

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE



ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

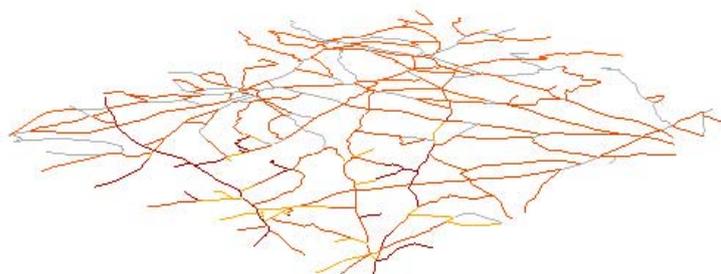


RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU
DEVELOPPEMENT DURABLE
ET DE L'AMENAGEMENT DU
TERRITOIRE

De nouvelles proximités pour une auto-ou
réorganisation de la ville allant dans le sens de la
durabilité.

Vers la ville lente mais accessible

juin 2012



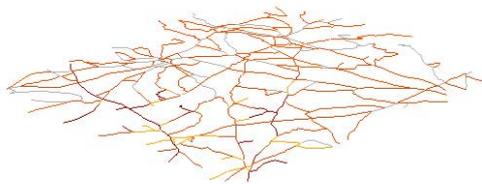
Responsable scientifique
Cyrille Genre-Grandpierre

Cyrille Genre-Grandpierre

Francesco Ciari

Raphael Agu

PREDIT 4
GO 6 Politiques de transport
Subvention
N° 09 MT SU15



De nouvelles proximités pour une auto-
organisation de la ville allant dans le sens
de la durabilité.
Vers la ville lente mais accessible

Partenaires scientifiques



CNRS UMR ESPACE 6012
Avignon
Université d'Avignon
74 rue Louis Pasteur - Case n°17
84029 Avignon Cedex 1 - France
Téléphone : 33-(0)4 90 16 26 94
Contact : cyrille.genre-grandpierre
@univ-avignon.fr



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

ETH Zurich
Institut für Verkehrsplanung und
Transportsysteme (IVT)
Wolfgang-Pauli-Strasse 15
8093 Zürich
SWITZERLAND
Téléphone : +41 44 633 71 65
Contact : Francesco Ciari
ciari@ivt.baug.ethz.ch

Sommaire

1.	Contexte et objectifs du projet	4
1.1.	L'accessibilité actuelle dépend avant tout de la vitesse des déplacements	4
1.2.	L'étalement urbain et la dépendance automobile comme externalités négatives des formes d'accessibilité produites par les réseaux routiers actuels	5
1.3.	L'accessibilité basée sur la vitesse dans les aires urbaines est de plus en plus compromise	6
1.4.	L'objectif du projet : explorer les liens entre régulation des vitesses, accessibilité produite et modalités d'auto-ou réorganisation de la ville pour plus de durabilité	8
2.	Méthodologie.....	10
2.1.	Le modèle d'interactions spatiales de Stewart	10
2.2.	Approche système multi-agents (SMA).....	11
2.3.	Les types de métriques testées	14
2.3.1.	Une baisse des vitesses de 30 %.....	16
2.3.2.	Une homogénéisation des vitesses autour de la valeur 60 km/h	16
2.3.3.	La métrique lente	17
3.	Terrain et résultats	18
3.1.	Présentation du terrain d'étude : l'agglomération de Zurich.....	18
3.2.	Quels effets sur les accessibilités et les satisfactions individuelles des changements de métrique envisagés ?.....	21
3.3.	Quels effets sur les accessibilités et les satisfactions individuelles des changements de métrique envisagés couplés à des reformatages des aménités commerciales	24
3.3.1.	Changement de métrique et homogénéisation de la taille des magasins	27
3.3.2.	Changements de métrique, ajout de magasins et homogénéisation de leur taille : la ville lente mais accessible !.....	29
4.	Conclusions et transition vers le projet DAMA.....	31
5.	Bibliographie.....	33

1. Contexte et objectifs du projet

1.1. L'accessibilité actuelle dépend avant tout de la vitesse des déplacements

L'agglomération des individus peut s'expliquer par l'intérêt qu'ils ont à vivre et à produire à proximité les uns des autres, c'est-à-dire par les avantages qu'apporte à chacun la facilité d'interaction avec les autres. Parmi les avantages liés à l'agglomération, on retrouve évidemment la limitation des coûts de transport, mais également, par exemple, la facilité d'appariement entre l'offre et la demande de travail, qui est liée à la taille et à la variété du marché de l'emploi. « La ville comme produit involontaire d'interactions multiples et aisées entre des acteurs nombreux » (Pumain et Moriconi-Ebrard, 1997), représente donc avant tout un potentiel de co-présence qui constitue la principale des qualités urbaines, en permettant notamment l'émergence des économies d'agglomération (Marshall 1890, Huriot, 1998) et de l'innovation.

Le potentiel d'interactions sociales que représente la ville (nombre d'individus avec qui il est possible d'entrer en contact, au départ d'un lieu donné et en un temps donné), qui n'est rien d'autre que la mesure de l'accessibilité à la population, dépend à la fois de la distribution de la population (sa plus ou moins grande densité), mais aussi des conditions de transport et plus particulièrement de la vitesse des déplacements. À distribution fixe de la population, plus la vitesse est élevée, plus le potentiel d'interaction sociale est fort.

Jusqu'à l'ère de la mobilité facilitée et peu coûteuse, c'est-à-dire jusqu'à la généralisation de l'usage de l'automobile, la valeur du potentiel d'interaction dépendait essentiellement de la densité de population. Seule l'agglomération spatiale des individus permettait d'assurer un potentiel suffisant pour satisfaire les besoins des individus et de l'économie. C'était le temps de la ville dense et compacte, avec un seul centre maximisant les possibilités d'interactions.

Avec la mobilité automobile, l'attractivité relative des lieux liée à leur accessibilité a été fondamentalement redistribuée. En effet, grâce à la vitesse automobile, avec un budget-temps de transport quotidien constant moyen de l'ordre d'une heure (cf. la conjecture de Zahavi, 1980, même si cette moyenne cache en réalité de fortes disparités, cf Joly, 2005 pour plus de détails), il est devenu possible d'obtenir un bon potentiel d'interactions sociales, tout en s'éloignant des zones denses. Le recours à la vitesse automobile, permise par une énergie peu coûteuse, a offert la possibilité d'élargir l'espace des localisations possibles. Il a permis de s'e-s-p-a-c-e-r tout en garantissant un bon niveau d'interactions. Le « capital spatial » des lieux en termes de possibilités d'interactions a été redistribué. Les « périphéries » sont notamment devenues très attractives puisque la vitesse des déplacements automobiles, due à la présence d'infrastructures routières rapides, leur confère un excellent potentiel d'interactions (Genre-Grandpierre, 2008) et qu'en outre elles offrent d'autres attraits en termes de prix du foncier pour l'accession à la propriété, de calme, de qualité de vie, d'environnement, de paysage etc. Le centre historique n'est alors plus qu'un des endroits où le potentiel d'interactions est fort. Il est en concurrence avec d'autres lieux pour lesquels le potentiel se construit non plus sur la densité et la proximité, mais sur la vitesse des déplacements. Ainsi, la vitesse (automobile) est devenue le principal vecteur de l'accessibilité, entendue comme la facilité au départ d'un lieu à

accéder à un autre lieu ou une ressource localisée. C'est elle qui permet la « ville à la carte », que l'on habite dans l'urbain dense ou pas.

Ainsi, l'accessibilité dans les territoires urbains est aujourd'hui essentiellement obtenue en jouant sur la vitesse au détriment des structures spatiales, c'est-à-dire de la distribution des aménités et de la population. Tout est plus ou moins accessible dans l'espace-temps des réseaux de transports. En outre, à cette liberté d'installation permise par la configuration contemporaine des niveaux d'accessibilité, s'est ajoutée la hausse de la valeur ajoutée par kilogramme de produits transportés qui a réduit le coût relatif du transport et ainsi élargit l'espace des possibles pour les localisations industrielles.

Dans les dernières décennies les ingénieurs transport ont donc pris le pas sur les géographes, puisque le poids de la distance physique entre les lieux dans la définition des niveaux d'accessibilité a diminué au profit de la distance temps, elle-même conditionnée par la structure morpho-fonctionnelle des réseaux de transport. En bref, « peu importe les localisations, la vitesse des déplacements rendra tout accessible et donc toute localisation possible ».

1.2. L'étalement urbain et la dépendance automobile comme externalités négatives des formes d'accessibilité produites par les réseaux routiers actuels

Ce rôle de l'accessibilité, et conséquemment de la mobilité automobile, comme grande organisatrice des territoires est aujourd'hui largement reconnu (Wiel, 2002 ; Dupuy, 1995), même si les interactions transport-urbanisme ne sont pas encore totalement maîtrisées. Concernant ces interactions, nous avons pu montrer que les formes d'accessibilité produites par l'automobile et le réseau routier ont non seulement permis la dispersion des lieux de vie, avec pour corollaire la dépendance automobile, mais qu'elles l'ont même encouragée et précipitée (Genre-Grandpierre, 2007). Rappelons que l'accessibilité générée par les réseaux routiers actuels, qui sont hiérarchisés par la vitesse, n'est pas proportionnelle au temps de transport. En effet, plus on va loin, plus le réseau est efficace car plus la part des trajets qui s'effectuent sur des infrastructures rapides est importante (figure 5). L'accessibilité n'étant pas strictement proportionnelle au temps de trajet, on peut affirmer, relativement au rapport entre le nombre d'opportunités qui s'offrent à un individu et le temps de transport qu'il consent, que chaque minute de plus passée avec une automobile sur un réseau routier a une valeur en termes d'accessibilité supérieure aux minutes précédentes.

Tout se passe comme si la métrique des réseaux « poussait » les individus à rester toujours un peu plus sur le réseau et donc à aller toujours un petit peu plus loin afin d'élargir leur choix, sans pour autant payer cette décision par des temps de transport augmentant dans la même proportion. C'est pourquoi cette métrique « accélérante » des réseaux routiers actuels peut être considérée comme un « moteur de l'étalement urbain », ou du moins comme une incitation à ne pas chercher à agencer ses lieux de vie selon des critères de proximité physique. Ceci étant vrai quelle que soit la localisation du domicile, puisque cette métrique est valable d'où que l'on parte et où que l'on aille. Quelle que soit la localisation du domicile (centre-ville historique ou périphéries plus ou moins lointaines), la métrique des réseaux permet donc aux individus d'espacer leurs lieux de vie, de vivre au sein de territoires toujours plus larges, sans pour autant alourdir dans les mêmes proportions leur budget-temps de transport.

Précisons que le coût monétaire des trajets n'a pas suffisamment joué le rôle de frein à cette distanciation des lieux de vie. D'une part parce que les coûts de la mobilité automobile sont très largement méconnus et sous-estimés par les ménages (de même que par les banques qui prêtent pour l'accession à la propriété en périphérie le plus souvent sans intégrer ces coûts dans le calcul des capacités de remboursement des ménages). D'autre part parce que, sans réelle solution alternative de transport ou de choix de logement crédible, l'utilité procurée par la (les voitures) a su faire oublier ses coûts, au moins jusqu'à l'augmentation récente du prix des carburants qui risque de re-questionner fortement les situations établies.

Par ailleurs, d'un point de vue plus spécifiquement lié à la thématique du transport, l'efficacité croissante des réseaux avec la portée des trajets rend difficile la possibilité d'équilibrer les niveaux d'offre des différents modes. En effet, contrairement à l'automobile, pour le vélo et la marche l'accessibilité n'est au mieux que proportionnelle au temps de transport, car les vitesses sont relativement constantes quel que soit le type de voies empruntées. Quant au bus ou au tramway, la métrique accélérante peut exister, mais elle est le plus souvent peu marquée en raison de l'obligation de faire des arrêts réguliers, ou par les ruptures de charge en cas de trajets multimodaux, ce qui limite l'accroissement de l'efficacité avec la portée des trajets.

La métrique actuelle des réseaux routiers revient donc à assurer structurellement la supériorité de l'automobile en termes d'efficacité dès lors que les trajets s'allongent alors que, dans le même temps, tous les Plans de Déplacements Urbains s'efforcent de limiter la dépendance automobile, notamment par l'amélioration de l'offre de transport public. Ainsi, la structure des réseaux routiers actuels, basée sur la hiérarchisation par la vitesse, paraît jouer un rôle contre-productif par rapport à l'objectif de parvenir à des structures spatiales permettant une mobilité durable.

1.3.L'accessibilité basée sur la vitesse dans les aires urbaines est de plus en plus compromise

Si depuis des décennies ce rôle central de l'accessibilité automobile sur la construction et le fonctionnement des territoires n'a cessé de se renforcer, il apparaît aujourd'hui de plus en plus certain que ce fonctionnement territorial basé sur la vitesse automobile n'est pas durable. Comme nous l'avons vu, l'organisation actuelle des territoires, en particulier l'attractivité des zones les plus périphériques et les moins denses dans l'espace euclidien, n'a de sens que si la vitesse des déplacements permet d'assurer, sous contrainte d'un budget-temps de transport donné de l'ordre d'une heure, un bon potentiel d'interactions. Par exemple, les formes commerciales actuelles de la grande distribution (hypermarchés) ne sont viables que si leurs aires de chalandise sont en adéquation avec leur taille ; ce qu'a jusqu'à présent permis la métrique rapide des réseaux routiers. Rappelons que l'aire d'attraction de certains hypermarchés dépasse les 50 kilomètres de rayon avec des temps d'accès de l'ordre d'une quarantaine de minutes. Avec l'augmentation continue des vitesses de déplacement on a pu voir la surface totale de magasins augmenter à raison d'environ 2 millions de m² supplémentaires par an en moyenne et dans le même temps le nombre de magasins, lui, diminuer d'environ 1 % par an (Beauvais consultant, 2003).

Or, cette accessibilité basée sur la vitesse automobile, qui conditionne la forme et le fonctionnement des territoires, paraît devoir être de plus en plus compromise. En effet, depuis quelques années les vitesses moyennes de déplacement en zones urbaines tendent à stagner, voire à diminuer. Ce phénomène s'explique par la diminution des investissements dans le réseau routier (investissements qui jusqu'alors allaient dans le sens d'apporter toujours plus de vitesse et qui aujourd'hui s'orientent davantage vers une régulation des vitesses, sous la « pression » du Grenelle de l'environnement notamment et des problèmes liés au financement des infrastructures), mais aussi, et surtout, par l'augmentation du trafic et de la congestion qui diminuent les vitesses effectives. L'apparition ponctuelle de friches de lotissements est une traduction de cette baisse des vitesses qui fait de territoires qui possédaient toutes les qualités en termes de cumul des avantages ville-campagne avec une bonne accessibilité, des territoires qui n'en présentent plus aucune, car devenus trop éloignés de tout lorsque l'accessibilité décline.

Par ailleurs, le vieillissement de la population, mais surtout l'augmentation du prix des carburants, qui semble incontournable à court ou moyen terme, vont dans ce même sens d'une augmentation du coût généralisé de la mobilité, et donc d'une remise en cause d'une accessibilité basée sur la seule vitesse automobile.

Si cette nécessité de questionner à nouveau les structures territoriales pour envisager la possibilité d'une « ville post-carbone » (<http://ville-post-carbone.typepad.com/>) fait peu ou prou l'unanimité, les formes territoriales à promouvoir et surtout les moyens pour les atteindre restent en revanche plus que discutés. En admettant qu'un consensus existe pour aller vers la ville dense, la ville des courtes distances, la ville cohérente, etc reste la question du comment atteindre ces formes urbaines plus « vertueuses » sans faire table rase des structures héritées et sans s'opposer trop frontalement aux aspirations réelles ou supposées des individus ?

Dit autrement, alors que la construction et le fonctionnement des territoires actuels ont valorisé la vitesse chargée de permettre pour tous le fonctionnement des territoires à la carte, on peut s'interroger sur la possibilité de maintenir une bonne accessibilité au sein des territoires, condition nécessaire à la vie quotidienne et au développement économique, mais en la rendant moins dépendante de la vitesse automobile et donc plus durable. Cela revient donc à vouloir revaloriser le poids des structures spatiales et plus particulièrement de la densité dans le calcul de l'accessibilité. La question est donc de savoir si l'on peut aller vers des territoires lents, mais qui restent accessibles et de préférence sans voiture ?

Imposer des seuils de densité, dicter les localisations, tant des ménages que des activités, à partir d'un schéma préétabli semblant très difficile eu égard aux marges de manœuvre dont dispose la puissance publique, il semble plus raisonnable, sachant que les territoires sont largement issus de processus d'auto-organisation où chaque décision individuelle se rajoute à celles des autres pour, au final construire des territoires dont les plans d'ensemble n'ont pas été projetés globalement, de chercher les leviers qui permettraient d'infléchir ces processus d'auto-organisation (en jouant en particulier sur les choix individuels de localisation des individus et activités) pour qu'ils aillent dans le sens de la durabilité.

1.4.L'objectif du projet : explorer les liens entre régulation des vitesses, accessibilité produite et modalités d'auto-ou réorganisation de la ville pour plus de durabilité

Dans la mesure où l'augmentation de la vitesse des déplacements a engendré la construction et le fonctionnement non durables des territoires actuels, on peut penser que c'est d'une diminution de cette vitesse que peut venir la solution. Reprenant à leur compte ce raisonnement, beaucoup de spécialistes de la mobilité et de l'aménagement ont fait de la baisse des vitesses leur cheval de bataille (Wiel, 2002). La traduction pratique du raisonnement a d'ailleurs été relativement rapide puisque de plus en plus d'agglomérations (Grenoble, Strasbourg, Nantes, etc.) se lancent ou vont se lancer dans des politiques de régulation de la vitesse. Ces dernières prennent des formes variables : cela va de la mise en place de zones 30, qui visent à limiter les nuisances environnementales en ville et à améliorer la sécurité, aux expériences de baisse des vitesses sur les voies rapides et autoroutes, avec pour objectif principal l'amélioration de la fluidité du trafic, sachant que la courbe débit vitesse atteint un optimum aux alentours de 70 km/h (SMESDRG, 2005).

Malheureusement, la régulation des vitesses, telle qu'elle est pratiquée aujourd'hui, paraît manquer d'un plan d'ensemble pour parvenir à remettre en cause l'automobilisation des territoires et pour œuvrer en profondeur à la redéfinition des qualités comparatives des lieux et espérer, à terme, un reformatage du territoire permettant des formes d'accessibilité moins dépendantes de la vitesse. Les actions actuelles apparaissent en effet trop ponctuelles (souvent limitées aux parties les plus denses des agglomérations ou à quelques axes particuliers cf. annexe 1) pour espérer modifier fondamentalement la logique actuelle des mises en relations des lieux et avoir un impact sur le fonctionnement territorial à des échelles plus larges (bassin de vie).

Ainsi, si la vitesse tend à être de moins en moins « sacralisée », si le gain de temps ne constitue plus le seul paramètre de l'évaluation de la pertinence des infrastructures de transport, si les décideurs politiques prennent de plus en plus conscience que l'accessibilité ne peut plus être assurée par la seule vitesse des déplacements qui viendrait pallier le « non aménagement » des territoires en termes de choix de localisation, en bref, si le contexte paraît favorable à une réorientation des politiques de transport, il n'en reste pas moins que les alternatives à la métrique actuelle des réseaux, qui permet de faire fonctionner les territoires, et les conséquences en termes d'organisation et de fonctionnement des territoires de ces métriques alternatives restent très mal maîtrisées.

Quels types de régulation des vitesses faut-il engager pour espérer une réorganisation du territoire allant dans le sens de la durabilité, en favorisant par exemple une accessibilité aux aménités à courte distance et qui serait de ce fait moins dépendante de l'automobile (cf. le courant du New Urbanism) ? Globalement vouloir diminuer les vitesses est louable mais comment le faire et avec quelles conséquences ? Faut-il homogénéiser les vitesses ? Maintenir une hiérarchie entre les voies mais avec des vitesses plus faibles ? Aller vers des solutions plus novatrices comment celle des métriques lentes que nous avons explorées dans un projet Predit précédent (Genre-Grandpierre, 2009) ? Quels seraient les avantages ou problèmes de ces différentes options en termes d'accessibilité, de redéfinition des potentiels d'interactions, de concurrence modale ?

Plus généralement, une ville lente, quelle que soit la modalité de régulation des vitesses, peut-elle fonctionner et être acceptable par la population ? Et si oui, à quelle condition, avec quelle distribution des aménités ?

Dans ce contexte général, l'objectif de notre projet consiste donc à analyser l'influence d'une redéfinition des proximités spatiales entre les lieux (i.e. différents scénarii de régulation des vitesses) sur les processus d'auto ou ré-organisation des territoires. Il s'agit de savoir si en agissant sur les vitesses, c'est-à-dire en modifiant les caractéristiques morpho-fonctionnelles des réseaux viaires, et donc en redéfinissant les avantages comparatifs des différents lieux en termes d'accessibilité on peut espérer des changements de comportements et de stratégies à l'échelle individuelle des ménages et activités qui iraient dans le sens de la durabilité en reposant la proximité physique comme principe d'agencement spatial.

Dit autrement, est il possible de faire émerger des structures territoriales garantissant une bonne accessibilité individuelle, mais qui serait obtenue en jouant sur la proximité physique des aménités et non sur la vitesse des déplacements ce qui revient à rendre ces structures territoriales moins dépendantes de la voiture et potentiellement plus équitables.

Dans le cadre de ce projet, cette analyse de l'influence d'une redéfinition des proximités spatiales entre les lieux sur le fonctionnement des territoires urbains s'effectuera à travers le cas des aménités commerciales :

- dans un premier temps, nous analyserons les effets de changements de métriques des réseaux sur la localisation et la taille des commerces fréquentés par les individus. La question est ici de savoir si une modification de métrique peut seule engendrer des modifications de comportements favorisant une mobilité durable et d'estimer conjointement si les changements de métriques proposés sont acceptables par la population en ce sens qu'ils ne compromettent pas trop fortement les niveaux individuels de satisfaction.

- dans un deuxième temps, conjointement au changement de métrique, nous opèrerons des changements dans la taille et le nombre des aménités commerciales. Il s'agit de voir quelle métrique en lien avec quelles structures des aménités commerciales permet tout à la fois d'obtenir un bon niveau d'accessibilité généralisée et de satisfaction individuelle en termes d'accès aux commerces tout en permettant de sortir de la dépendance automobile (i.e. quelle forme commerciale en lien avec quelle structure morpho-fonctionnelle de réseau viaire permet d'apporter la même satisfaction individuelle en permettant une mobilité durable que le modèle des grands hypermarchés de périphérie accessibles rapidement en voiture tout ?).

Dans une logique de chrono-aménagement : quelle(s) configuration(s) morpho-fonctionnelle(s) de réseaux routiers couplée(s) à quelle(s) structures spatiales des aménités commerciales (taille, nombre et localisation des commerces) permet de garantir une bonne accessibilité généralisée et une bonne satisfaction individuelle moyenne tout en étant moins dépendante(s) de l'automobile ?
--

2. Méthodologie

Deux approches méthodologiques complémentaires ont été utilisées afin de tester les effets de changements de métriques des réseaux viaires sur l'accessibilité aux commerces et ses externalités.

La première est un modèle classique d'interactions spatiales, le modèle de Stewart, qui permet d'affecter théoriquement des individus à des commerces en partant du principe que plus un commerce est gros et proche plus il va exercer une attraction forte. Cette approche va nous permettre de simuler les changements d'aires de chalandise des commerces consécutifs aux évolutions de métriques simulées. La question est donc de savoir qui va aller où pour quelle métrique et quels seront les effets induits en termes d'accessibilité et *in fine* de durabilité de ces changements (total des distances parcourues, longueur du trajet moyen, niveau de satisfaction individuelle, etc.).

La seconde approche repose sur la modélisation multi-agents. Elle a été utilisée pour intégrer dans nos travaux les contraintes d'emploi du temps des individus. Les déplacements liés aux commerces seront donc intégrés dans la chaîne des déplacements quotidiens effectués par les individus (ce qui peut affecter le choix des commerces fréquentés). L'approche multi-agents permet en outre de voir l'effet des changements de métrique sur les choix modaux. Le choix du système multi-agents Matsim développé par l'école polytechnique de Zurich (www.matsim.org) a été fait, car ce système est très puissant et complet, et il est en outre *opensource*. Par ailleurs, les jeux de données permettant de faire fonctionner Matsim étant déjà disponibles sur l'agglomération de Zurich, le choix de Matsim a aussi conditionné celui du terrain d'étude. Les simulations effectuées l'ont donc été pour Zurich, soit à partir de données réelles soit à partir de données théoriques utilisées à des fins heuristiques.

2.1. Le modèle d'interactions spatiales de Stewart

Afin d'affecter chaque individu à un commerce, nous avons tout d'abord utilisé le modèle d'interactions spatiales simple de Stewart. Selon ce modèle l'utilité que retire un individu i localisé à son domicile à choisir un commerce j est donnée par :

$$U_{ij} = \frac{M_j}{D_{ij}} \quad (1)$$

Avec :

- U_{ij} l'utilité que représente le magasin j pour l'individu i
- M_j la taille du magasin j en mètres carrés commerciaux
- D_{ij} la distance entre le domicile de i et j mesurée en temps et calculée à l'aide d'un système d'information géographique.

Ainsi, selon (1) plus un magasin est grand et proche, plus il est attractif. L'individu i va donc choisir parmi toutes les possibilités qui s'offrent à lui, celle qui maximise U_{ij} .

En modifiant la métrique des réseaux, les D_{ij} vont changer et les affectations d'individus aux commerces vont être redistribuées. Avec ce modèle simple, on peut donc voir quels vont être les effets de changements de métrique sur les aires de chalandises théoriques

(pour quelle métrique fréquente-t-on un grand commerce lointain vs à partir de quand choisit-on un plus petit commerce, mais plus proche ?) et leurs impacts en termes de durabilité.

On notera que, dans ce modèle de définition de l'utilité individuelle, la taille du magasin et la proximité au magasin ont le même poids. On pourrait imaginer faire varier les poids respectifs de ces deux variables (par exemple, envisager un poids plus important pour la distance si l'on considère que le prix de l'énergie va augmenter et que par conséquent la distance va jouer un rôle de friction plus fort). On notera par ailleurs que ce modèle ne prend pas en compte le merchandising, les effets d'enseignes, etc.... qui jouent pourtant dans le choix réel des magasins. Ces « simplifications » s'expliquent par le fait que ce projet a avant tout une visée heuristique. Il ne s'agit pas de modéliser en détails les choix de consommation des individus sur un terrain d'étude donné, mais bien de voir les conséquences de changement de métriques sur l'accessibilité, sur les choix des individus à modèle d'affectation donné et, *in fine*, sur la durabilité.

2.2. Approche système multi-agents (SMA)

Si le modèle de Stewart a le mérite de la simplicité, il ne permet en revanche pas d'intégrer les contraintes dues aux emplois du temps des individus. En effet dans ce modèle, le déplacement vers le commerce est considéré comme autonome vis-à-vis des autres déplacements. Un individu n'est pas supposé pouvoir optimiser ses déplacements en fréquentant par exemple le commerce qui maximise son utilité, non pas au départ du domicile, mais au départ du lieu de travail dans une logique de pérégrination.

Il ne permet par ailleurs pas de bien étudier les effets des nouvelles métriques sur les pratiques modales. En effet, les déplacements sont supposés se faire exclusivement en voiture.

Afin de lever ces deux limites nous avons utilisé le système multi-agents Matsim (www.matsim.org) de l'école polytechnique de Zurich (Matsim, Axhausen et al., 2008). Matsim est à la base un simulateur de trafic basé sur la modélisation multi-agents. Les agents du système modélisé sont représentés à l'échelle individuelle et agissent dans un environnement artificiel selon des règles données. Ils poursuivent un but et ont des capacités d'apprentissage. Le comportement du système qui émerge des simulations est donc la conséquence des comportements individuels et de leurs interactions.

Ainsi, chaque individu, localisé au départ de la simulation à son domicile, a un programme d'activités à réaliser (un plan). Il doit par exemple aller au travail, puis faire des courses et enfin se rendre sur son lieu de loisir avant de rentrer chez lui tout en respectant des contraintes horaires, ce qui correspond à la demande initiale de transport, qui a été calibrée à partir de données de recensement.

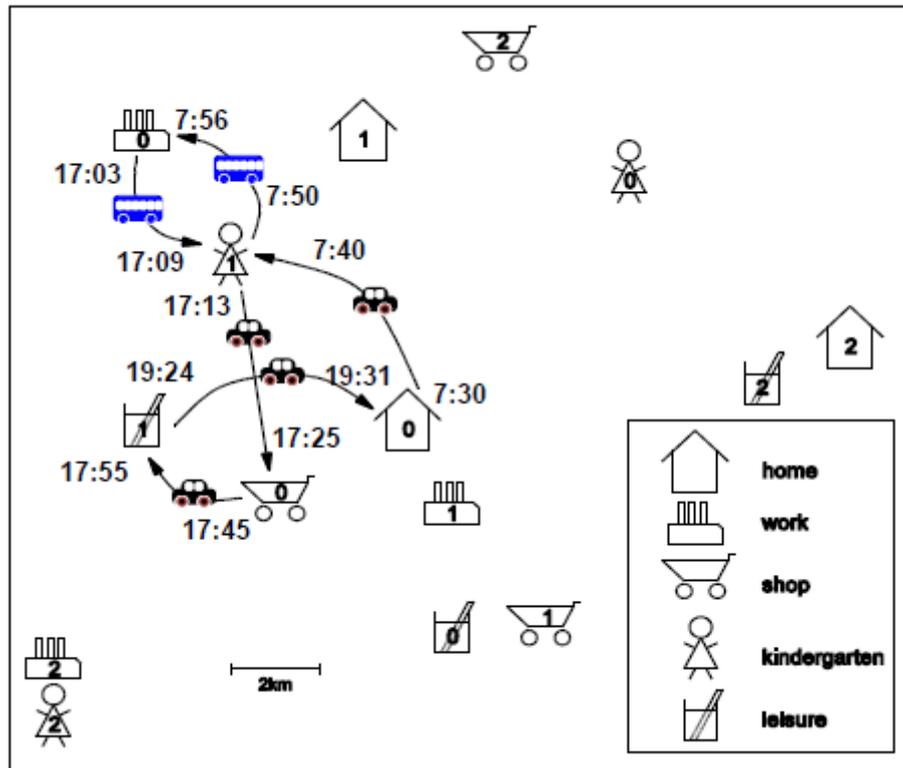


Figure 1 Un exemple de programme d'activité dans Matsim avec les lieux, les horaires et les modes de transport

Une fois cette demande initiale donnée, chaque agent va chercher à optimiser sa chaîne d'activités quotidienne par un jeu d'essais et d'erreurs au cours de la simulation. Il peut ainsi :

- changer de chemin et s'écarter du plus court chemin théorique si celui-ci ne devient plus optimal du fait de la présence d'autres agents en cours de simulation. Les temps de parcours des agents peuvent donc différer des temps théoriques optimaux selon l'intensité du trafic rencontré sur les plus courts chemins ou si l'agent allant de A à B s'est écarté du plus court chemin théorique trop encombré pour trouver une meilleure solution.

- changer de mode de transport. Les modes disponibles étant la voiture, le transport public, la marche et le vélo. Précisons que l'offre de transport public n'est, pour l'heure, pas réellement intégrée dans le SMA. Il s'agit dans les faits d'une fonction (calibrée sur l'offre réelle) qui donne le temps d'accès en TP pour aller d'un point A à B, mais on ne sait pas quelle ligne est utilisée.

- changer les horaires de ses activités en respectant certaines contraintes temporelles (ex : il faut que le lieu de travail ou les magasins soient ouverts pour pouvoir s'y rendre)

- changer la localisation de ses lieux de shopping et loisirs, mais pas celles du domicile, du travail ou du lieu d'étude qui sont fixes.

Précisons encore qu'à chaque itération 10 % des agents ont cette possibilité de modifier leur plan en cherchant à maximiser leur utilité individuelle afin d'obtenir une convergence.

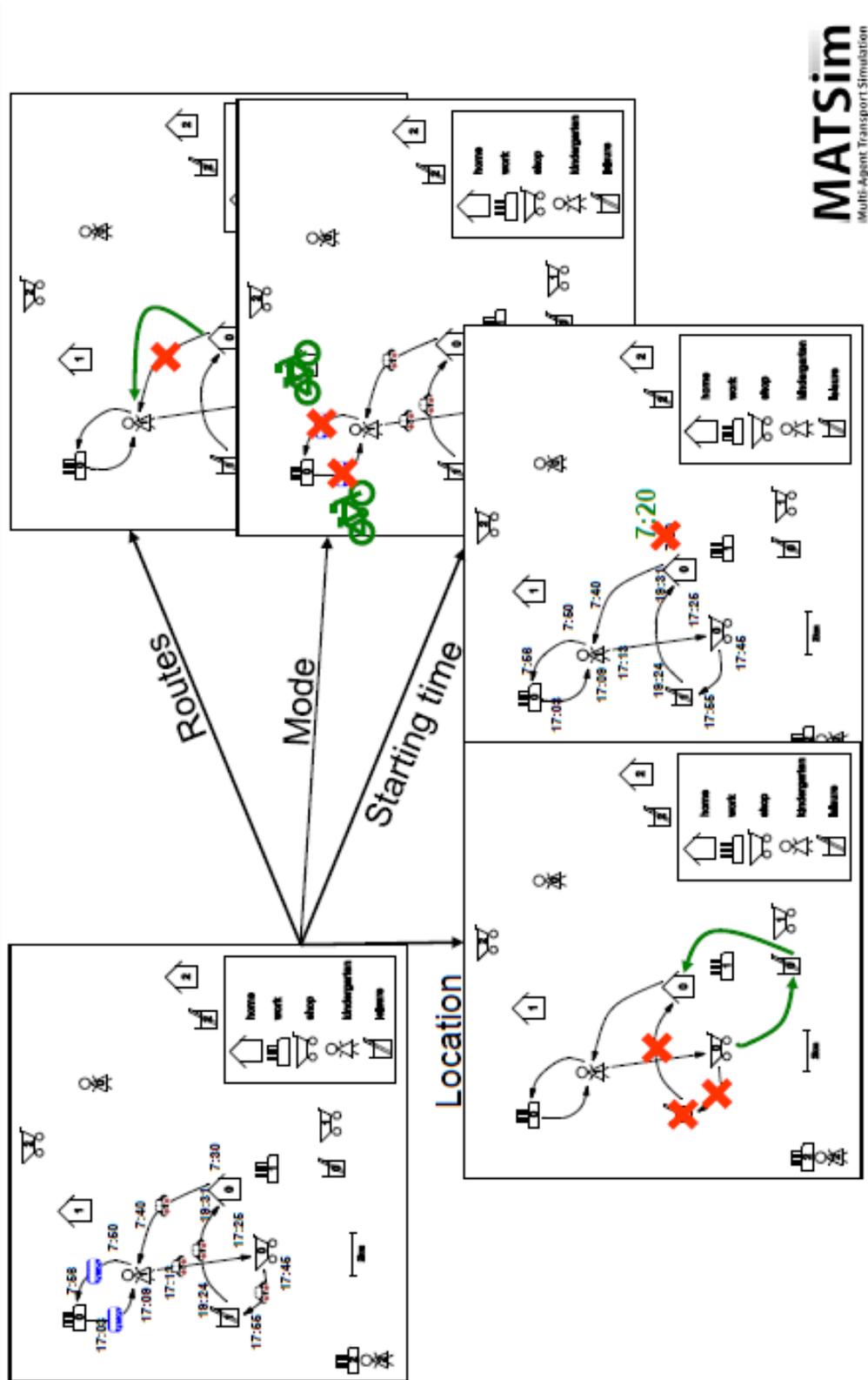


Figure 2 Exemple de replanning pour un programme d'activités : en changeant les routes, les modes, les horaires

L'agent va donc donner un score à chaque essai qu'il va réaliser et mémoriser les plans lui ayant conféré la meilleure utilité individuelle. La simulation s'arrête lorsqu'un équilibre est obtenu c'est-à-dire lorsqu'une stabilité est observée pour les valeurs d'utilité moyenne, de distance parcourue et de temps de transport.

Formellement, l'utilité d'un plan U_{plan} (décrite en détail dans Charypar et Nagel, 2005) correspond à la somme des utilités des activités réalisées $U_{act,i}$ plus la somme des désutilités liées à la réalisation des trajets $U_{trav,i}$:

$$U_{plan} = \sum U_{act,i} (type_i, debut_i, dur_i) + \sum U_{trav,i} (loc_{i-1} - loc_i)$$

Avec $type_i$: le type de l'activité réalisée ; $debut_i$: horaire du début de l'activité et dur_i la durée de l'activité.

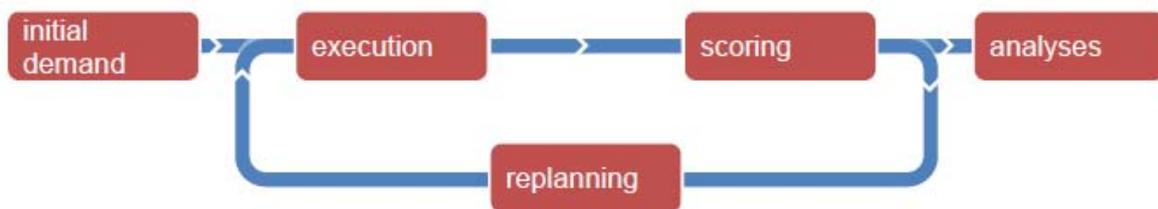


Figure 3 Le workflow de Matsim avec ou sans replanning

En fin de simulation, on peut savoir pour chaque agent son utilité individuelle et tous les détails concernant le plan retenu : lieux fréquentés, horaires, mode utilisé, distance parcourue, etc....

2.3. Les types de métriques testées

Le réseau routier de Zurich (figure 4) comprend des voies avec des vitesses variant de 15 à 120 km/h. Bien que sa vitesse maximale soit inférieure à ce qu'on peut trouver dans d'autres pays (130 km/h en général), l'efficacité des trajets automobiles qu'il permet est parmi les plus fortes des réseaux empiriques analysés jusqu'ici, ce qui s'explique par sa forte densité et bonne connectivité.

La métrique « accélérante » selon laquelle plus on va loin plus les déplacements automobiles sont efficaces, qui caractérise les réseaux routiers actuels et tend à promouvoir la distanciation des lieux de vie et la dépendance automobile (cf. 1.2.), est donc bien marquée pour le cas zurichois, ce qui en fait un bon cas d'étude (figure 5).

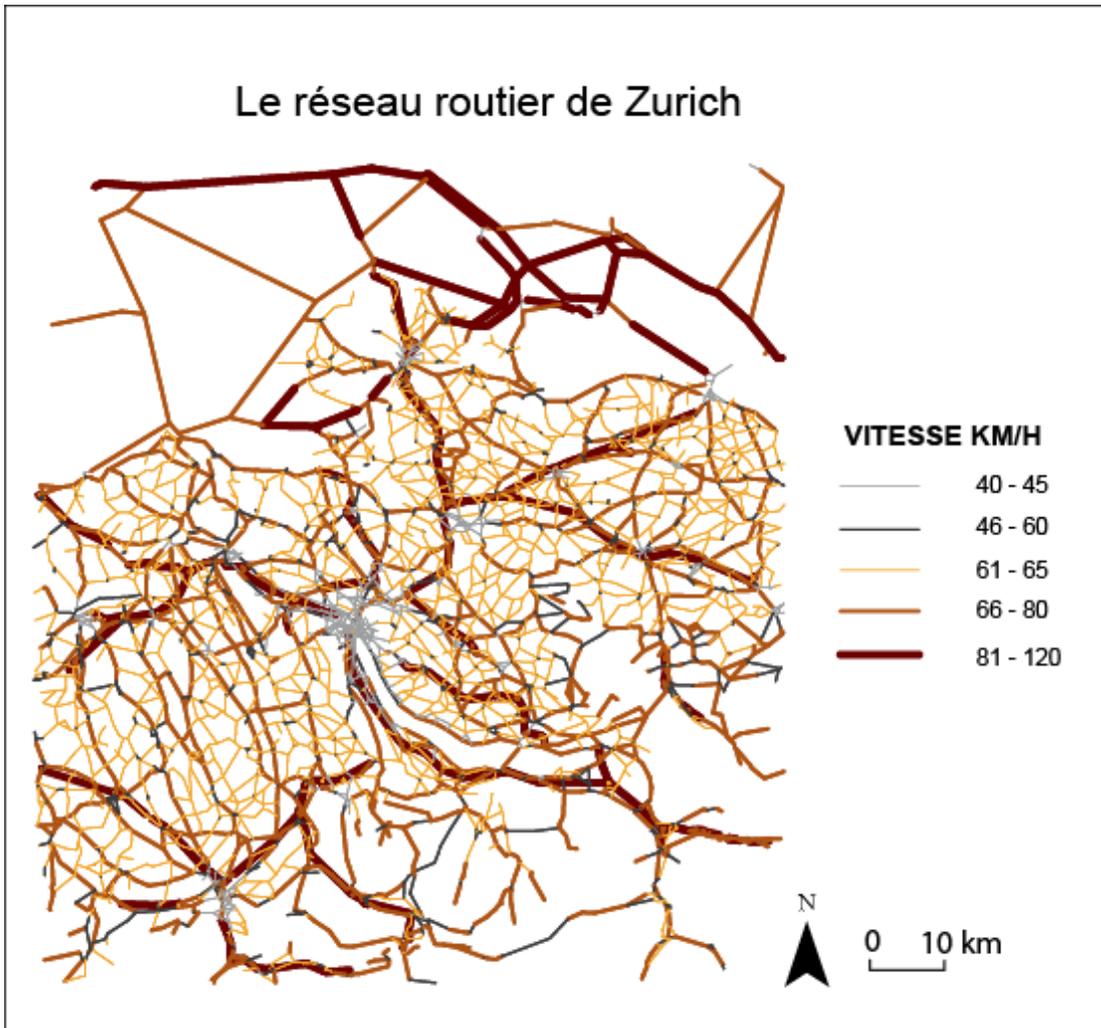


Figure 4 Le réseau routier de Zurich

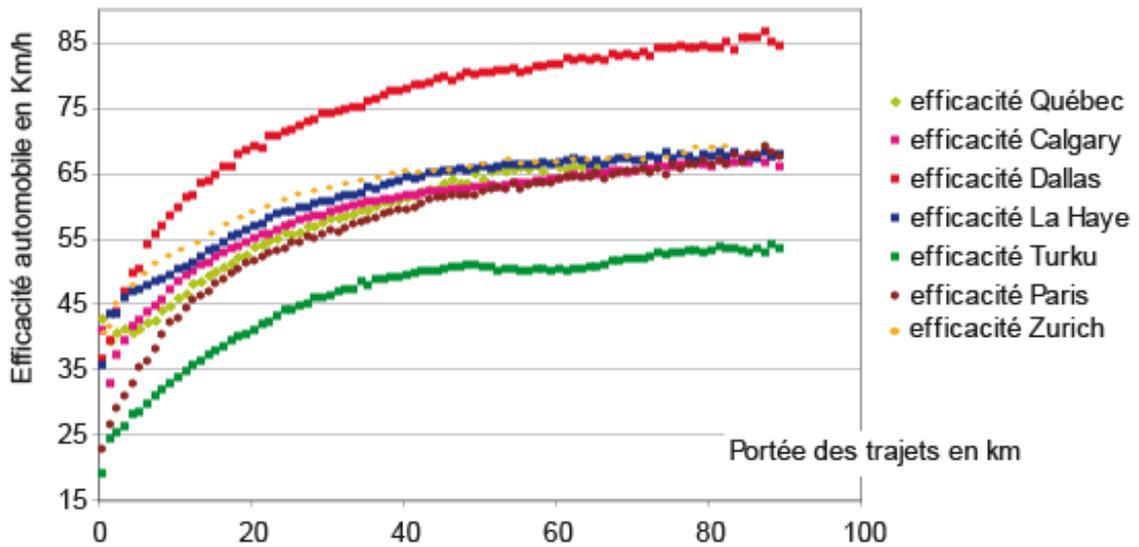


Figure 5 L'efficacité des trajets automobiles augmente avec la portée des trajets

A partir du réseau original, trois scénarii de métrique ont été simulés.

2.3.1. Une baisse des vitesses de 30 %

Le scénario Bais a consisté à baisser unilatéralement les vitesses de 30 %. La fourchette des valeurs est donc passée de 35 à 120 km/h à 24,5 - 84 km/h. Cette baisse correspond à une tendance actuelle de l'aménagement urbain qui se fait au nom de la sécurité, de la limitation de la pollution et des consommations d'énergie, de l'augmentation de l'efficacité relative des modes non automobiles (ex : baisse des vitesses sur les périphériques de Nantes, Düsseldorf ...), mais aussi dans une logique de chrono-aménagement qui cherche à « contraindre » les individus à rapprocher leurs lieux de vie de façon à éviter une explosion de leur budget-temps de transport quotidien (cf. surtout le projet « autoroutes apaisées » à Grenoble). Précisons toutefois qu'en pratique les baisses de vitesse sont souvent ciblées (zones 30, requalification d'un boulevard urbain ...) et que les plans généraux de limitation des vitesses sont rares.

La question sera donc ici de savoir si une baisse unilatérale des vitesses est un moyen pour atteindre une ville lente et accessible acceptable par la population.

2.3.2. Une homogénéisation des vitesses autour de la valeur 60 km/h

Le deuxième scénario a consisté à homogénéiser les vitesses en augmentant les vitesses des voies les plus lentes et en diminuant celles des plus rapides (cf. figure 6) : scénario Homog. L'objectif est ici de limiter la dualisation de l'espace (Plassard, 1992) ou dit autrement de rendre la différenciation spatiale de l'accessibilité moins forte. Il est aussi de mieux distribuer l'intermédiarité (probabilité d'un arc de se trouver sur des plus courts chemins liant des lieux i et j) pour obtenir une distribution plus homogène des flux (Hillier et al. 1993).

Le test de ce scénario tient enfin au fait que nous avons vu que c'est la forte hiérarchisation actuelle des réseaux par la vitesse qui produit des externalités négatives en termes d'étalement urbain et de dépendance automobile. Aussi avons-nous voulu savoir quels seraient les effets en termes de mobilité durable d'une homogénéisation des vitesses.

Nous avons toutefois maintenu une certaine hiérarchie entre les voies, car il est impossible de penser que toutes les voies d'un réseau routier pourraient avoir la même vitesse et jouer théoriquement les mêmes fonctions en termes d'acheminement des flux. Ainsi pour ce scénario les vitesses simulées varient de 40 à 80 km/h.

Précisons que ce scénario, testé avant tout pour la démonstration sachant qu'il est difficile d'envisager une augmentation des vitesses en zone 30, est toutefois très proche de ce qui existe en Allemagne par exemple avec les politiques de Verkehrsberuhigung pour lesquelles on ne retient que 3 types de voies : les zones 30, les rues à 50 et les voies rapides urbaines à 70 ou 80 km/h.

Vitesse actuelle	Bais (-30 %)	Homog
15	15	15
35	24.5	40
40	28	45
45	31.5	50
50	35	50
55	38.5	50
60	42	55
65	45.5	55
70	49	60
80	56	65
90	63	70
100	70	70
120	84	80

Figure 6 Les vitesses pour les différents scenarii

2.3.3. La métrique lente

Le troisième scénario, ML, plus radical, a consisté à tester les effets qu'aurait l'application du concept de métrique lente. Rappelons qu'il s'agit d'inverser la logique de la métrique des réseaux actuels de façon à réintroduire la contrainte de proximité physique dans les choix des individus en « faisant payer en temps » la distanciation des lieux de vie. Alors qu'aujourd'hui plus on va loin plus l'efficacité des trajets automobiles est forte (figure.5), ce qui permet aux individus de se déplacer à longue portée sans en payer le prix en temps, avec des réseaux lents c'est l'inverse, c'est-à-dire que l'efficacité des trajets diminue avec leur portée.

On obtient ce type de métrique en disposant des feux dont le nombre et la durée sont liés par une loi de puissance (peu de feux longs, davantage de feux moyens, encore plus de feux courts). Ces feux sont ensuite disposés soit aléatoirement, soit en fonction du degré d'intermédiarité de chaque arc pour des types de trajets donnés. Ainsi, plus un arc va avoir une forte probabilité d'être intégré dans de nombreux trajets de longue portée, plus la probabilité qu'un feu long y soit localisé va être forte (pour plus de détails cf. Banos, Genre-Grandpierre, 2011). Ici, 757 feux ont été localisés avec des durées variant de 30 à 383 secondes.

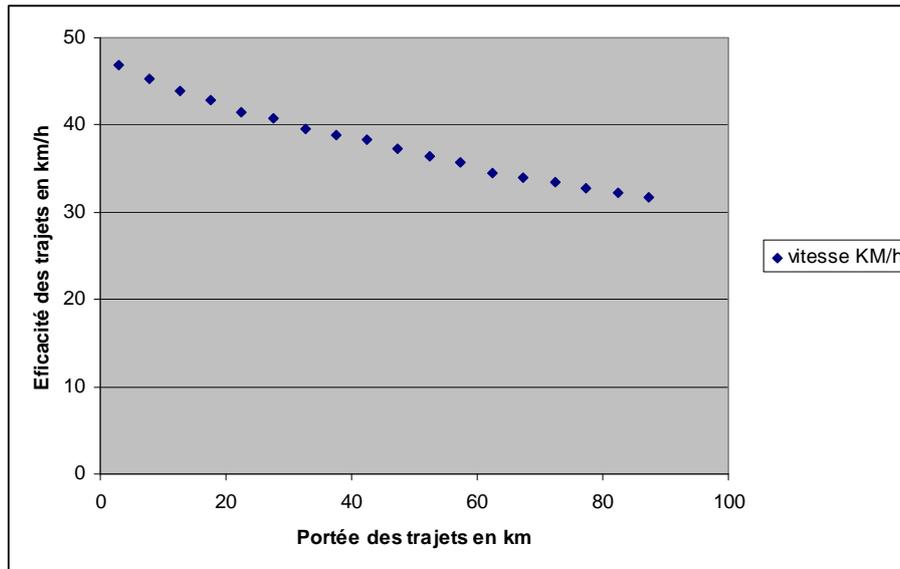


Figure 7 La métrique lente utilisée pour les simulations

3. Terrain et résultats

3.1. Présentation du terrain d'étude : l'agglomération de Zurich

L'agglomération de Zurich (Suisse) a été choisie comme terrain d'expérimentation parce que les données nécessaires au fonctionnement du SMA Matsim étaient déjà prêtes à l'emploi et très riches. Matsim est un système multi-agents *opensource* très complet, mais difficile à appréhender seul. Cela explique qu'après deux tentatives pour travailler de façon autonome avec cette plateforme, nous avons décidé de collaborer directement avec les concepteurs du SMA qui ont donc été intégrés à ce travail et avec qui la collaboration va se poursuivre dans le cadre du Projet DAMA qui va poursuivre ces recherches¹. Les données utilisées pour les simulations SMA ou SIG sont constituées d'un échantillon représentatif de la population de l'agglomération zurichoise de 8760 individus (figure 8).

Le programme d'activités quotidien des 8760 individus de l'échantillon est connu avec précision. Ces données, qui nécessitent un long travail de préparation, ont été calibrées à partir des recensements suisses de la population. Les individus sont localisés à leur domicile. Ils peuvent se rendre au travail (pour les actifs), à l'école, avoir des activités de loisir ou d'achat.

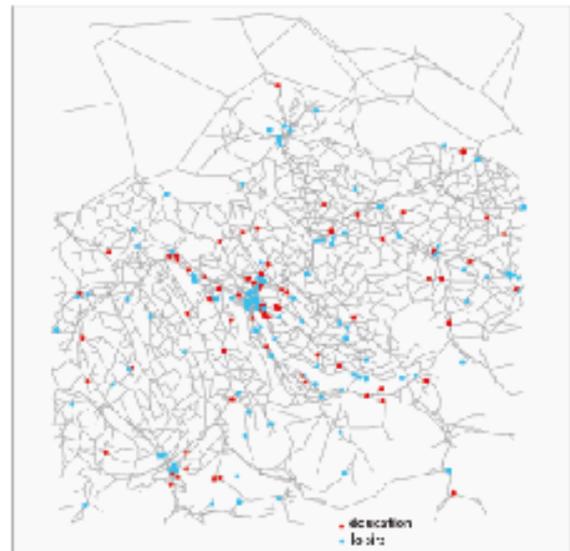
La figure 8 montre les répartitions de ces différentes aménités.

¹ Vers de nouvelles dynamiques de localisation des ménages et des activités dans les territoires urbains pour découpler accessibilité et mobilité automobile, appel à proposition de recherches Dynamiques de localisation et mobilité à l'horizon 2025. Prospective, politiques et outils, Février 2011

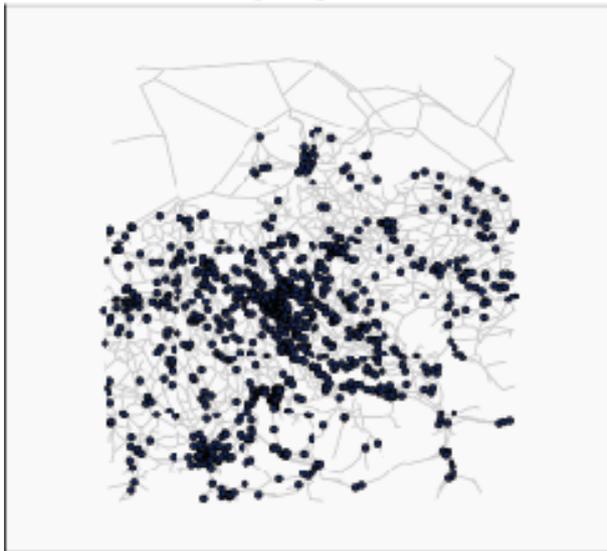
Logement



Éducation - loisirs



Travail



Commerces

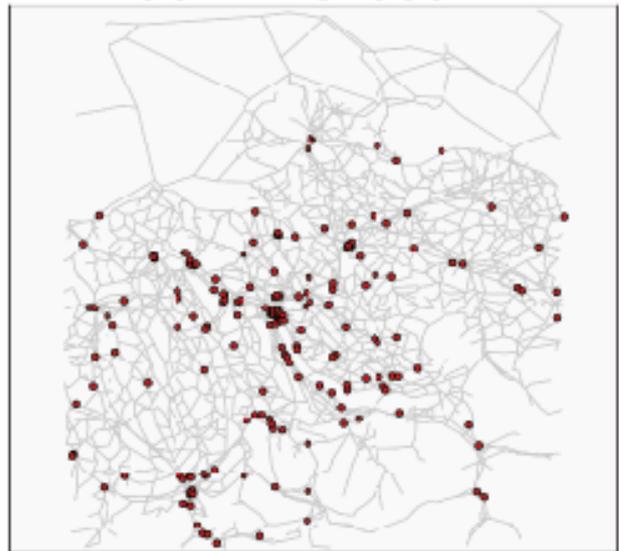


Figure 8 Localisation des logements, lieux de loisirs-étude, travail et commerces utilisés pour les simulations dans l'agglomération de Zurich

Outre ces données correspondant à la réalité, nous avons utilisé à des fins heuristiques des jeux de données théoriques pour la disposition des magasins.

En effet, les données zurichoises sur les commerces ne précisent pas la taille des magasins, or comme celle-ci est nécessaire pour travailler avec le modèle de Stewart, nous avons produit plusieurs jeux de données théoriques de magasins en faisant varier leur taille, leur nombre et leur disposition.

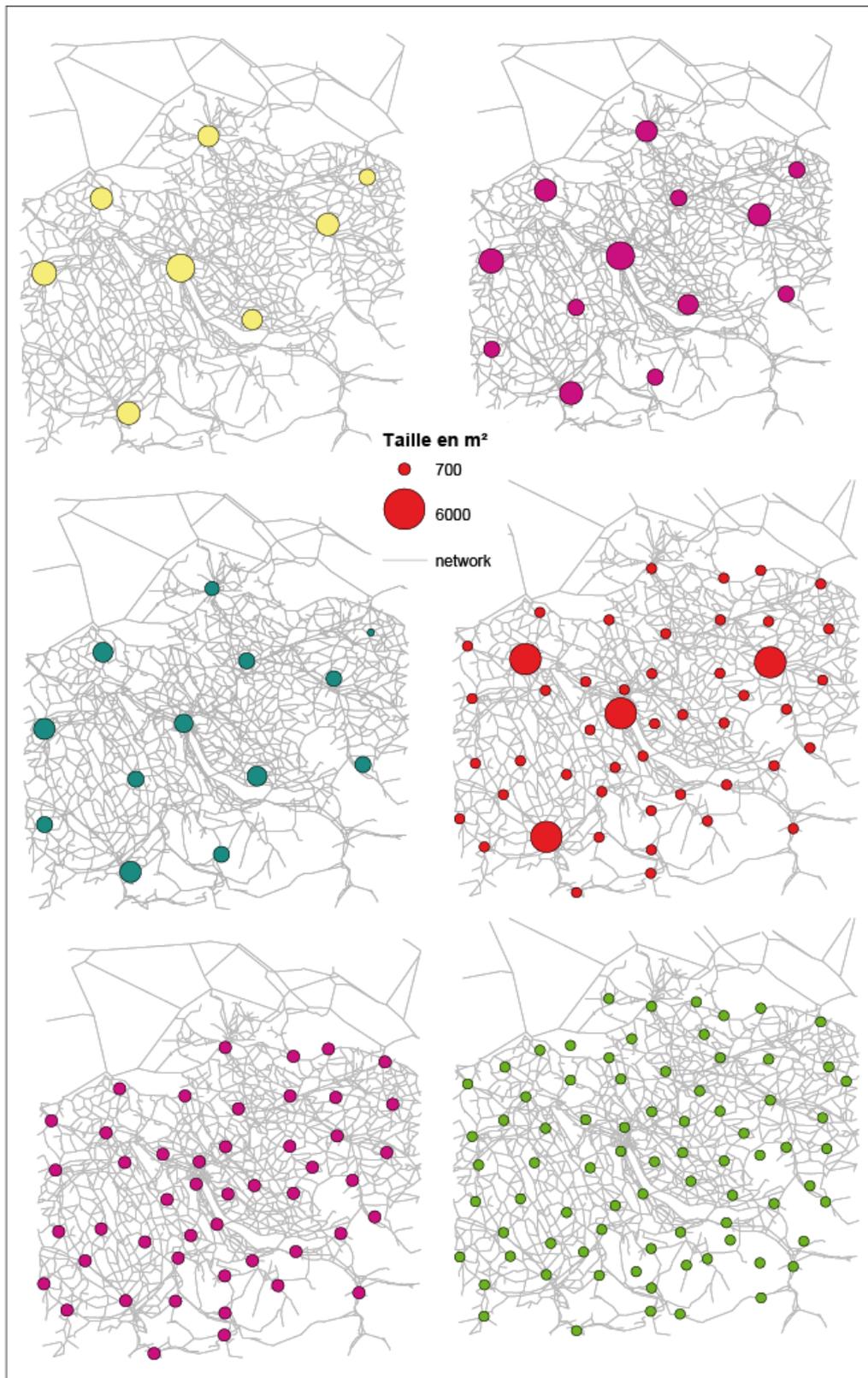


Figure 9 Exemples de configurations de magasins testées

Précisons enfin que dans la présentation synthétique des résultats obtenus nous ne précisons pas toujours si ceux-ci ont été obtenus avec le SMA ou avec les simulations SIG afin de ne pas alourdir la lecture de ce document.

3.2. Quels effets sur les accessibilités et les satisfactions individuelles des changements de métrique envisagés ?

Pour les trois scénarii testés (Bais, Homog et ML) on constate tout d'abord logiquement (eu égard aux baisses de vitesse simulées) que l'accessibilité en temps aux commerces se dégrade en utilisant la méthode d'affectation de « Stewart ». Quelle que soit la configuration de magasins testée et la métrique utilisée, le total des distances temps pour aller aux commerces augmente de 15 à plus 40 % par rapport çà la situation d'origine.

Par ailleurs, la satisfaction moyenne pour les agents diminue de 8 à 30 % par rapport à la situation d'origine. Cette dégradation de l'accessibilité en temps et de la satisfaction est d'autant plus forte que la métrique testée diminue fortement les vitesses et que la densité d'aménités commerciales du jeu de données testé est faible. En effet, lorsque les commerces sont peu nombreux, les réaffectations des individus consécutives aux changements de métrique sont difficiles par manque de choix ce qui ne permet pas de compenser les pertes de temps par plus de proximités physiques aux aménités choisies.

La réaffectation des individus à des commerces plus petits et plus proches en distance qui voient leur utilité augmenter au détriment des plus gros commerces plus lointains du fait des changements de métrique (ce qui est l'effet recherché) ne suffit donc pas à compenser les baisses de vitesses et à assurer de bonnes utilités individuelles.

Cette réaffectation des individus est illustrée sur la figure 10. On voit qu'avec la métrique d'origine, les individus (localisés aux extrémités des traits) sont polarisés par les plus grands magasins même s'ils sont lointains, car leur taille leur confère une attractivité spécifique et parce dans le même temps la métrique rapide permet que la friction de la distance ne soit pas trop forte et nuise à leur attractivité (traits bleus). Avec le changement de métrique (ici la métrique homogène) le poids de la distance dans la fonction de Stewart qui définit les attractivités des magasins se renforce. De ce fait, les magasins lointains se font, toutes choses égales par ailleurs, moins attractifs. Leur taille plus importante ne suffit plus à leur assurer une bonne attractivité qui est grevé par l'augmentation des distances (due au changement de métrique) au dénominateur de la fonction de Stewart. Au contraire, les magasins proches, même de plus petite taille, voient leur attractivité relative augmenter, ce qui explique les changements d'affectation des individus (traits roses).

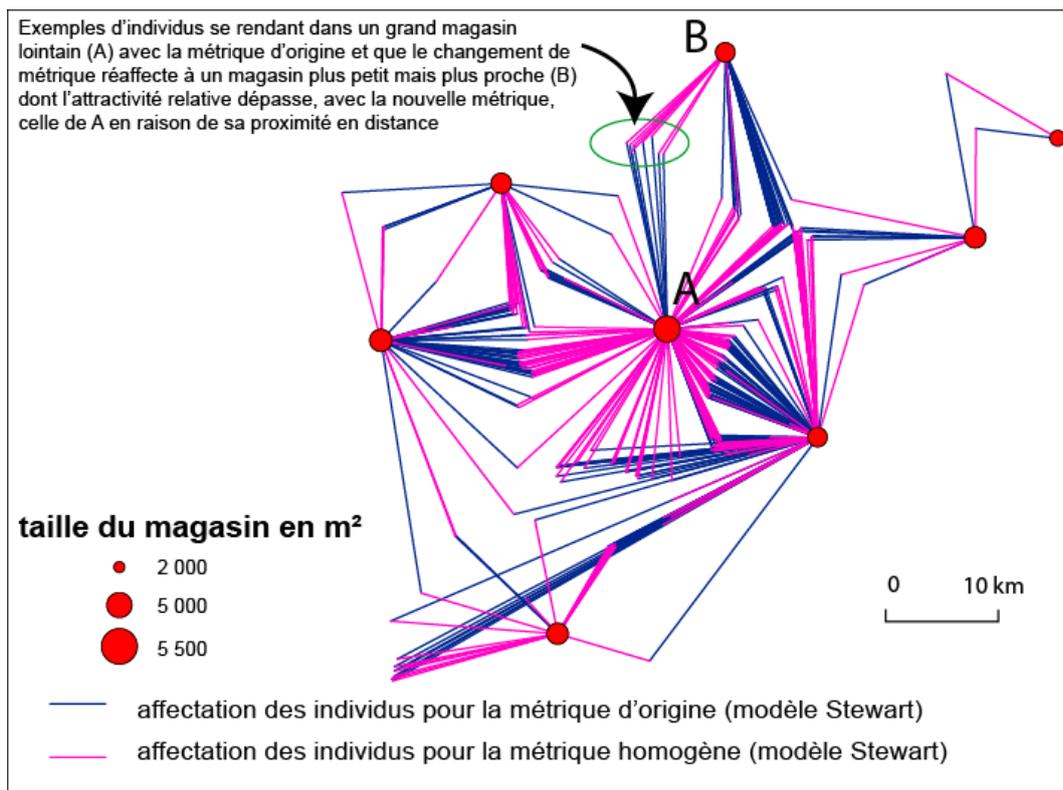


Figure 10 exemple de réaffectations de magasins consécutives à la mise en place d'une métrique pénalisante pour les trajets longs (ici métrique homogène)

Toutefois, si les modifications de métriques envisagées entraînent une dégradation de l'accessibilité en temps et des satisfactions individuelles elles ont en revanche des conséquences positives à une échelle plus agrégée.

Ainsi, les réaffectations des individus à des commerces plus petits, mais plus proches, entraînent :

- Une diminution des distances parcourues en kilomètres : de moins 8 % pour le scénario Homog à moins 36 % pour le scénario ML qui est la métrique qui pénalise le plus les déplacements longs. La baisse des vitesses simulée dans les différents scénarii renforçant le rôle de friction de la distance, les individus sont contraints de choisir des commerces plus proches de leur domicile ou de leur lieu de travail ou loisir pour les simulations SMA, ce qui était l'effet recherché. La friction de la distance étant plus forte, elle diminue l'attractivité relative des « grands magasins » lointains.

- On notera par ailleurs que tous les scénarii envisagés de vitesse produisent une meilleure équité en termes d'accessibilité aux commerces puisque l'écart type des satisfactions individuelles diminue en général d'un quart. Les réseaux hiérarchisés (actuels) produisent donc intrinsèquement plus d'iniquité spatiale que des réseaux plus lents ou plus homogènes.

- Les simulations SMA réalisées avec les mêmes scénarii de vitesse et la disposition réelle des commerces vont dans le même sens d'une dégradation de l'accessibilité en temps et conséquemment d'une dégradation des satisfactions individuelles mesurée par les scores donnés aux plans. Ici la baisse des distances parcourues en kilomètres est toutefois plus faible (de 5 à 8 %), car étant donné que le paramètre taille du magasin n'est pas intégré dans la fonction attribuant les commerces aux individus, il y a moins de réallocations de commerces à effectuer, car ceux-ci sont dès l'origine choisis sur une base de proximité en temps.

Par ailleurs, les simulations SMA ajoutent une dimension supplémentaire aux analyses en permettant d'étudier l'effet des changements de métriques sur le partage modal. En effet, rappelons que les agents ont le choix entre la voiture, le transport public, le vélo et la marche pour réaliser leurs déplacements. Ils optent pour le mode qui leur apporte la plus grande utilité. Or, comme dans les différentes simulations les vitesses sur le réseau changent, cela revient à redéfinir la compétitivité relative des différents modes et donc le choix des individus. Par ailleurs comme les agents optent pour des commerces plus proches, le transfert modal est plus aisé à réaliser. On peut ainsi voir que dans tous les cas les parts modales des modes doux augmentent. Par exemple la part modale du vélo est multipliée par 2 pour Homog et par 5 pour Bais. Cette augmentation se fait au détriment de l'automobile, mais aussi des transports publics qui utilisent la route et subissent de ce fait aussi des baisses d'accessibilité (la configuration actuelle du SMA ne permet pas de garder l'accessibilité constante pour le TP comme ce serait le cas avec des sites propres généralisés).

De ces premières analyses on peut retenir que les changements de métriques envisagés :

- sont un moyen d'agir sur les choix des individus qui sous la contrainte d'une friction de la distance plus forte optent, sur la base de la maximisation de leur utilité individuelle, pour des aménités plus proches en kilomètres. Par voie de conséquence le total des kilomètres parcourus diminue fortement

- sont un moyen d'homogénéiser les situations en termes d'accessibilité et de satisfaction individuelle. On vérifie bien ici que la hiérarchisation des réseaux routiers par la vitesse introduit d'emblée de la différenciation spatiale en termes d'accessibilité et donc de satisfaction individuelle, ce qui va à l'encontre d'une ville « juste » qui chercherait à minimiser les disparités de situation en s'assurant que les qualités de la ville soient équitablement partagées

- sont favorables à l'usage des modes doux, d'une part parce que les baisses de vitesses améliorent leur efficacité relative (ce que nous avons déjà pu montrer dans des travaux précédents) mais surtout parce que les aménités à atteindre sont plus proches en kilomètres ce qui rend le transfert modal réellement possible et non théorique (même si l'efficacité du vélo était plus forte que celle de la voiture pour des trajets longs il est très peu probable que le transfert modal s'opèrerait sur de tels trajets étant donné l'effort physique consenti pour l'usage des modes doux).

- dégradent fortement l'accessibilité en temps et les degrés de satisfaction individuelle. Les individus seront-ils prêts à voir leur satisfaction individuelle se dégrader au profit d'un mieux-être collectif passant notamment par la possibilité d'une mobilité plus durable et de moins d'inégalités ? Ce renoncement individuel au profit du collectif paraissant difficile à espérer, nous pouvons conclure ce premier jeu de simulations en affirmant que la seule action sur la métrique des réseaux n'est pas suffisante pour atteindre une ville lente, accessible et acceptable à l'échelle individuelle.

3.3. Quels effets sur les accessibilités et les satisfactions individuelles des changements de métrique envisagés couplés à des reformatages des aménités commerciales

Modifier le réseau routier en diminuant la compétitivité automobile pour espérer aller vers une mobilité plus durable semblant peu réaliste étant donné les pertes d'accessibilité engendrées, nous avons dans un second temps envisagé une action conjointe sur le réseau et les localisations et les tailles des commerces.

La question est ici de savoir comment reformater l'offre commerciale (changements de taille, de nombre et de localisation des magasins) pour garantir un bilan global positif en termes de mobilité durable (possibilité de transfert modal, diminution des distances parcourues, etc...) et dans le même temps un bilan acceptable au niveau individuel (au minimum constance des temps d'accès et des niveaux de satisfaction).

Dans cette perspective, plusieurs logiques de reformatage des commerces ont été simulées.

A partir de différents jeux de commerces de taille variable nous avons :

- homogénéisé la taille de tous les commerces en maintenant constant le nombre de mètres carrés de surface commerciale par rapport à la situation d'origine. Si tous les commerces ont la même taille, cela va diminuer l'utilité des individus actuellement près des gros commerces, mais surtout cela va augmenter celle des individus près des petits commerces ou relativement loins de commerces notamment s'ils sont de petite taille. L'objectif est qu'au final cette redistribution des commerces couplée avec des changements de métriques garantisse au minimum, à un niveau agrégé, la constance des satisfactions individuelles.

- créé de nouvelles aménités commerciales dans les zones d'insatisfaction qu'engendrent les changements de métrique. Ces zones d'insatisfaction (figure 11) ont été définies en calculant localement le niveau de satisfaction moyen dans des cercles de 10 kilomètres de rayon (utilisation de statistiques dites de voisinage) et en calculant la concentration locale d'individus insatisfaits toujours dans des cercles de 10 kilomètres, sachant que les agents insatisfaits correspondent aux 33 % des valeurs les plus faibles du potentiel de Stewart (valeurs inférieures au premier tercile).

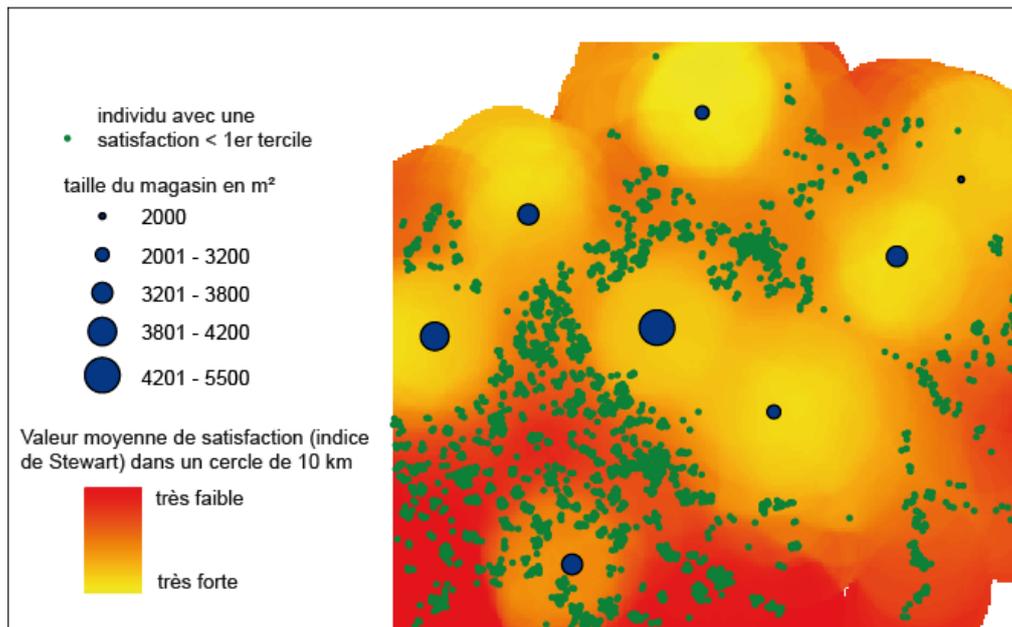


Figure 11 Exemple de carte de satisfaction locale utilisée pour localiser de nouveaux commerces

De nouveaux commerces ont ensuite été localisés « manuellement » dans les zones d'insatisfaction en homogénéisant par ailleurs la taille de tous les commerces qui, pour satisfaire la contrainte de la constance du total de mètres carrés commerciaux initial, ont vu leur taille tomber à 700 m² (figure 12).

Rappelons pour information que la longueur des déplacements en voiture pour motif « achat », est fortement liée à la taille des magasins, qui elle-même est liée à leur nombre. Dans le centre des villes, lorsqu'on passe du supermarché à l'hypermarché, la distance passe de 2,5 km à 8,7 km. Dans la périphérie, lorsqu'on passe du supermarché à l'hypermarché, la distance passe de 3,1 km à 10,5 km. Dans les deux cas, la distance imputable à l'achat est multipliée par 1,7 (Beauvais consultants 2003).

D'autres scénarii ont été testés comme celui consistant à créer de nouvelles aménités dans les zones d'insatisfaction tout en gardant le nombre de mètres carrés commerciaux constant et en prenant pour ce faire des mètres carrés aux magasins qui ont vu leur aire de chalandise diminuer suite au changement de métrique par rapport à la situation d'origine. La diminution de la surface commerciale se faisant au prorata de la perte de clients. Comme nous n'exploiterons pas ces autres scénarii dans le commentaire, nous ne les détaillerons pas ici.

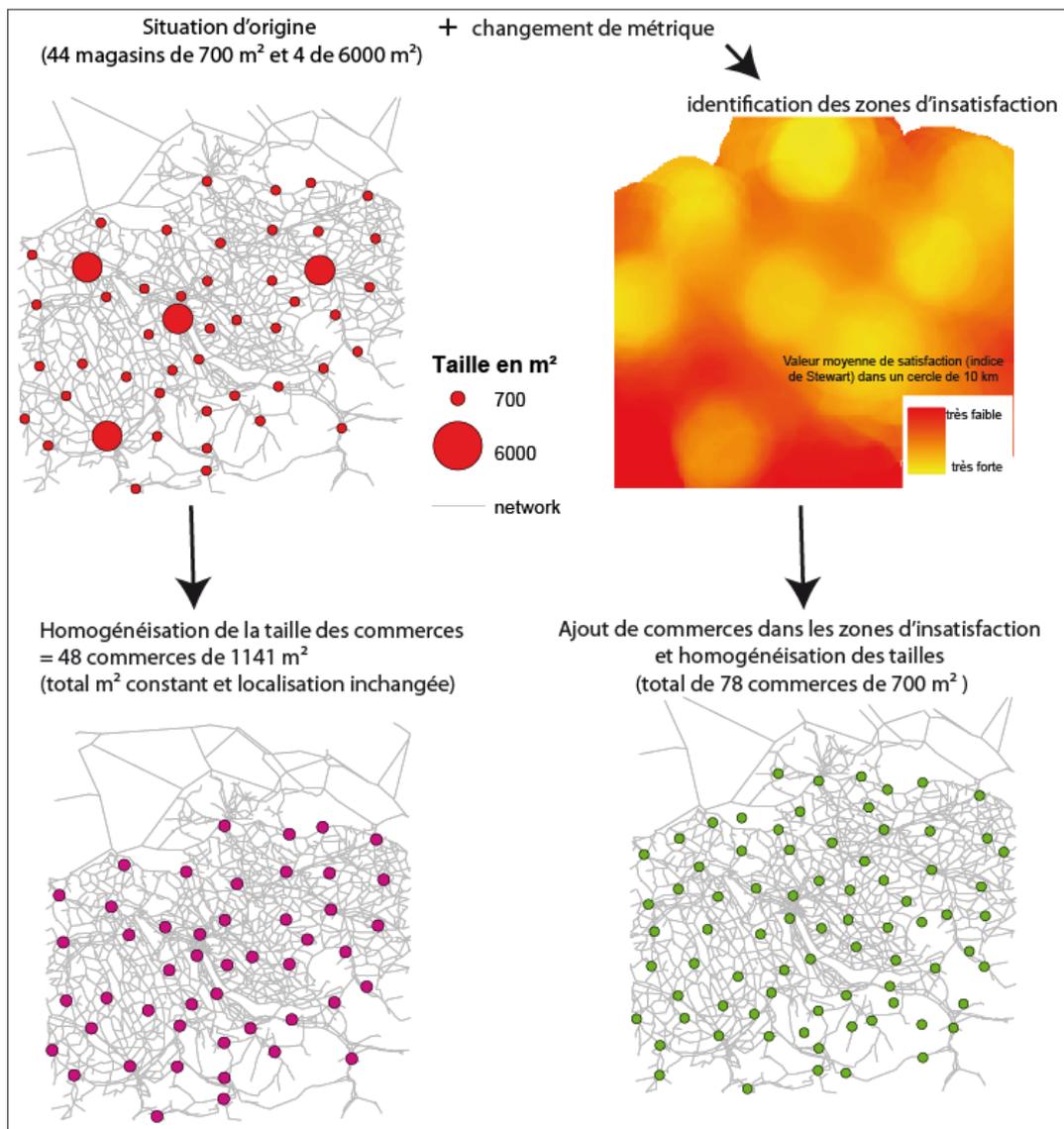


Figure 12 Workflow des analyses avec changement de métrique et ajout d'aménités

Précisons que pour les scénarii avec homogénéisation de la taille des magasins le nombre de clients par commerce va essentiellement varier en fonction de la densité de population puisque les métriques testées obligent à des choix de commerces basés sur la proximité. Si dans les cas où on ne rajoute pas de commerce, tous les commerces sont « viables » eu égard au nombre de clients qu'ils polarisent, puisqu'il n'y a pas d'augmentation de leur nombre, mais seulement une redistribution de la clientèle, il n'en va pas de même lorsqu'il y a création de commerces où, pour les besoins de la démonstration, nous n'avons pas fixé de seuil minimum pour la création d'un commerce. Toutefois, précisons que même en l'état ce scénario n'est pas totalement irréaliste puisque de plus en plus, dans une logique de « captation » et de fidélisation de la clientèle, que l'on sait de plus en plus difficile à attirer à longue portée (ne serait-ce qu'en raison du vieillissement de la population qui limite sa mobilité), la rentabilité ne se mesure pas seulement à l'échelle d'un commerce, mais d'un ensemble de commerces de même enseigne sur un territoire donné. Une chaîne peut accepter d'avoir un élément non rentable s'il lui permet « d'empêcher » l'installation de la concurrence sur un territoire donné où ses autres

commerces lui assurent par ailleurs une bonne rentabilité. C'est particulièrement le cas lorsque la taille maximale des commerces est limitée, ce qui rend très difficiles les opérations de cannibalisation de la clientèle que pourraient mener les autres enseignes.

Afin de ne pas alourdir la lecture du rapport, nous ne présenterons ici les résultats que pour un jeu de données de commerces qui permet de bien saisir l'heuristique du travail (figure 12).

Dans ce cas, nous avons au départ 48 magasins dont 4 de 6000 m² le reste ayant une taille de 700 m² soit un total de 54800 m². Cette situation correspond à ce qui est le plus souvent rencontré empiriquement, à savoir quelques gros hypermarchés avec en complément du moyen format de proximité.

L'homogénéisation des tailles avec maintien du total de mètres carrés conduit à 48 magasins de 1141 m² dont la localisation est celle des magasins d'origine. L'ajout de magasins dans les zones d'insatisfaction à nombre de mètres carrés constant a conduit à 78 magasins de 700 m²

Pour ces différentes redistributions de commerces nous avons recalculé pour les différents scénarii de vitesses quel commerce était choisi par quel agent de façon à maximiser le potentiel de Stewart, ainsi que des indicateurs agrégés tels que le total de kilomètres parcourus, le total des temps de transport, la satisfaction moyenne, etc... en comparant ces indicateurs avec la situation d'origine

Les principaux enseignements sont :

3.3.1. Changement de métrique et homogénéisation de la taille des magasins

L'homogénéisation de la taille des commerces couplée aux différents changements de métriques (baisse, homogénéisation et métrique lente) conduit à une très forte baisse à la fois des temps de transport pour aller aux commerces (moins 50 % en moyenne) ainsi que des distances parcourues (jusqu'à moins 85 % pour la métrique lente). De même, la distance moyenne d'accès aux commerces est réduite de moitié ce qui est intrinsèquement favorable à la pratique des modes alternatifs à la voiture. La figure 13 qui montre les réaffectations des individus consécutives à l'homogénéisation de la taille des magasins et à la mise en place d'une métrique lente permet d'illustrer comment ces résultats sont obtenus. On voit bien que la forte polarisation des clients sur quelques gros magasins (traits gris) laisse la place à une polarisation de proximité autour des magasins de 1141 m² (traits verts).

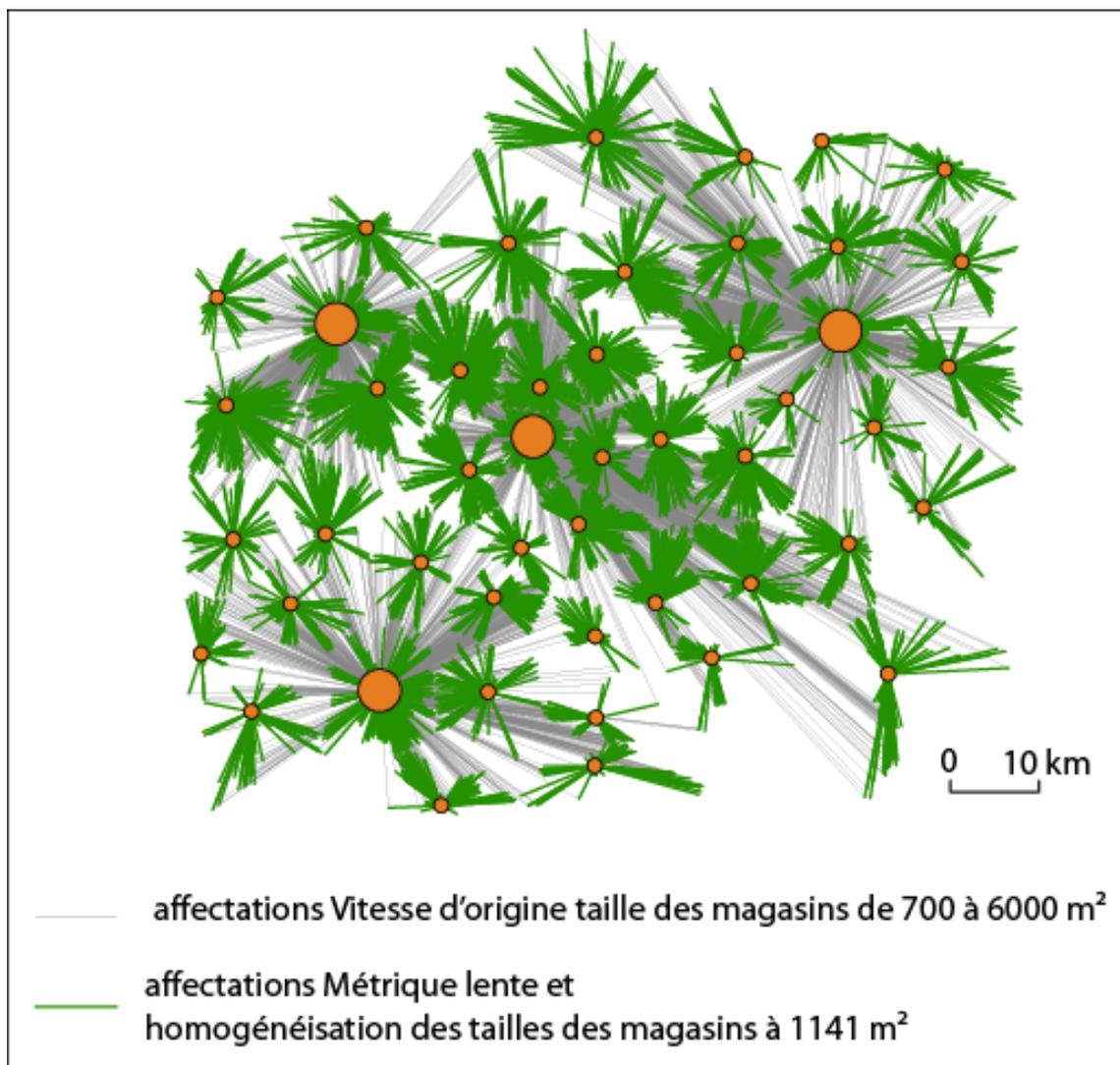


Figure 13 exemple de réaffectations de magasins consécutives à l'homogénéisation de la taille des magasins et la mise en place d'une métrique lente

L'accessibilité est donc fortement améliorée malgré la dégradation des vitesses consécutive aux changements de métrique. On vérifie ici qu'agir sur les aménités est plus puissant en termes d'accessibilité que d'agir sur le réseau, puisque pour obtenir les mêmes résultats en termes d'accessibilité sans agir sur les aménités, il aurait fallu multiplier les vitesses par deux !

Malheureusement, comme dans le premier jeu de simulations (paragraphe 3.2) la satisfaction diminue elle aussi fortement (jusqu'à 50 %), ce qui signifie que la combinaison proximité de magasins de taille moyenne (1141 m²) + changement de métriques ne parvient pas à atteindre le niveau de satisfaction qu'apportait les gros hypermarchés lointains, mais accessibles relativement rapidement grâce à la métrique accélérante des réseaux.

On voit ici qu'agir sur les aménités (ici les commerces) est plus puissant en termes de reconfiguration des accessibilités qu'agir sur le réseau. Toutefois, si comme pour les simulations portant sur les changements de vitesses seulement on atteint bien une partie des objectifs (baisse des temps, des distances, possibilités de transfert modal étant donné la forte diminution de la distance moyenne entre les individus et les commerces) la baisse de la satisfaction individuelle apparaît en revanche trop forte pour être acceptée.

Précisons ici qu'il serait possible de modifier la fonction de Stewart pour faire peser moins la taille des commerces dans la définition de la satisfaction au profit de la distance (ce qui passera (et même se passe déjà) avec l'augmentation du prix des carburants, les problèmes de congestion que rencontrent les zones commerciales, dont l'accessibilité automobile est pourtant théoriquement l'atout maître, et avec le meilleur achalandage rapport qualité-prix des moyens formats de proximité). On pourrait dans ce cas obtenir une baisse des satisfactions moins forte voire une augmentation pour les scénarii envisagés. Toutefois, notre but n'étant pas ici de faire de la prospective sur l'évolution des préférences individuelles en termes de choix de commerces, ou de réfléchir très profondément aux reconfigurations commerciales aptes à proposer une alternative aux hypermarchés (rappelons que la thématique des commerces n'est utilisée ici qu'à titre heuristique pour travailler sur la notion d'accessibilité), nous avons gardé la fonction constante pour toutes les simulations en ne choisissant pas de plus, pour garder la force de la démonstration, les scénarii de distribution de commerces les plus favorables à nos objectifs (ex : eu égard à la fonction de Stewart utilisée dans laquelle la taille du magasin joue un rôle important, il aurait été plus facile d'obtenir une constance des satisfactions en remplaçant les 54800 m² de commerces initiaux par exemple par 25 magasins de 2200 m² plutôt que par 48 magasins de 1141 m²).

3.3.2. Changements de métrique, ajout de magasins et homogénéisation de leur taille : la ville lente mais accessible !

Pour la deuxième configuration de commerces (ajout d'aménités et homogénéisation des tailles de façon à garder constant le nombre total de mètres carrés), les résultats montrent que l'on peut atteindre tous les objectifs visés pour atteindre la ville lente mais accessible à savoir moins de déplacement en distance et en temps (avec des vitesses moyennes moindres) et dans le même temps une hausse de la satisfaction moyenne ou médiane ainsi qu'une plus grande égalité des situations.

Ainsi, le total des distances temps baisse de 50 à 65 % selon la métrique envisagée (la métrique Bais étant celle qui produit logiquement la plus faible baisse des distances temps). Cette baisse est encore plus forte en termes de distance kilométrique puisqu'elle varie de 70 % pour Homog et Bais à 80 % pour la métrique lente. Cette très forte diminution s'explique par la possibilité qu'offre ce scénario de commerces d'avoir un commerce proche du domicile. Ainsi, la distance moyenne pour accéder au commerce auquel chaque individu est affecté passe de 18 à 5,14 km.

Cependant, la grande différence avec tous les scénarii testés jusque là tient au fait que dans ce cas la satisfaction augmente elle aussi : + 20 % pour le scénario Bais, +44 % pour Homog et qu'elle est par ailleurs distribuée de façon plus équitable puisque l'écart type des valeurs diminue fortement. Pour la métrique lente en revanche la satisfaction diminue

toujours. Dans le détail, on observe toutefois qu'elle augmente en réalité mais pour un sixième des individus seulement qui sont ceux qui sont le plus proche des magasins. En effet, la métrique lente pénalisant tellement les trajets longs que même l'ajout d'aménités commerciales ne parvient pas à compenser les effets de cette métrique sur l'augmentation des distances temps qui grèvent les satisfactions individuelles. Toutefois, si on change un peu la méthode en affectant chaque individu non pas au commerce qui lui apporte la plus grande utilité au départ de son domicile seulement, mais en laissant la possibilité de l'affecter au commerce le plus favorable soit au départ du domicile, du lieu de travail ou d'étude alors il est possible d'avoir une légère hausse de la satisfaction moyenne dans le cas de la métrique lente. En effet, dans ce cas la proportion des individus qui doivent se déplacer « loin » pour aller au commerce et pour qui la métrique lente pèse fortement diminue fortement.

Ces derniers résultats montrent donc, à travers l'exemple de l'accessibilité aux commerces, qu'il est possible d'atteindre une ville lente (qui correspond aux diverses métriques testées et qui toutes concourent à promouvoir la compétitivité des modes alternatifs à la voiture) mais qui reste accessible et satisfasse les individus à l'échelle individuelle. Pour cela il est obligatoire d'agir à la fois sur la métrique des réseaux et sur la disposition des aménités. Dit autrement, il est nécessaire de réintroduire de la géographie dans la définition de l'accessibilité, là où depuis des années c'est la vitesse et donc le transport qui a primé.

Les différents scénarii testés ont toutefois montré que pour atteindre la ville lente, mais accessible, il faut que le choix entre les différentes aménités soit large. En effet, si suite à un changement de métrique les individus ne peuvent pas revoir leurs pratiques spatiales, car ils n'ont pas le choix des lieux à fréquenter (i.e. il n'existe qu'une solution raisonnable de commerce à fréquenter, car les autres sont beaucoup trop loins) alors on obtient juste une baisse des accessibilités en temps et des satisfactions. Ainsi, la ville lente mais accessible doit aussi être celle du choix, de l'adaptation qui permet les optimisations individuelles.

4. Conclusions et transition vers le projet DAMA

Ces travaux ont permis de montrer que vitesse et accessibilité peuvent être découplées et que des villes lentes mais accessibles sont possibles. Pour atteindre cet objectif de villes lentes mais accessibles, qui s'inscrivent dans une logique de durabilité car elles permettent intrinsèquement une mobilité plus durable et une meilleure équité spatiale, la structure morpho-fonctionnelle des réseaux routiers constitue un levier majeur d'aménagement et non un acquis qu'il s'agit de modifier à la marge.

A tout le moins, revenir sur le « dogme » de la vitesse obtenue par des réseaux hiérarchisés comme garante de l'accessibilité semble être une nécessité.

Par ailleurs, que ce soit pour les commerces, ou les services la multiplication des aménités nécessaires pour atteindre une accessibilité de qualité, mais sans le recours obligatoire à la vitesse, pose les questions majeures de la logistique et de la nature même des aménités. Pour le commerce : les drives, la livraison à domicile ou dans des points fixes, pour les services : la création de maisons multiservices, de lieux de services publics se déplaçant dans la semaine en se localisant notamment sur les lieux de transit, sont des évolutions qui devraient se généraliser pour permettre cette accessibilité de qualité mais moins dépendante de l'automobile sans pour autant avoir à supporter les coûts fixes d'une multiplication des localisations des aménités.

En modifiant la structure morpho-fonctionnelle des réseaux routiers pour globalement aller vers une limitation de la vitesse et de la hiérarchisation des voies, on peut inscrire la possibilité d'une véritable concurrence modale dans la structure du réseau lui-même, à travers les formes d'accessibilité qu'il produit. Toutefois pour que ces modifications d'accessibilité soient acceptables par la population et pour que le transfert modal puisse effectivement s'effectuer, il faut qu'elles ne grèvent pas trop leur niveau de satisfaction individuelle. A travers l'accessibilité aux commerces, utilisée ici à titre heuristique, nous avons pu voir que les changements de métriques des réseaux doivent s'accompagner d'un travail sur les configurations spatiales des aménités, condition nécessaire pour atteindre une ville lente, mais accessible, pour laquelle les niveaux de satisfaction individuelle sont maintenus voire progressent

Il n'est donc pas obligatoire de renoncer à l'accessibilité pour sortir de la dépendance automobile, ce qui serait le cas si l'on se limitait à diminuer les vitesses automobiles pour améliorer la compétitivité des autres modes. Pour aller vers la ville de la mobilité durable, il faut que les individus y souscrivent et qu'ils aient pour cela quelque chose à y gagner ou du moins rien à y perdre. Plus qu'une inéluctable diminution de l'accessibilité consécutive à une diminution de la part modale de la voiture, c'est davantage la nature même de l'accessibilité qui est à repenser. Caricaturalement, il s'agit de passer d'une accessibilité à de grosses aménités, peu nombreuses, qui sont accessibles par le seul fait de la vitesse automobile et qui a pour conséquence d'engendrer de grosses différences de situation, à une accessibilité à de plus petites aménités, plus nombreuses, joignables à courte portée avec des vitesses plus faibles qui sont notamment celles des modes non mécanisés, ce qui permet plus d'équité spatiale. Après des décennies au cours desquelles on ne s'est intéressé qu'à la vitesse pour garantir l'accessibilité, il s'agit de s'intéresser à nouveau à

la question des localisations. Les géographes doivent ainsi s'imposer à nouveau face aux ingénieurs transport...

Ces travaux « exploratoires » et à visée heuristique vont se poursuivre et trouver des applications plus concrètes dans le cadre du projet Predit DAMA² (2011-2014)

Nous chercherons notamment -

- à modifier non seulement les fonctionnalités des réseaux routiers, mais aussi leur topologie. Le rôle de la connectivité fera notamment l'objet d'un focus particulier, sachant que nous avons déjà pu montrer son importance pour l'accessibilité à courte portée et la pratique des modes doux (Foltête et al., 2008)
- à améliorer les relocalisations d'aménités par l'utilisation de méthodes de relocalisation optimale afin de s'affranchir des méthodes « artisanales » utilisées ici. Cette piste ne changera pas le sens des résultats, mais devrait encore renforcer leur portée en améliorant les gains d'accessibilité et de satisfaction.
- en différenciant les individus selon leur profil par rapport à la valeur qu'ils accordent au temps. Il s'agira ici de voir qui a le plus à gagner ou à perdre par rapport aux différents scénarii de vitesses envisagés non seulement eu égard à la localisation des individus mais aussi par rapport à leur profil socio-économique qui détermine leur valeur du temps. On cherchera par exemple à savoir si il existe des seuils de baisse de vitesse à partir desquels on a globalement plus de perdants que de gagnants. Ces analyses sont d'ores et déjà en cours puisque Matsim a été modifié de façon à intégrer cette possibilité d'introduire des fonctions d'utilité différentes selon les catégories d'individus.
- enfin, et surtout, nous dépasserons la thématique du commerce pour envisager un fonctionnement plus global de la ville. Nous traiterons donc simultanément de l'accessibilité aux emplois, logements et services. La question sera donc quelles localisations des aménités urbaines en lien avec quelles métriques pour quelle accessibilité ?

² Vers de nouvelles dynamiques de localisation des ménages et des activités dans les territoires urbains pour découpler accessibilité et mobilité automobile, appel à proposition de recherches Dynamiques de localisation et mobilité à l'horizon 2025. Prospective, politiques et outils, Février 2011

5. Bibliographie

- Axhausen K.W., Ciari F., Löchl M., 2008 : «Location decisions of retailers : an agent-based approach», 15th International Conference on recent advances in retailing and services sciences, Zagreb, july, 2008
- Banos A., Genre-Grandpierre C. (2011) : « new types of metrics for urban road networks explored with S3 : an agent-based simulation platform », in Bai Q. (dir) *Advances in practical multi-agent systems studies in computational intelligence*, vol 325/2011, pp 435-444.
- Beauvais Consultants, 2003 : Distribution des biens de consommation et usage de la voiture particulière pour motif « achats » dans les agglomérations françaises, rapport d'étude de la DRAST, Ministère de l'équipement, des transports, du logement, du tourisme et de la mer, 134 p.(<http://www.developpement-durable.gouv.fr/La-base-de-donnees-lsodore.html>)
- Boquet Y., Desse R.P (dir), 2010 : *Commerce et mobilités*, Editions Universitaires de Dijon, 293 p.
- Ciari, F. (2011), Modeling Location decisions of retailers with an agent-based approach, paper presented at the *11th Swiss Transport Research Conference*, Ascona, May 2011.
- Charypar D., Nagel K.,(2005) : Generating complete all-day activity plans with genetic algorithms, *Transportation*, 32 (4), pp. 369-397
- Dupuy G., (1991). *L'urbanisme des réseaux, théories et méthodes*, Armand Colin, Paris
- Dupuy G., 1995 : *Les territoires de l'automobile*, Paris, Economica, 216 p.
- Foltête J.C., Genre-Grandpierre C., Josselin D., 2008, « Impact des réseaux viaires sur les mobilités urbaines : quelques illustrations », in Thériault M., Des Rosiers F. (dir), *Information géographique et dynamiques urbaines 1, analyse et simulation de la mobilité des personnes*, Traité IGAT Hermès-Lavoisier, Paris, pp.139-165.
- Genre-Grandpierre C. (2007), «Des réseaux lents contre la dépendance automobile ? Concept et implications en milieu urbain», *l'Espace Géographique*, n° 1, pp. 27-39.
- Genre-Grandpierre C., 2007 : Inégalités dans l'accessibilité spatio-temporelle aux commerces dans l'aire de vie avignonnaise. Etat des lieux et perspectives de réduction, *Espace Populations Sociétés*, n° 2/3, Les temporalités des populations.
- Genre-Grandpierre C., Perrussel-Morin D., 2008 : La ville comme potentiel d'interactions sociales, in : Foltête J.-C. (dir.), *Actes des Huitièmes Rencontres de Théo Quant*, Besançon. ISSN 1769-6895. Article mis en ligne le 5 mai 2008.
- Hillier B., Penn A., Hanson J., Grajewski T., Xu J. (1993), « Natural movement : or, configuration and attraction in pedestrian movement », *Environment and Planning B : Planning and Design*, 20(1), pp. 29-66.
- Huriot J.-M. (dir) (1998), *La ville ou la proximité organisée*, Economica, Paris.
- Joly I., (2005). «Décomposition de l'hypothèse de constance des budgets temps de transport», in *Mobilités et temporalités* Montulet B *et al.*(dir), Facultés Universitaires Saint Louis, Bruxelles, p. 129-150
- Levinson D., Kumar A., 1994, The rational locator: why travel times have remained stable, *Journal of the American Planning Association*, 60(3), pp. 319-332.

Pumain D., Moriconi-Ebrard F. (1997), «City size distribution and metropolisation», *Geojournal*, 43(4), pp. 307-314.

Krugman P., 1996, *The self-organising economy*, Blackwell Publishers, Boston

Munda G., 2005, Measuring sustainability : a multi-criterio framework, *Environment, Development and Sustainability*, 7, pp. 117-134

Plassard F, 1992 : "les réseaux de transport et de communication", in Bailly A. (dir), *Encyclopédie de géographie*, Economica, pp. 533-556.

SMESSDRG : Syndicat Mixte pour l'élaboration et le suivi du Schéma directeur de la région grenobloise (2005). Pour un « chrono-aménagement » du territoire. Vers des autoroutes apaisées. Les dossiers déplacement.

Thomas I, 2002 : Transportation networks and the optimal location of human activities: a numerical geography approach. *Transport economics, management, and policy* ». Cheltenham, UK: E. Elgar, 2002.

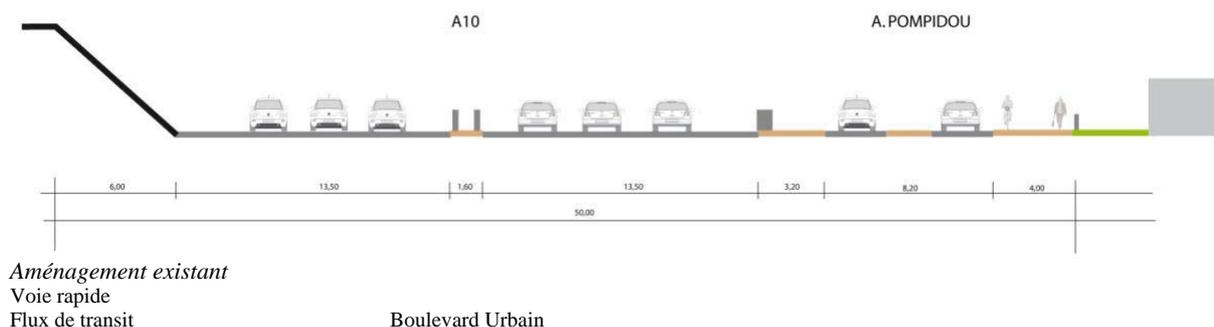
Wiel M., 2002, *Ville et automobile*, Descartes et Cie, Paris.

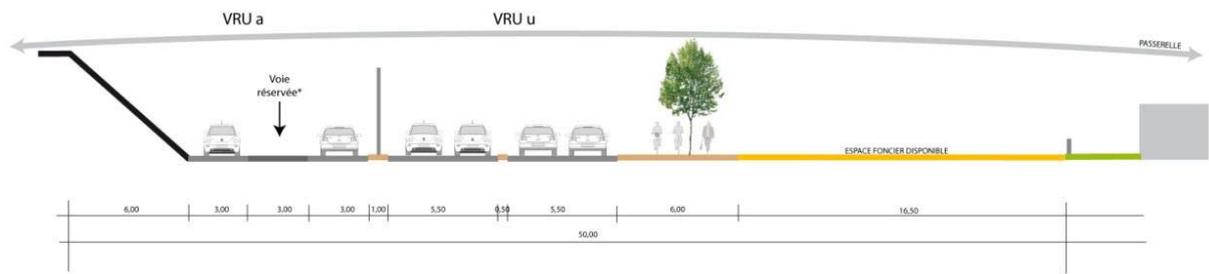
Zahavi Y., Talvitie A., 1980, Regularities in Travel Time and Money Expenditure, *Transportation Research Record*, 750, 13-19.

Tables des illustrations

Figure 1	Un exemple de programme d'activité dans Matsim avec les lieux, les horaires et les modes de transport	12
Figure 2	Exemple de replanning pour un programme d'activités : en changeant les routes, les modes, les horaires	13
Figure 3	Le workflow de Matsim avec ou sans replanning	14
Figure 4	Le réseau routier de Zurich	15
Figure 5	L'efficacité des trajets automobiles augmente avec la portée des trajets	15
Figure 6	Les vitesses pour les différents scenarii	17
Figure 7	La métrique lente utilisée pour les simulations	18
Figure 8	Localisation des logements, lieux de loisirs-étude, travail et commerces utilisés pour les simulations dans l'agglomération de Zurich	19
Figure 9	Exemples de configurations de magasins testées	20
Figure 10	exemple de réaffectations de magasins consécutives à la mise en place d'une métrique pénalisante pour les trajets longs (ici métrique homogène)	22
Figure 11	Exemple de carte de satisfaction locale utilisée pour localiser de nouveaux commerces	25
Figure 12	Workflow des analyses avec changement de métrique et ajout d'aménités	26
Figure 13	exemple de réaffectations de magasins consécutives à l'homogénéisation de la taille des magasins et la mise en place d'une métrique lente	28

Annexe 1 : requalification d'une voie rapide (A10) en boulevard urbain plus lent





Hypothèse d'aménagement en 2030 et gain en termes de foncier

Source : Ballet D., Dupré A.C., Picamal S., Poussielgue C., 2002 : Requalification de l'autoroute A10 et de ses abords dans la traversée urbaine de Tours , Projet de fin d'étude du master AMUR de l'École Nationale des Ponts et Chaussées <http://82.138.74.168/Document.htm&numrec=031029068920180>)