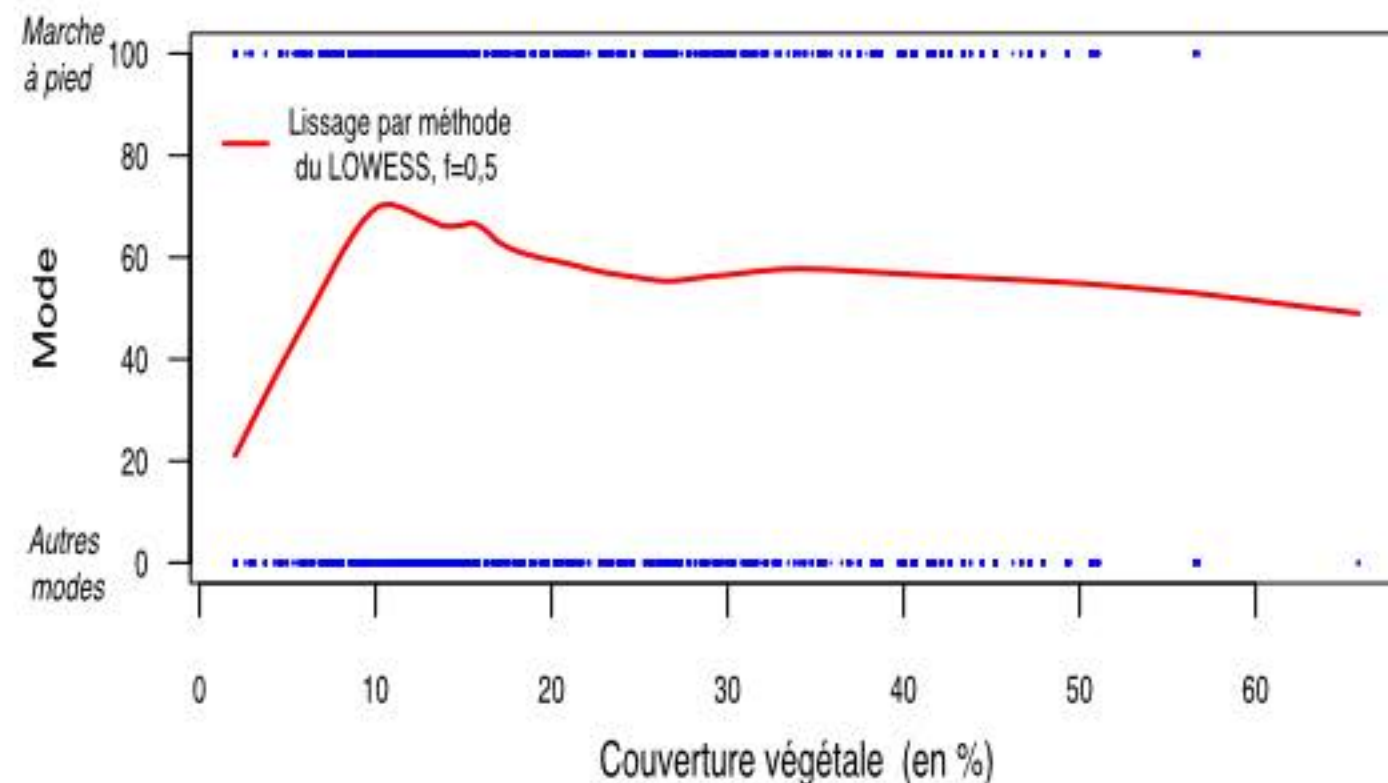


Échelle
0 1km 2km



Effet de PropVeg_1000 sur la pratique de la marche

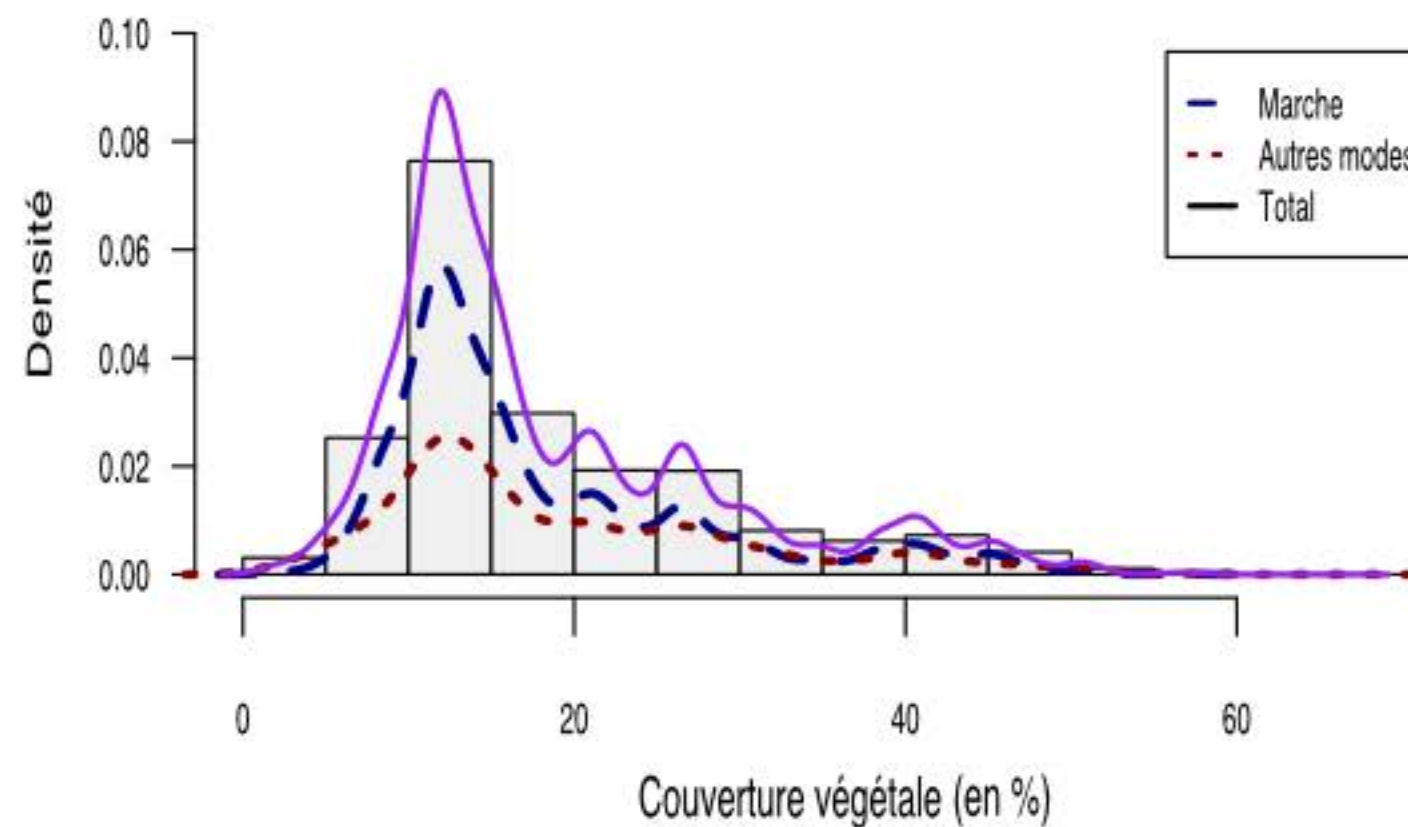
(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)



(La représentation des points et la méthode de lissage ne tiennent pas compte de la pondération)

Distribution de la variable PropVeg_1000

(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)

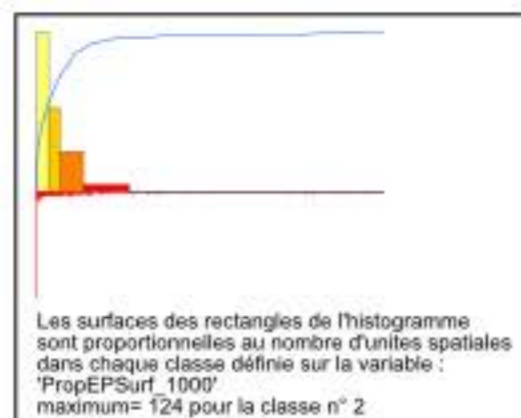
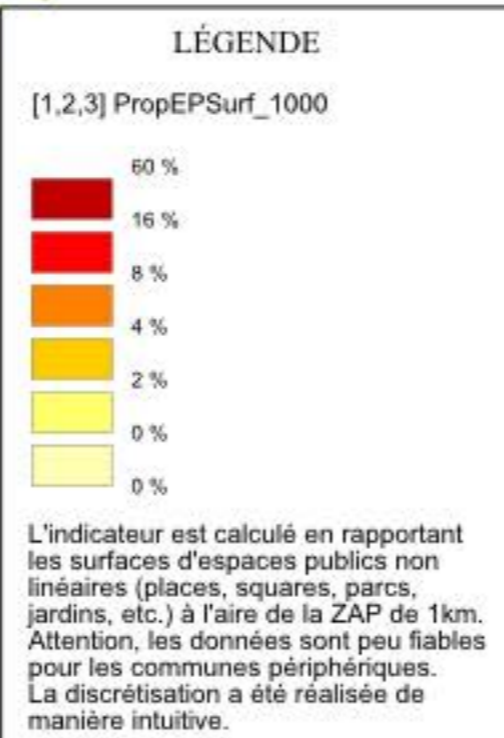
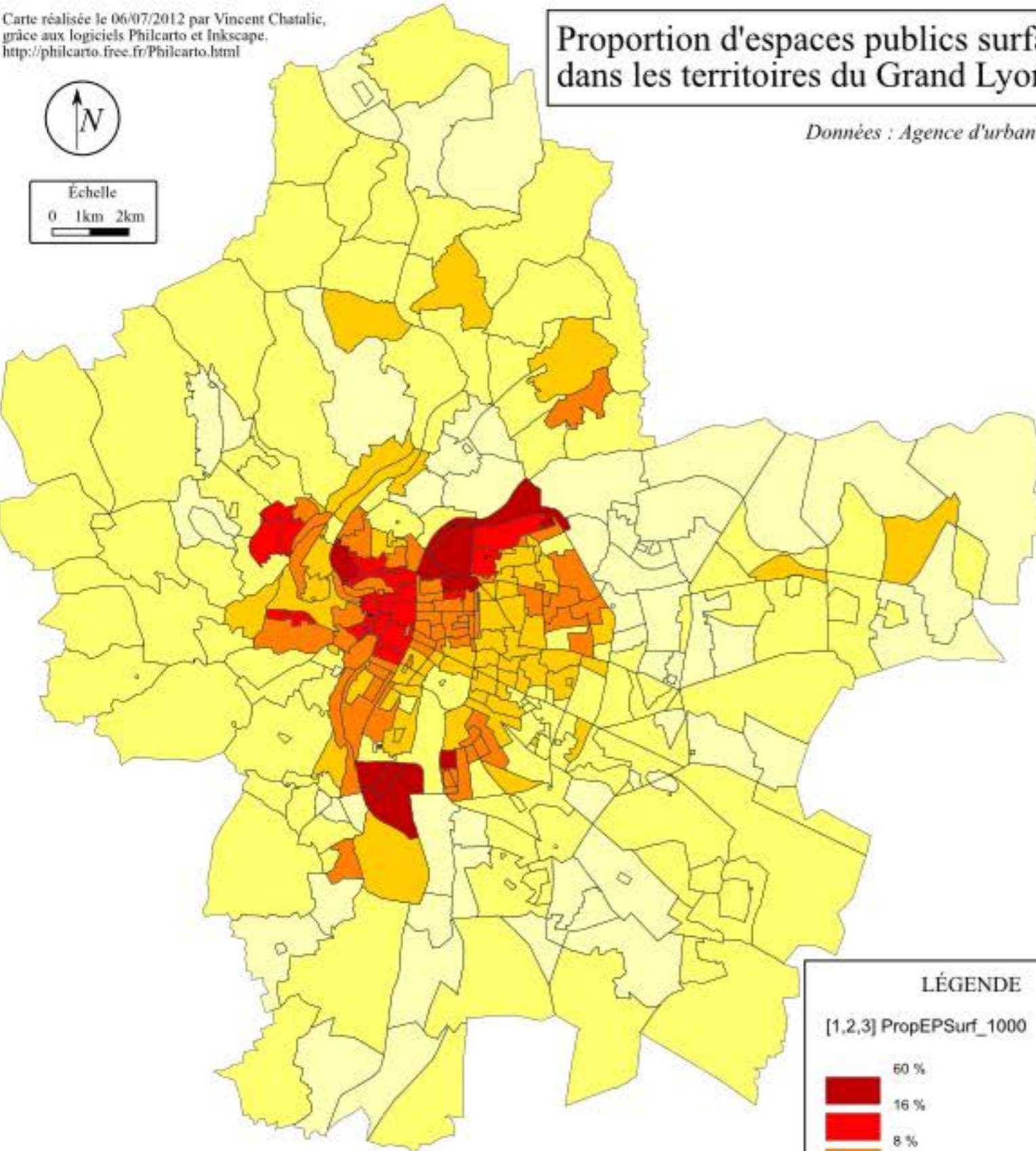


Proportion d'espaces publics surfaciques dans les territoires du Grand Lyon

Données : Agence d'urbanisme de Lyon

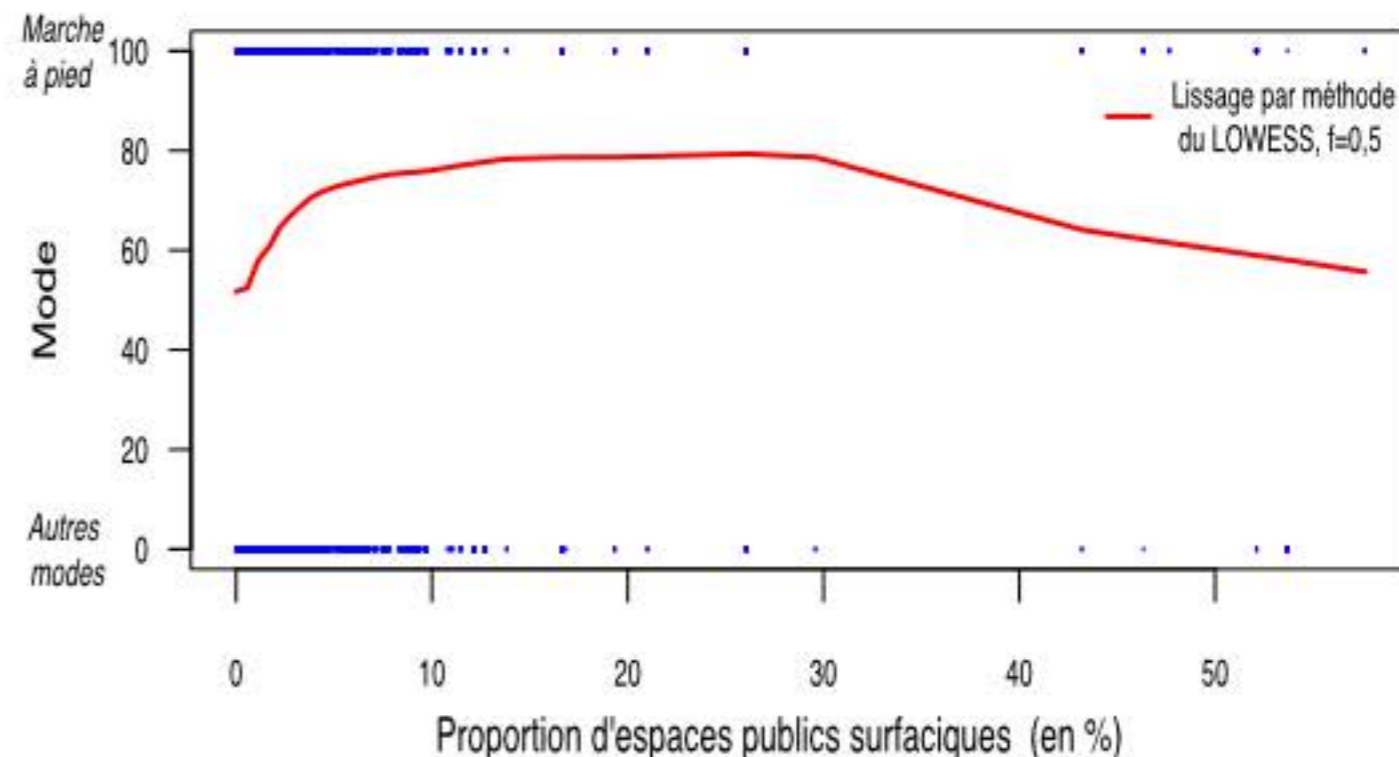


Échelle
0 1km 2km



Effet de PropEPSurf_1000 sur la pratique de la marche

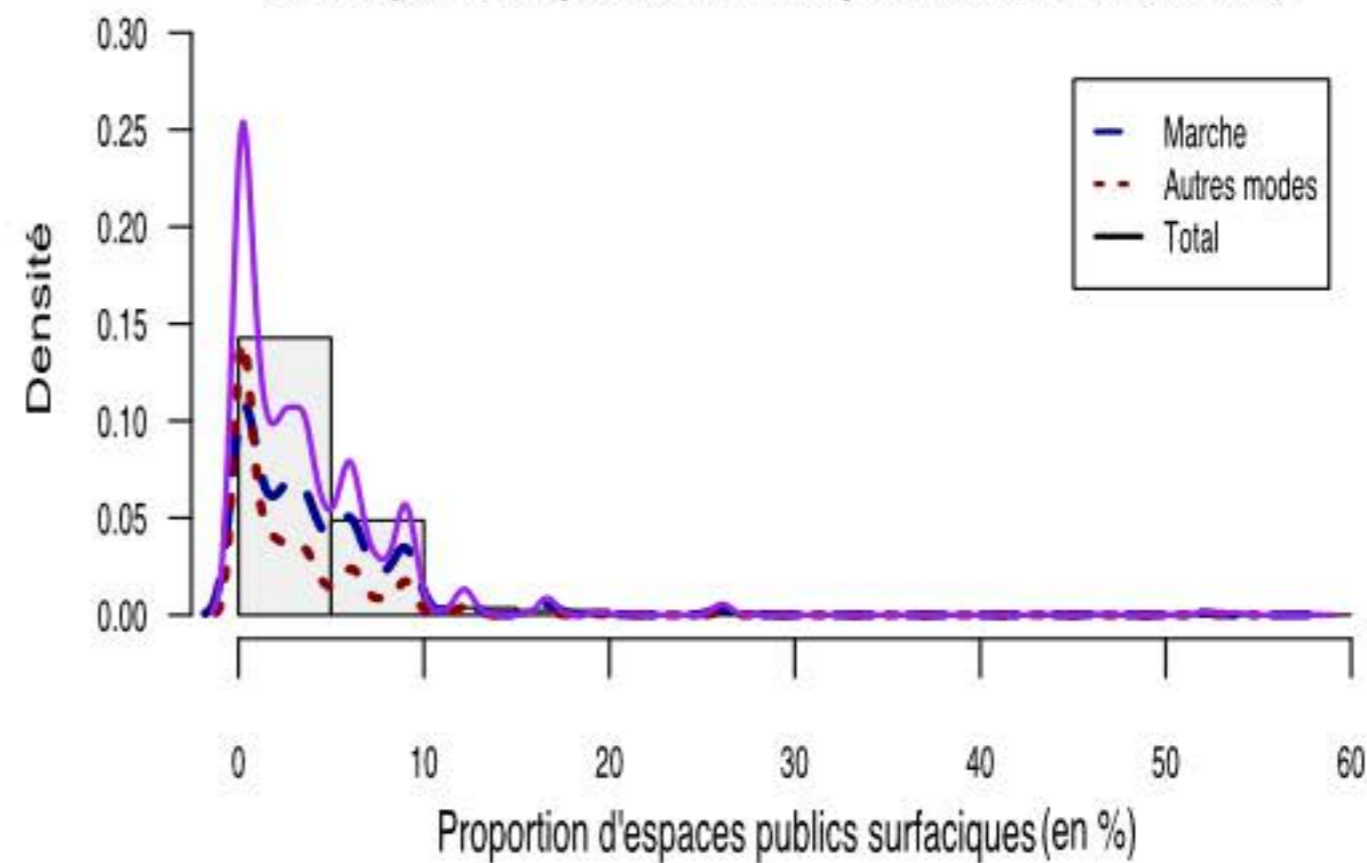
(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)



(La représentation des points et la méthode de lissage ne tiennent pas compte de la pondération)

Distribution de la variable PropEPSurf_1000

(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)

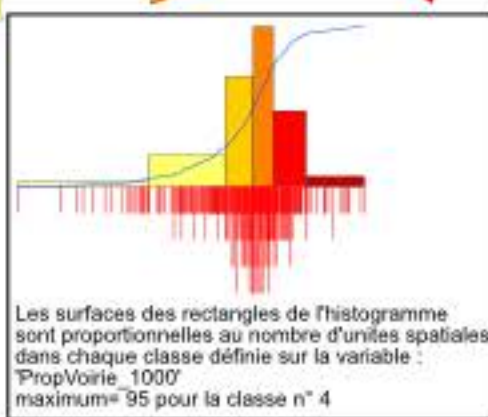
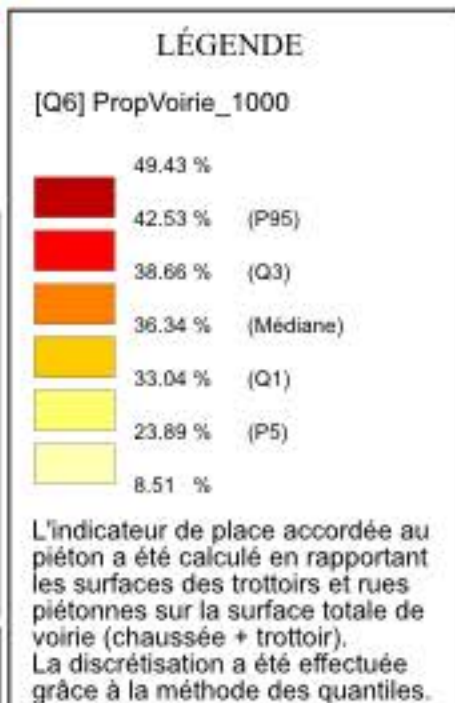
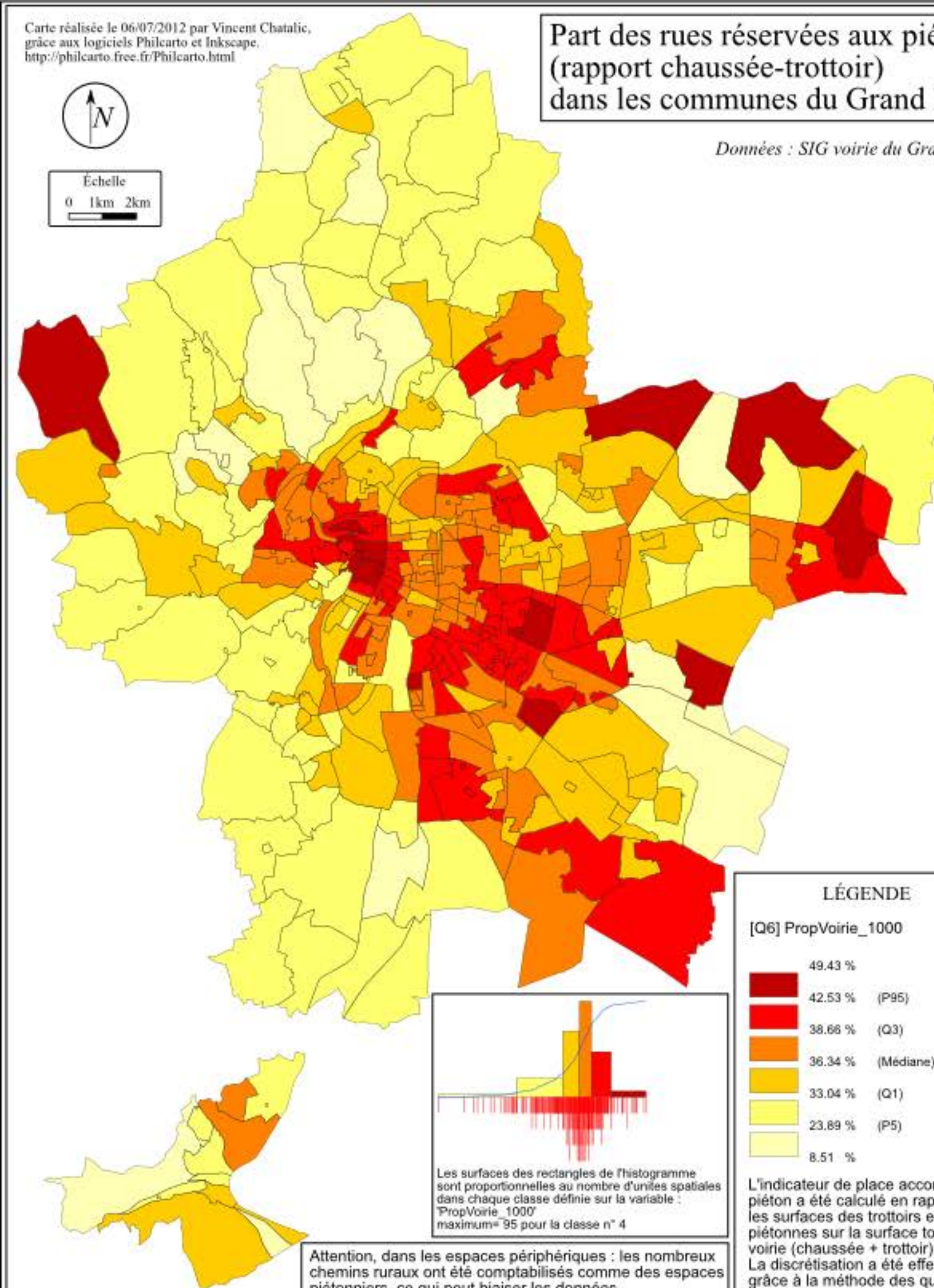


Part des rues réservées aux piétons (rapport chaussée-trottoir) dans les communes du Grand Lyon

Données : SIG voirie du Grand Lyon



Échelle
0 1km 2km

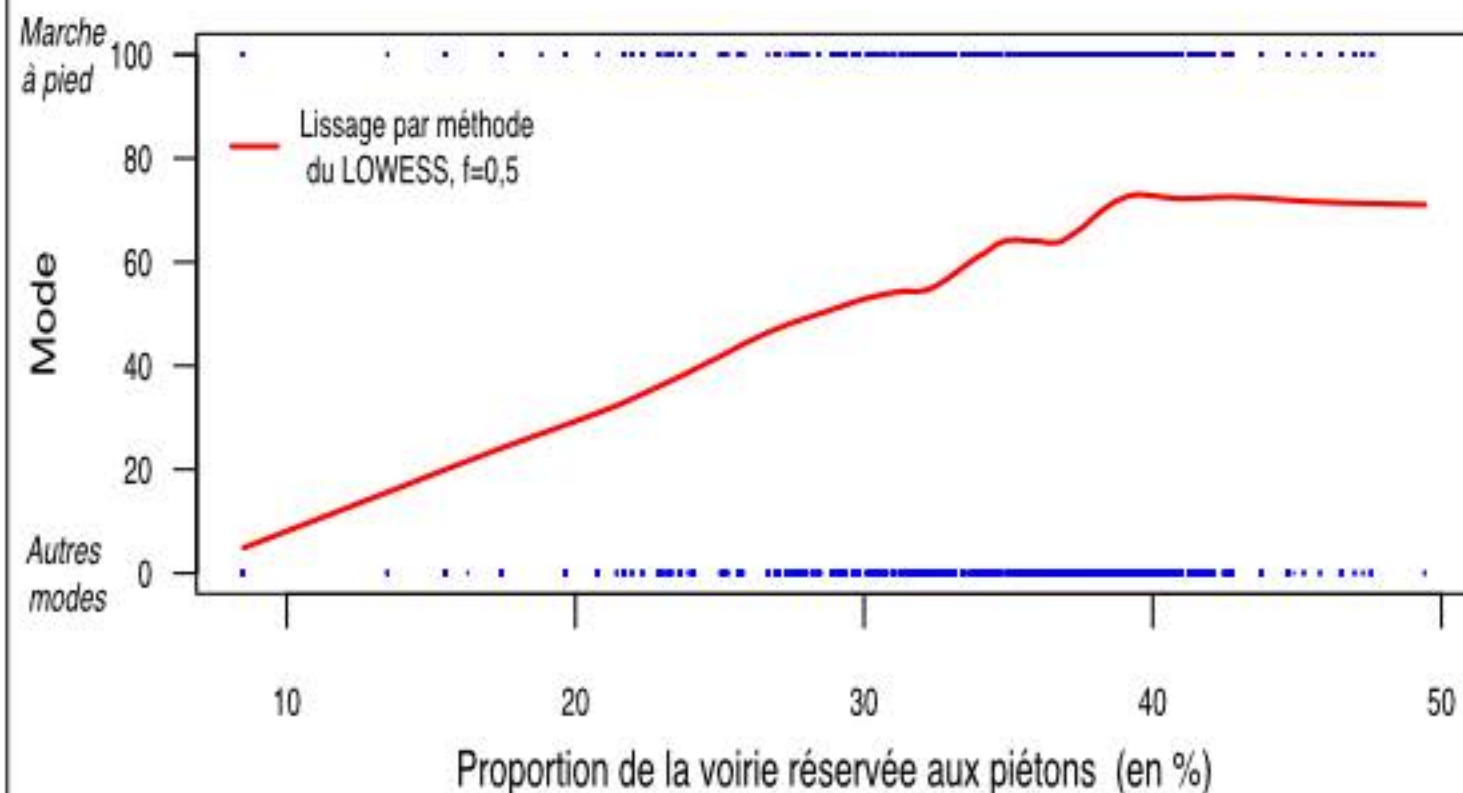


Les surfaces des rectangles de l'histogramme sont proportionnelles au nombre d'unités spatiales dans chaque classe définie sur la variable : 'PropVoirie_1000' maximum= 95 pour la classe n° 4

Attention, dans les espaces périphériques : les nombreux chemins ruraux ont été comptabilisés comme des espaces piétonniers, ce qui peut biaiser les données.

Effet de PropVoirie_1000 sur la pratique de la marche

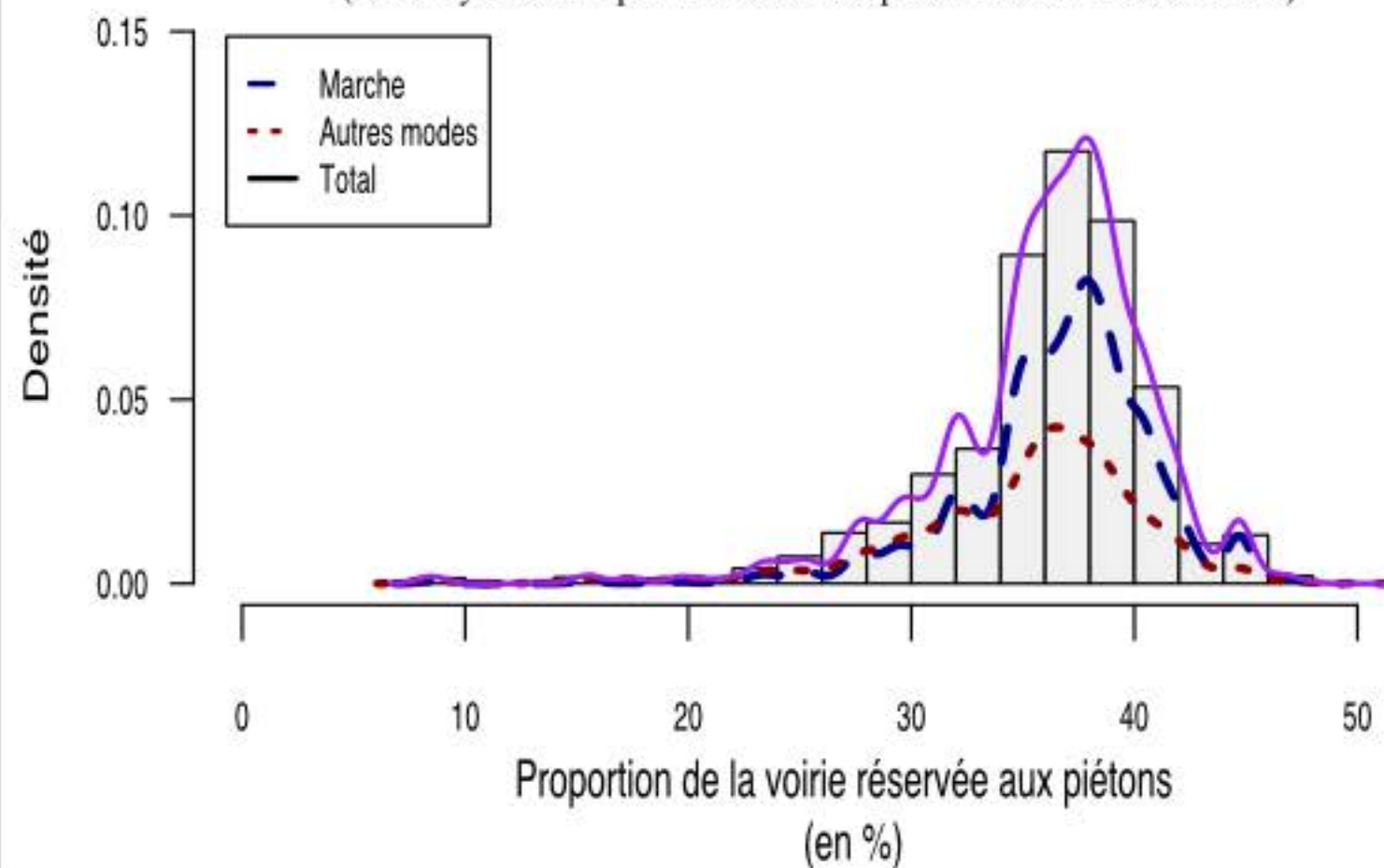
(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)



(La représentation des points et la méthode de lissage ne tiennent pas compte de la pondération)

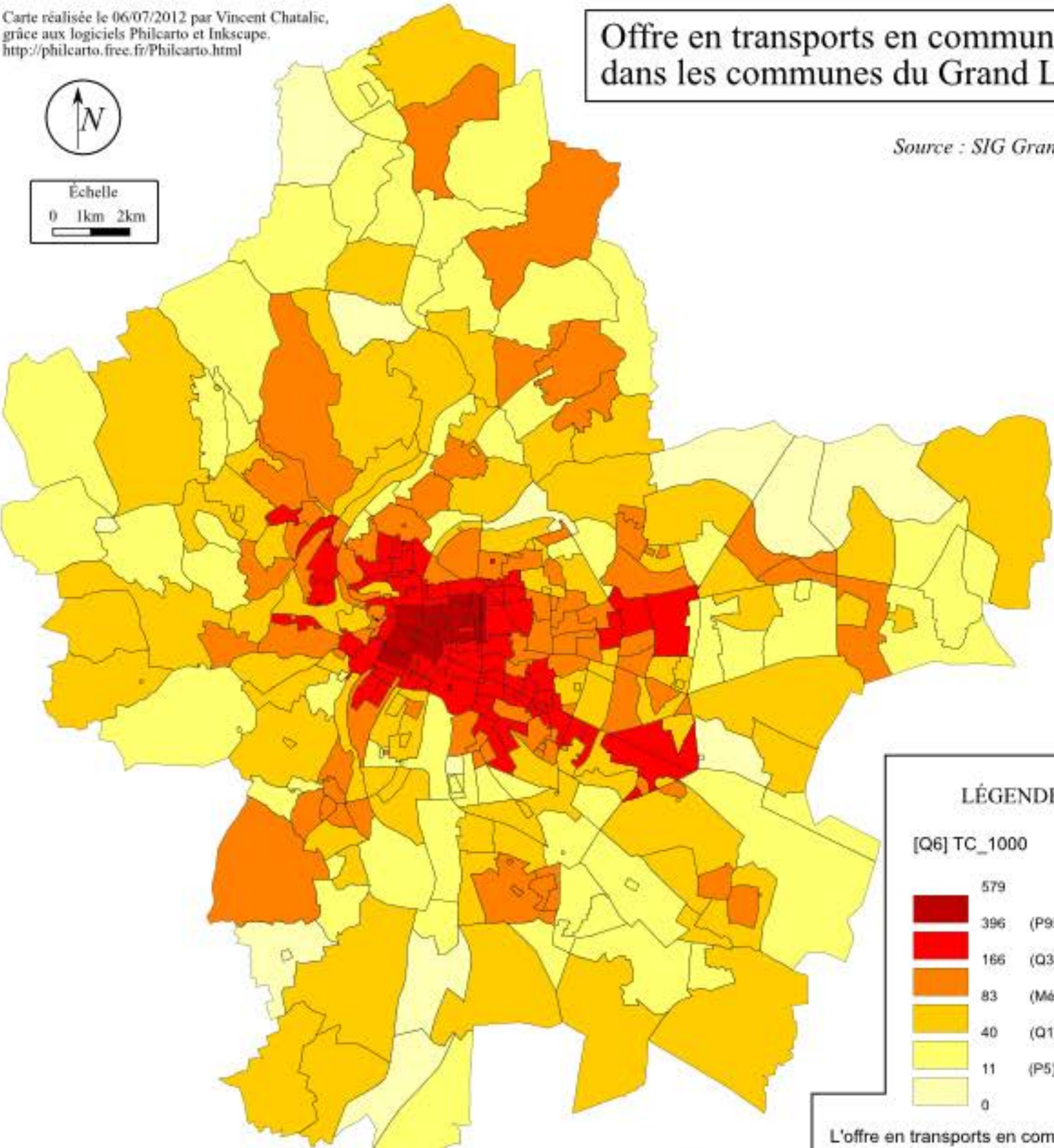
Distribution de la variable PropVoirie_1000

(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)



Offre en transports en commun dans les communes du Grand Lyon

Source : SIG Grand Lyon

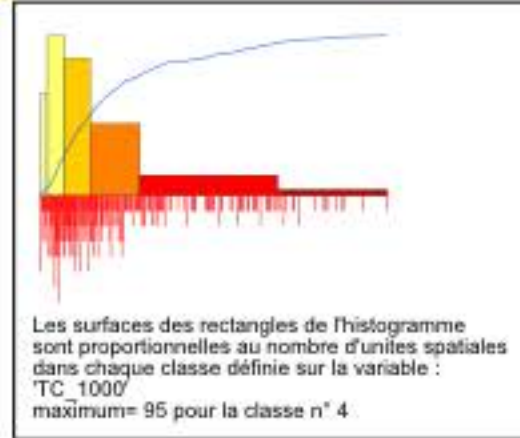


LÉGENDE

[Q6] TC_1000

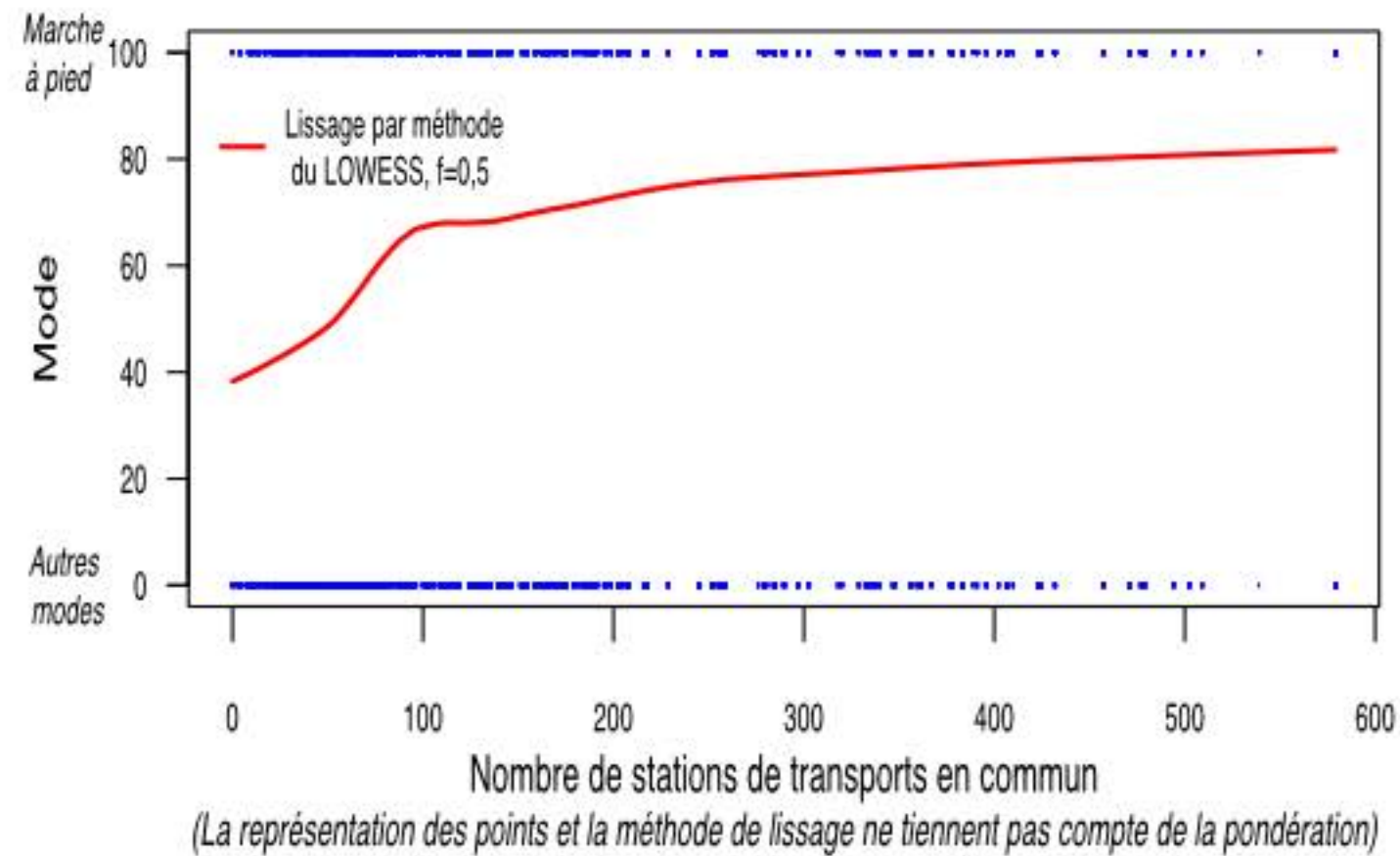
579	
396 (P95)	
166 (Q3)	
83 (Médiane)	
40 (Q1)	
11 (P5)	
0	

L'offre en transports en commun est calculée à partir de toutes les lignes du réseau TCL (métro, tramway, bus urbains, lignes de bus scolaires, spécifiques et interdépartementales ainsi que le service soirée). Un arrêt est comptabilisé pour chaque ligne et chaque sens de circulation. Lors du calcul du total, les arrêts sont pondérés en fonction de leur importance. La discrétisation a été effectuée par la méthode des quantiles.



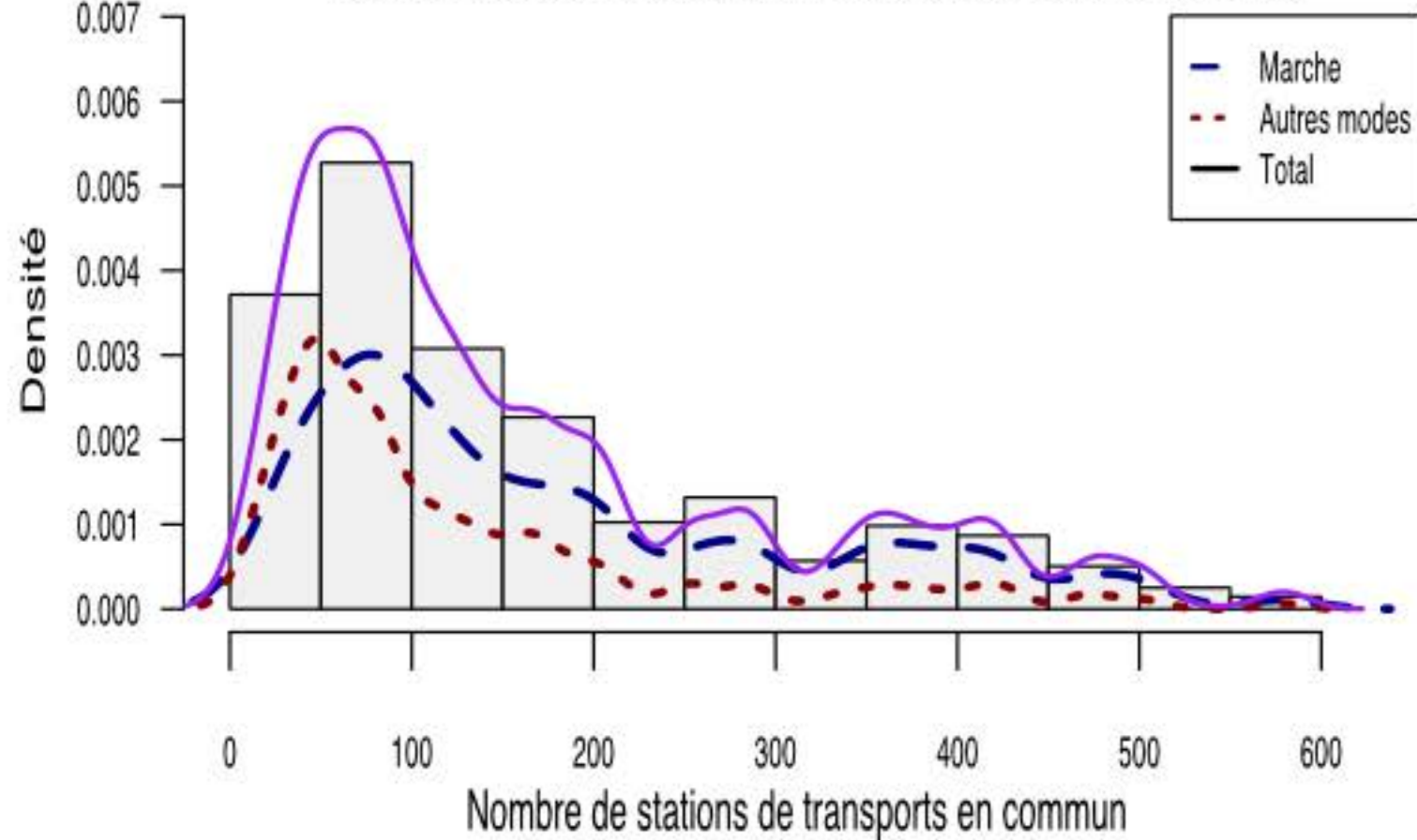
Effet de TC_1000 sur la pratique de la marche

(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)



Distribution de la variable TC_1000

(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)

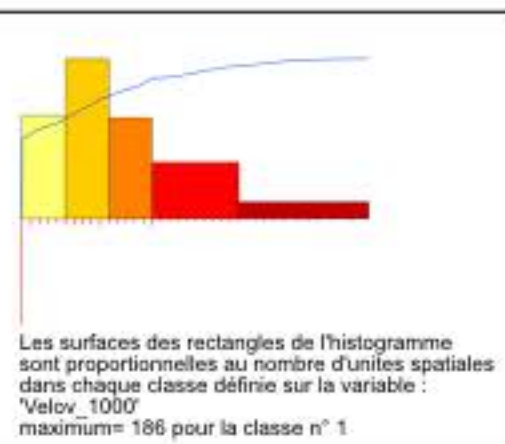
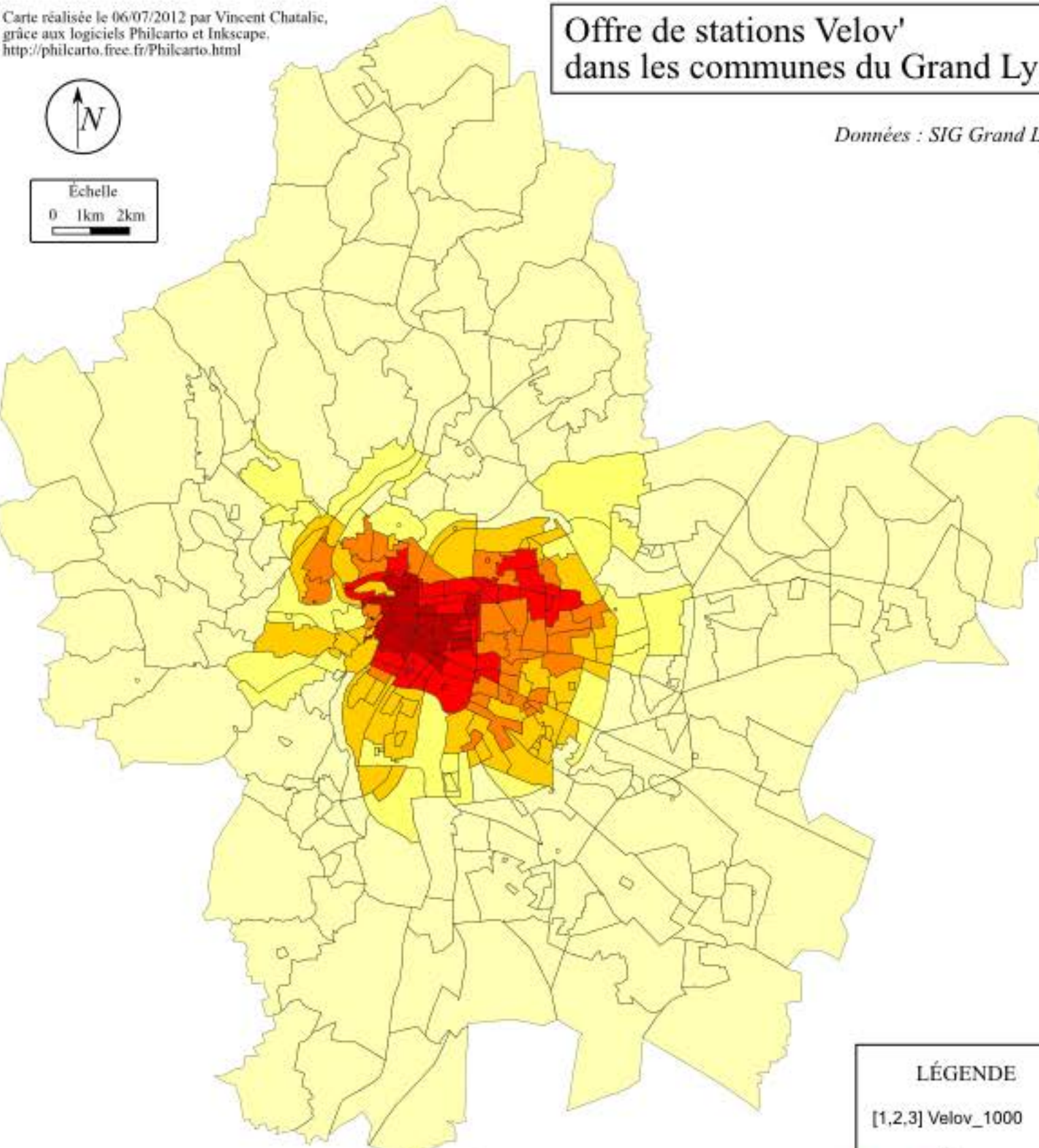


Offre de stations Velov' dans les communes du Grand Lyon

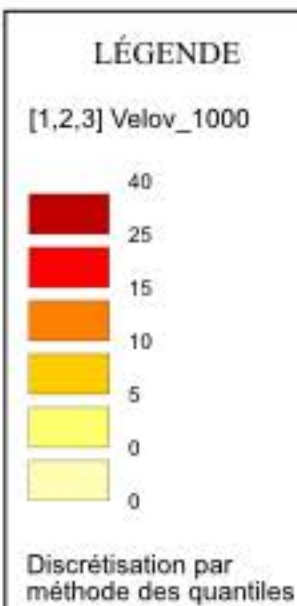
Données : SIG Grand Lyon



Echelle
0 1km 2km

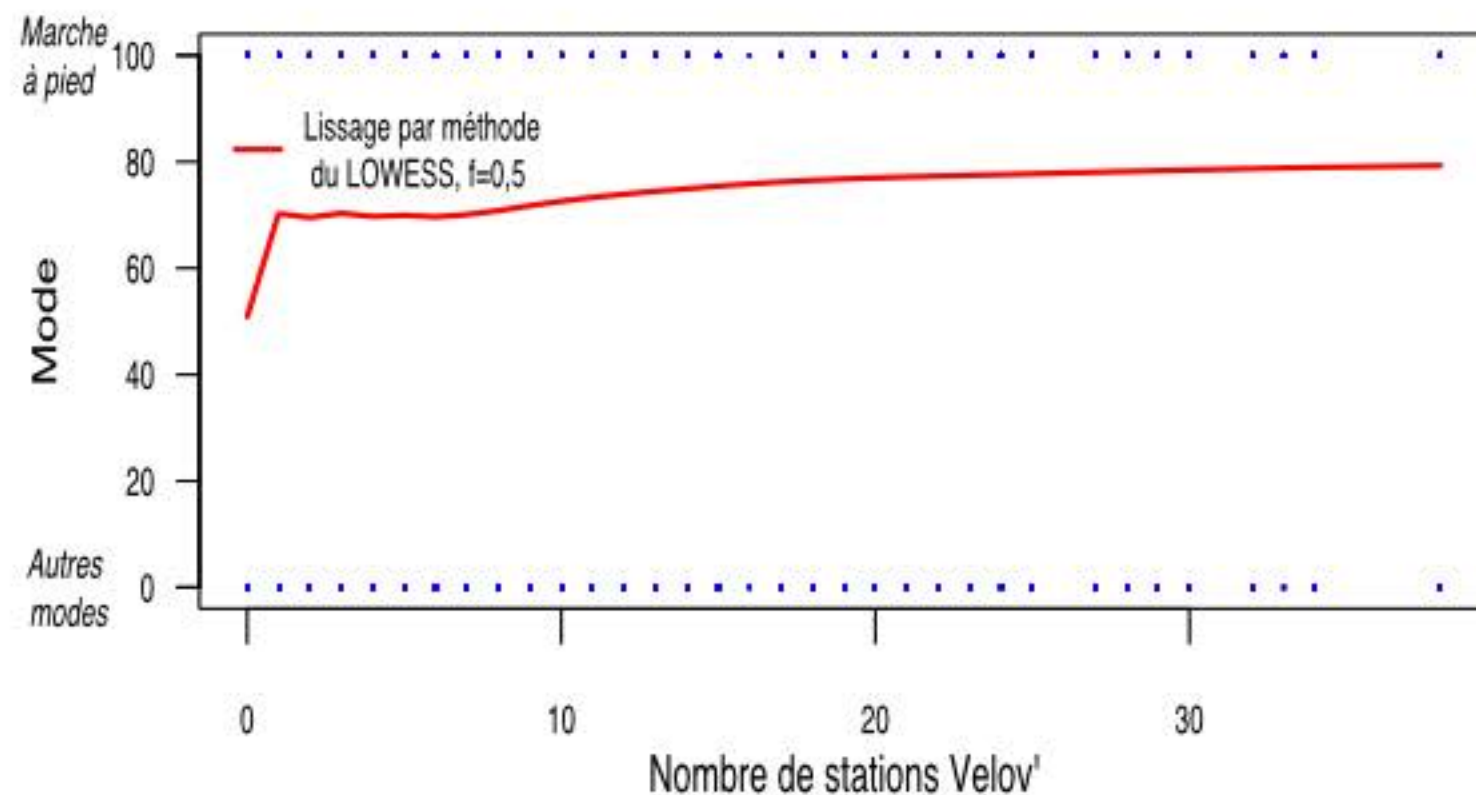


Les surfaces des rectangles de l'histogramme
sont proportionnelles au nombre d'unités spatiales
dans chaque classe définie sur la variable :
'Velov_1000'
maximum= 186 pour la classe n° 1



Effet de Velov_1000 sur la pratique de la marche

(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)



(La représentation des points et la méthode de lissage ne tiennent pas compte de la pondération)

Distribution de la variable Velov_1000

(EMD Lyon 2006 : panel de 23 723 déplacements de moins de 2km)

