



HAL
open science

Changer de métrique des réseaux routiers pour réguler la dépendance automobile : les “ réseaux lents ” ?

Cyrille Genre-Grandpierre

► To cite this version:

Cyrille Genre-Grandpierre. Changer de métrique des réseaux routiers pour réguler la dépendance automobile : les “ réseaux lents ” ?. Les Cahiers Scientifiques du Transport / Scientific Papers in Transportation, 2007, 52 | 2007, pp.45-66. 10.46298/cst.12060 . hal-04148397

HAL Id: hal-04148397

<https://hal.science/hal-04148397v1>

Submitted on 3 Jul 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

**CHANGER DE MÉTRIQUE DES RÉSEAUX ROUTIERS
POUR RÉGULER LA DÉPENDANCE AUTOMOBILE :
LES « RÉSEAUX LENTS » ?**

CYRILLE GENRE-GRANDPIERRE

UMR 6012 ESPACE

CNRS - UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE

Si l'on examine avec attention l'énorme quantité de travaux ayant trait à la question des transports urbains en général et du fonctionnement du système automobile en particulier, on note assez vite que le réseau viaire est trop rarement envisagé comme objet de recherche en tant que tel, bien qu'il constitue une composante centrale du système urbain en formant l'espace du mouvement. L'attention porte en effet beaucoup plus sur qui se déplace, avec quel mode, pour quoi faire ? etc. que sur les aspects matériels du déplacement. Par où passent les trajets, quels sont les types de voies empruntées et comment s'enchaînent-ils, les trajets varient-ils selon les modes de transport utilisés, quelles sont les alternatives possibles au trajet optimal, quelles sont les performances des différentes morphologies de réseaux etc. autant de questions qui ne restent souvent abordées que de façon marginale. Tout se passe comme si le réseau viaire était un acquis que l'on modifie à la marge, en ajoutant ou recalibrant une voie ou encore en créant un nouveau rond-point.

Bien sûr la littérature technique s'intéresse au profil en travers des voies, au revêtement, à la coordination des feux etc. mais la connaissance de l'objet réseau reste partielle. En effet, la majorité des recherches impliquant l'analyse de réseaux porte sur la question de la mesure de l'accessibilité à une ou plusieurs ressources (emplois, commerces, équipements etc. Cf. GEURS, RITSEMA VAN ECK, 2001 pour une synthèse) et sur l'analyse de la variation spatiale de cette accessibilité (où est-on bien placé pour accéder à telle ou telle ressource ?). En revanche les tentatives de description de la forme et du fonctionnement des réseaux en vue de les catégoriser restent très limitées et insatisfaisantes. Ainsi, il reste par exemple difficile de décrire avec précision comment un réseau routier permet d'accéder à la surface, la façon dont il draine l'espace et les effets en termes de dualisation des territoires qui peuvent en découler (PLASSARD, 1992). La densité, mesure la plus utilisée, apparaît ici bien insatisfaisante puisque sa valeur varie en fonction de l'échelle de mesure et puisqu'elle ne prend pas en compte la topologie des réseaux et leur dimension fonctionnelle (une même mesure de densité peut correspondre à des réalités totalement différentes en termes de qualité de desserte spatiale). De même le fonctionnement circulatoire des réseaux, c'est-à-dire la façon dont ils acheminent les flux, demeure mal maîtrisé. Difficile de dire si, pour une même demande de déplacement, telle structure de réseaux est intrinsèquement plus propice à la congestion que telle autre. Or, l'accessibilité c'est pouvoir rejoindre aisément différents lieux d'un espace, mais c'est aussi pouvoir le faire nombreux et en même temps. Enfin, la mesure des réseaux et de leur accessibilité souffre de l'utilisation de mesures trop globales, issues principalement de la théorie des graphes (*i.e.* les indices d'accessibilité nodale), qui reviennent à n'avoir qu'une vision moyenne des choses. L'accessibilité produite par tel ou tel réseau est considérée globalement, sans chercher à la différencier en fonction des différents types de trajets. Qui peut dire que telle structure de réseau favorise davantage que telle autre les trajets de courte, moyenne ou longue portée ?

Si tant de questions restent ouvertes, c'est sans doute parce qu'il est difficile de subsumer efficacement dans quelques indices agrégés la forme et le fonctionnement des réseaux viaires (BÉGUIN, THOMAS, 1997). Or parvenir à catégoriser les réseaux est particulièrement intéressant en termes d'aménagement, pour être en mesure de relier ensuite ces catégories à d'éventuels effets induits. On peut alors par exemple chercher à savoir s'il existe des formes-fonctionnements de réseaux plus accidentogènes que d'autres, plus consommateurs d'énergie, plus sensibles à la congestion, intrinsèquement plus propices à l'usage de tel ou tel mode et, si tel est le cas, explorer le rôle explicatif tenu par des variables comme la connectivité du réseau, la hiérarchisation des voies et les types de cheminements qu'elle induit etc.

Jusqu'à présent, les travaux sur les externalités, notamment environnementales, de la forme urbaine se sont surtout focalisés sur l'espace de l'établissement en (sur)utilisant comme variable descriptive de la forme

urbaine la densité de population. Les célèbres travaux de NEWMAN et KENWORTHY (1989) qui à une échelle très large relient densité, consommation d'énergie et dépendance automobile en sont une illustration. Si d'autres travaux (BANISTER et al., 1997 ; BREHENY, 1992) sont beaucoup plus nuancés sur le lien entre forte densité et faible consommation énergétique, ils suivent en revanche quasiment tous une logique identique en ne prenant pas en compte la façon dont s'organise le mouvement à travers le fonctionnement des réseaux viaires. Des recherches récentes se sont toutefois engagées sur cette voie en cherchant à relier différentes catégories de réseaux viaires à des externalités particulières, notamment en termes de pratiques de mobilité. Ainsi, VERNEZ MOUDON et al. (1997), FOLTÊTE et GENRE-GRANDPIERRE (2003) ont par exemple montré l'effet incitatif que peuvent avoir certains réseaux viaires (les plus connectifs et assurant une bonne desserte spatiale) sur la pratique de la marche à pied. De même, les travaux liés à la *Space Syntax* ont révélé que le pattern des flux automobiles en milieu urbain dense dépendait beaucoup plus de la structure morpho-fonctionnelle du réseau que de la matrice origine-destination des flux (PENN et al., 1998 ; GENRE-GRANDPIERRE, 2000). Certains types de réseaux (*i.e.* ceux qui ont intrinsèquement le plus tendance à concentrer les flux, ce qui est le cas des plus hiérarchisés en termes de vitesse), seront donc « naturellement » plus sujets à la congestion. THOMAS (2002) a quant à elle relevé l'influence capitale de la forme des réseaux viaires sur les résultats des modèles de localisation optimale d'activité et donc *in fine* sur les formes de développement urbain (plus ou moins concentré, étalé, multipolaire etc.). Relier la forme des réseaux viaires et les formes d'accessibilité qu'ils génèrent à différents types d'externalités paraît donc être une piste de recherche très féconde et peut constituer une aide précieuse pour l'aménagement urbain.

C'est dans ce cadre général que se situent nos travaux. Plus spécifiquement, il s'agit d'analyser dans quelle mesure la dépendance automobile (DUPUY, 1999) peut être considérée comme une externalité des formes d'accessibilité que produisent les réseaux viaires actuels. Une première étape consiste à analyser l'accessibilité que fournit le système automobile, composé du réseau viaire et du véhicule automobile, en différenciant la qualité du service rendu, la « métrique¹ » automobile, selon le type de trajets. Cette analyse montre que la structure morpho-fonctionnelle de tous les réseaux viaires actuels tend intrinsèquement à favoriser l'efficacité des trajets automobiles plus que celle des autres modes, en particulier pour les trajets aux portées les plus longues. Elle amène à la conclusion que la suprématie du mode automobile est inscrite au sein même du design des réseaux viaires et que l'étalement urbain et la

¹ Afin d'alléger le texte et bien que toutes les hypothèses mathématiques permettant de parler de métrique au sens strict ne soient pas vérifiées, nous appellerons métrique d'un réseau viaire utilisé par un véhicule donné, le type d'accessibilité qu'il génère, c'est-à-dire la façon dont il tend à induire le rapprochement ou l'éloignement des lieux dans l'espace vécu par rapport à leur position euclidienne.

dépendance automobile en sont deux externalités négatives.

La métrique de tous les réseaux viaires actuels relevant d'une même logique, qui concourt *in fine* à la dépendance automobile, nous poserons dans une deuxième partie la question de savoir s'il est possible d'élaborer des réseaux, *ex nihilo* ou à partir de l'existant, produisant des métriques relevant d'une logique différente et n'ayant pas de ce fait la dépendance automobile comme effet induit. C'est dans ce cadre que sera introduit le concept des « réseaux lents » qui se caractérisent par une logique métrique opposée à celle des réseaux actuels. Nous discutons enfin de l'utilité que pourrait avoir une métrique lente pour concourir à un partage modal plus équitable et dans une perspective plus large pour contribuer à l'émergence de fonctionnements urbains plus durables.

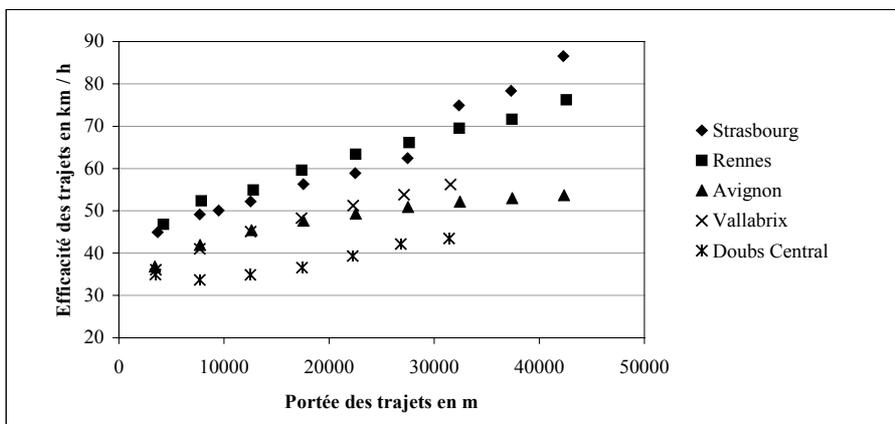
1. LA DÉPENDANCE AUTOMOBILE COMME EXTERNALITÉ DE LA MÉTRIQUE DES RÉSEAUX VIAIRES ACTUELS

1.1. PLUS ON VA LOIN, PLUS ON VA VITE

La description de l'accessibilité produite par un système de transport est le plus souvent réalisée à l'aide d'indices issus de la théorie des graphes et de la recherche opérationnelle : indice d'accessibilité globale ou nodale, indicateurs de circuité ou le très utilisé indice de Marchand qui fournit une vitesse moyenne des trajets en divisant la somme des distances réseau entre les couples de points par la somme des temps correspondants. Or, ces indices présentent le désavantage d'être des indices moyens qui ne différencient pas la qualité de l'accessibilité produite selon le type de trajet. On ignore de ce fait le plus souvent si un réseau fournit une qualité de service constante ou si au contraire cette qualité varie selon les catégories de trajets envisagées. Pour étudier cette variation nous avons rapporté l'efficacité des trajets automobiles à leur portée (*i.e.* la distance à vol d'oiseau entre origine et destination). Précisons que l'efficacité des trajets mesurée en km/h est une mesure simple, mais très pertinente, pour estimer la qualité de service fournie par un système de transport (GUTIÉRREZ et al., 1998). En rapportant la durée du trajet réel à la distance euclidienne entre origine et destination, elle indique à quelle vitesse moyenne s'effectuerait le déplacement s'il était réalisé à vol d'oiseau. L'efficacité permet donc de supprimer le biais lié aux détours qu'impose la structure du réseau, ce qui n'est pas le cas de l'indicateur traditionnel de vitesse moyenne. En effet, dans le cas d'un réseau obligeant à de grands détours mais pour lequel la vitesse de déplacement est élevée, la vitesse moyenne des trajets sera forte sans pour autant que l'accessibilité soit bonne. La mesure d'efficacité fera en revanche la différence entre un tel réseau et un réseau rapide offrant une bonne accessibilité. Elle permet ainsi souvent de relativiser les niveaux de performances réelles des systèmes de transport, notamment des plus hiérarchisés et des moins connectifs.

En rapportant pour de nombreux secteurs géographiques l'efficacité des trajets automobiles à leur portée, on constate que cette efficacité croît fortement et systématiquement pour des portées allant 1 à 80 kilomètres environ. A titre d'illustration, nous avons calculé à l'aide d'un système d'information géographique et de la base de données *Géoroute*, la distance à vol d'oiseau et le temps de trajet automobile correspondant pour des conditions de circulation fluide pour plus de 20 000 couples de points placés aléatoirement dans chacune des zones d'étude. Ces zones correspondent à des cercles de 50 à 80 kilomètres de rayon centrés sur une ville principale (Rennes, Strasbourg, Avignon). Afin de pouvoir représenter graphiquement et analyser une telle masse de données, on calcule l'efficacité et la portée moyenne des trajets qui sont regroupés en fonction de leur portée par pas de 5 kilomètres (chaque point sur la Figure 1 donne donc l'efficacité moyenne en fonction de la portée pour des groupes de plusieurs centaines de trajets).

Figure 1 : Variation géographique de l'efficacité des trajets automobiles en fonction de leur portée

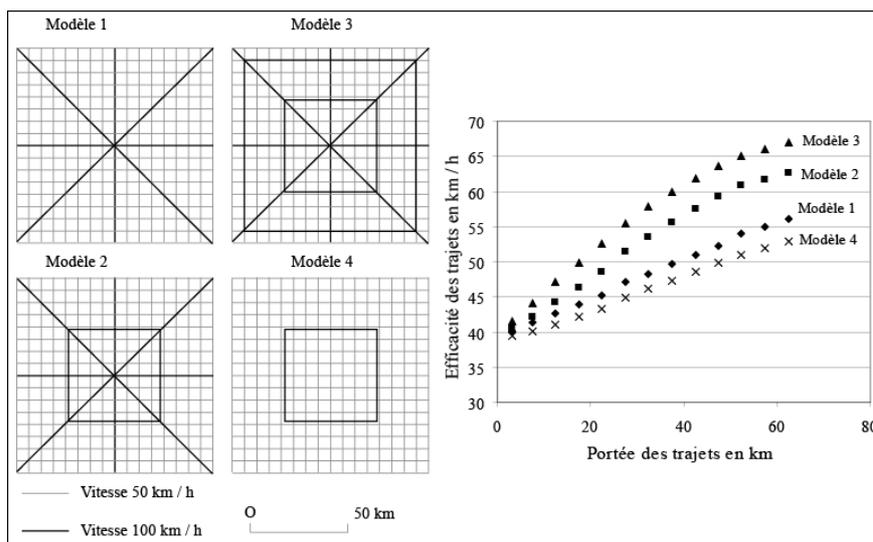


On note tout d'abord la forte variation des efficacités : de 35 km/h environ pour des portées de 3,5 km, à plus de 80 km/h pour des portées de 45 km. En réalité, la variation est encore plus forte car l'efficacité tombe à moins de 25 km/h pour les trajets de moins de 2 km de portée et elle peut tendre asymptotiquement vers 100 km/h pour des portées de plus de 100 km dans les secteurs où le réseau autoroutier est très dense. Précisons ici que si les obstacles géographiques (Rhône et Durance) expliquent les efficacités plus faibles du secteur d'Avignon, une autre partie de l'explication relève des ajustements que notre connaissance du terrain a permis d'effectuer sur la base *Géoroute* (les vitesses théoriques calculées en fonction du type de voie, du nombre de chaussées etc... ont été revues à la baisse pour davantage correspondre à la réalité observée). De telles corrections n'ayant pas été apportées sur les réseaux de Strasbourg et Rennes, les fortes efficacités calculées sont sans doute surestimées.

On note par ailleurs que les efficacités dans les zones semi-rurales du Doubs-Central (25) et de Vallabrix (secteur d'Uzès, 30) apparaissent logiquement moins fortes puisque les réseaux rapides y sont moins présents. Les valeurs minimales relevées jusqu'à présent l'ont été dans les Cévennes où en moyenne l'efficacité n'excède par exemple pas 28 km/h pour des trajets de 11 km de portée. Au-delà des variations locales d'efficacité, l'important à noter reste toutefois qu'il n'existe aucune exception locale au phénomène d'accroissement de l'efficacité avec la portée des trajets.

Parallèlement aux réseaux empiriques nous avons testé la métrique de quelques réseaux théoriques (Figure 2). Un réseau rectilinéaire (Manhattan) avec une maille de 1 km de côté a tout d'abord été créé dans une zone de 100 kilomètres de côté. Sur chaque voie la vitesse a été fixée à 50 km/h. Sur cette base nous avons rajouté un ensemble de radiales, comme il en existe au départ de presque tous les cœurs de grandes villes, sur lesquelles la vitesse est de 100 km/h (Modèle 1). Ce modèle a ensuite été complété par un boulevard périphérique (Modèle 2), puis par un second (Modèle 3). Pour le Modèle 4, seul le premier boulevard a été conservé. Les résultats pour ces modèles théoriques confirment les analyses empiriques en montrant la forte progression de l'efficacité des trajets avec l'augmentation de la portée des déplacements. Le réseau le plus efficace est logiquement celui où la densité de voies rapides est la plus forte (Modèle 3).

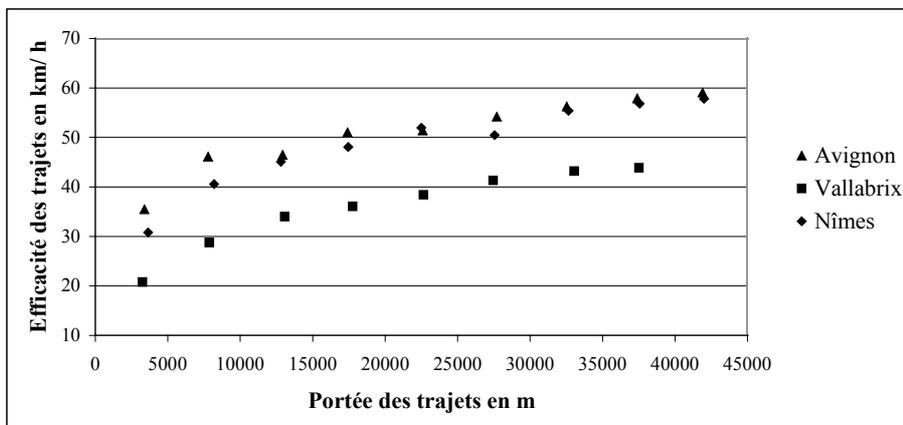
Figure 2 : Variation de l'efficacité des trajets automobiles en fonction de leur portée pour quelques réseaux théoriques



Si on analyse à présent l'efficacité en fonction de la portée des trajets non pas pour l'ensemble d'un secteur géographique, c'est-à-dire de tous les lieux à tous les lieux, mais au départ d'un seul centre de comptage vers tous les autres lieux, on constate que les variations sont à nouveau très importantes

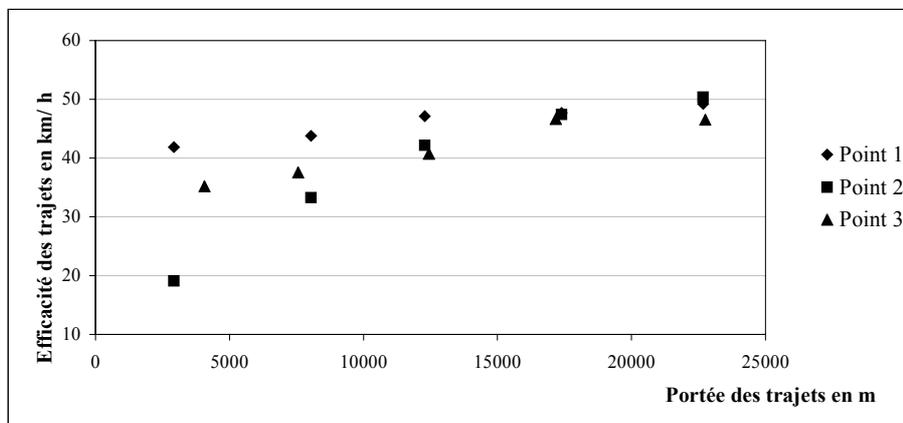
(Figure 3). L'efficacité pour des portées de trajets de 7,5 km varie par exemple de moins de 25 km/h au départ du village de Vallabrix à plus de 35 km/h pour Avignon.

Figure 3 : Variation géographique des courbes d'efficacité des trajets automobiles en fonction de leur portée au départ de quelques communes-centres



Les valeurs varient par ailleurs selon les centres de comptage choisis au sein des zones, exprimant ainsi leur « capital spatial » en termes d'accessibilité. Par exemple, dans la zone d'Avignon les efficacités varient du simple au double (de 20 à plus de 40 km/h) pour les portées de moins de 5 kilomètres, pour 3 centres distants d'une trentaine de kilomètres, révélant ainsi les particularités locales du réseau. Dans ce cas les courbes des différents centres de comptage tendent toutefois à converger vers un comportement moyen, qui est celui de la zone dans son entier, dès que les portées dépassent 15 km.

Figure 4 : Variations locales des courbes d'efficacité des trajets automobiles en fonction de leur portée au sein de la zone d'Avignon

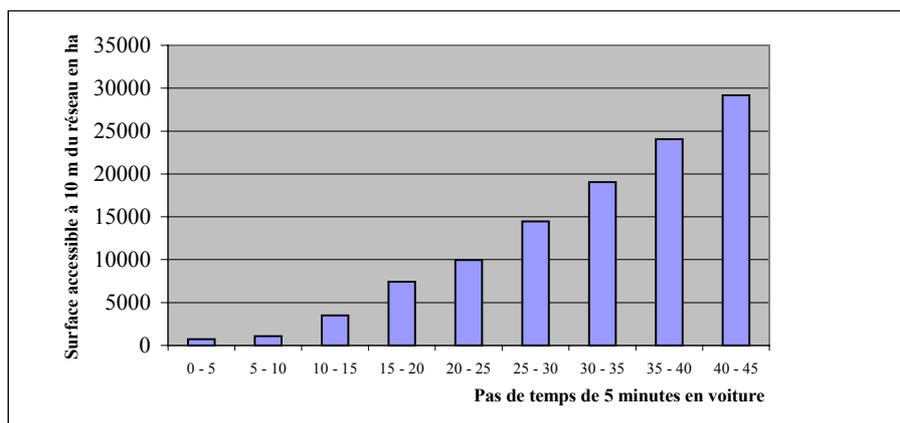


Ainsi, même s'il existe des variations locales dans les valeurs absolues, le même principe s'avère partout valable : plus on va loin, plus on va vite, pour une fourchette de portées de trajets allant de 1 à 80 km environ. L'explication de cette métrique « accélérante » des réseaux routiers tient à la hiérarchisation fonctionnelle des réseaux par la vitesse. Pour rejoindre sa destination, un automobiliste cherche en effet à s'extirper le plus rapidement possible des voies les plus lentes pour rejoindre les infrastructures les plus rapides afin de minimiser son temps de trajet total. Avec l'accroissement de la portée des trajets, la part du trajet effectuée sur les infrastructures rapides augmente, ce qui se traduit par l'augmentation de son efficacité.

1.2. UNE MÉTRIQUE DE RÉSEAU QUI POUSSE À L'ÉTALEMENT URBAIN ET IN FINE À LA DÉPENDANCE AUTOMOBILE

En raison de l'efficacité croissante des trajets, l'accessibilité n'est donc pas proportionnelle à la durée des trajets. Aussi, relativement au rapport nombre d'opportunités / temps de transport, chaque seconde de plus passée avec une automobile sur un réseau a une valeur supérieure aux secondes précédentes. A titre illustratif, on voit sur la Figure 5 que la surface accessible pour des pas de temps de trajet de 5 minutes au départ d'Avignon croît bien selon une fonction de puissance (on aurait une droite horizontale si les vitesses de déplacement étaient constantes et le réseau homogène).

Figure 5 : Surface accessible au départ d'Avignon par pas de temps de 5 minutes en automobile



Tout se passe donc comme si la métrique des réseaux poussait les individus à aller toujours un petit peu plus loin. Par exemple, un individu cherchant une maison se verra enclin à aller toujours plus vers la périphérie, puisque son choix s'élargit plus vite en proportion que n'augmente son temps de transport et que, de plus, les prix diminuent globalement du centre vers la périphérie. Ici la métrique « accélérante » des réseaux routiers peut donc être considérée comme un véritable moteur de l'étalement urbain et comme un encourage-

ment à ne pas chercher à agencer ses lieux de vie selon des critères de proximité physique. La limite à ce fonctionnement qui, poussé à l'extrême, produirait un éclatement général de la ville, se trouve dans la valeur maximale que les individus accordent à leur budget temps de transport. En effet, si l'on considère valable à une échelle agglomérée l'hypothèse de ZAHAVY (Cf. JOLY, 2005, pour plus de précisions), ce budget reste borné entre 60 et 90 minutes. Les lieux de vie doivent donc rester dans une certaine proximité kilométrique afin de ne pas faire exploser le budget temps de transport. Cette proximité est devenue ces 30 dernières années d'autant plus lâche que les vitesses de déplacement ont augmenté.

Le raisonnement tenu pour la recherche d'une maison valant aussi pour le choix des commerces, lieux de loisirs ou emplois et l'allongement des distances parcourues étant le principal contributeur à l'augmentation du trafic (WIEL, 2002), on mesure bien le problème posé par cette métrique qui pousse à la distanciation des lieux de vie.

Par ailleurs, le principe de l'augmentation de l'efficacité des trajets avec celle de leur portée étant valable, à l'échelle des agglomérations urbaines, essentiellement pour le mode automobile, on peut considérer que la métrique des réseaux actuels revient à encourager l'usage de l'automobile ou pour le moins à en assurer sa supériorité en termes d'efficacité sur les trajets de longue portée. En effet, pour les modes non mécanisés (vélo, marche) l'accessibilité n'est au mieux que proportionnelle au temps de transport, car leurs vitesses sont relativement constantes quel que soit le type de voies empruntées. Quant au bus ou au tramway, la métrique accélérante existe lorsque la desserte est bien organisée et qu'on trouve notamment des sites propres connectant les principales polarités urbaines sans beaucoup d'arrêts intermédiaires. Toutefois, même dans ces cas particuliers, et *a fortiori* pour les réseaux de transport public urbains classiques où les véhicules assurent une desserte de proximité avec de nombreux arrêts, la métrique accélérante est moins marquée en raison de l'obligation qui leur incombe de faire des arrêts réguliers.

Ainsi, non seulement le système automobile a permis l'espacement des lieux de vie comme on le rappelle souvent, mais sa métrique a même encouragé mécaniquement ce processus, tout en assurant à la voiture la suprématie en termes d'accessibilité sur les trajets les plus longs, réduisant de fait à néant les possibilités réelles de concurrence modale. Les logiques d'investissements routiers actuelles selon lesquelles on investit d'abord dans les voies aux plus forts trafics, afin d'éviter la congestion, pour augmenter leur capacité et souvent leur vitesse ne font qu'accentuer la hiérarchisation des réseaux et donc, à terme, conforter le système automobile en renforçant la « métrique accélérante ». Laisser au contraire la congestion s'installer, pour l'instant relativement limitée à l'échelle des aires urbaines, constituerait un moyen radical mais peu acceptable de limiter l'effet métrique rapide !

L'encouragement à l'étalement urbain et la supériorité modale de l'automobile étant inscrits dans le fonctionnement de tous les réseaux viaires actuels, on peut s'interroger sur l'existence de réseaux ne présentant pas ces externalités négatives et sur la possibilité effective de leur mise en place. Cela revient donc à chercher à réguler la dépendance automobile au sein même du système qui en fait la force. On rejoint ici la position de DUPUY pour qui tenter de réguler la dépendance automobile en n'agissant qu'à l'extérieur du système, notamment par la seule augmentation de l'offre de transport public, est vain (Dupuy, 1999).

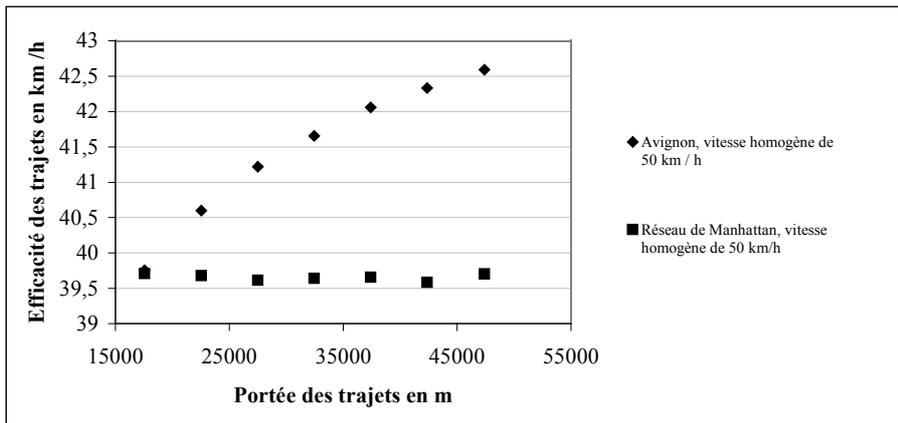
2. PRINCIPE ET MATÉRIALISATION DES « RÉSEAUX LENTS »

2.1. DIMINUER OU HOMOGENÉISER LES VITESSES NE SUFFIT PAS À FAIRE DES « RÉSEAUX LENTS »

Comment construire des réseaux pour lesquels l'efficacité n'irait pas croissante avec la portée des déplacements ? La réponse peut sembler simple : puisque c'est la hiérarchisation des voies par la vitesse qui conduit à ce type de métrique, il suffit d'homogénéiser les vitesses. Malheureusement, cette opération ne permet pas de supprimer la métrique accélérante et de changer fondamentalement la façon dont s'effectue la recombinaison des proximités dans l'espace temps automobile. Comme le montre la Figure 6 pour la zone d'Avignon, si l'on affecte la même vitesse à toutes les voies (ici 50 km/h), certes les différences absolues d'efficacité en fonction de la portée des trajets s'amointrissent, mais l'augmentation de l'efficacité demeure. Il reste toutes choses égales par ailleurs plus intéressant de se déplacer à longue portée. L'explication tient au fait que plus la portée des trajets augmente, moins les détours inhérents à la configuration morphologique et topologique du réseau pèsent. Sans compter que l'on peut estimer que la rectilinéarité des voies tend à augmenter avec leur statut. Seul un réseau rectilinéaire avec une métrique de Manhattan permet de garder constante l'efficacité avec l'augmentation de la portée des déplacements.

Toutefois, la mise en place de réseaux rectilinéaires purs à partir des réseaux existants paraît difficile à réaliser concrètement. Elle ne permettrait en outre pas d'inverser fondamentalement la logique des relations de proximité. La question de l'existence de réseaux ayant une logique métrique différente de celle des réseaux actuels reste donc posée. En guise de réponse le paragraphe suivant se propose d'introduire le concept de métrique lente et de « réseaux lents ».

Figure 6 : Efficacité des trajets en fonction de leur portée pour un réseau avec une vitesse homogène de 50 km/h et pour le réseau de Manhattan correspondant



2.2. LE PRINCIPE DE LA MÉTRIQUE LENTE

Pour expliquer le principe de la métrique lente nous reprendrons l'exemple donné par STANLEY et OSTROWSKY (1986). Supposons un champ infesté de mines en forte concentration, formant des amas de toutes les tailles possibles et pour lequel il existe une relation hyperbolique (fractale) entre la taille des amas et leur nombre. Un soldat porte un message du point A au point B distant de $L = 10$ kilomètres à vol d'oiseau et note que le trajet, qui évite les mines, dure une heure. Arrivée au point B, on lui donne l'ordre de porter ce message en C distant de $L = 20$ km en stipulant qu'il est capital que le message soit délivré en deux heures maximum. Le soldat précise alors qu'il lui faudra statistiquement plus de deux heures pour rejoindre C. En effet, comme les mines forment des amas, la probabilité d'en rencontrer un de grande taille, et donc de faire un grand détour, est plus forte pour le long trajet, c'est pourquoi la durée du parcours va statistiquement plus que doubler, sachant que le soldat court à vitesse constante. Plus précisément, la longueur réelle $l(L)$ du chemin minimum en fonction d'une portée euclidienne L suit pour une structure où la taille et le nombre de lacunes (amas de mines) sont reliés par une relation hyperbolique (structure fractale) l'équation :

$$l(\lambda L) \propto \lambda^{d^{\min}} l(L) \quad (\text{STANLEY, OSTROWSKY, 1986 ; GOUYET, 1992}).$$

En posant $\lambda = \frac{1}{L}$, on a : $l \approx L^{d^{\min}}$ (1).

La relation (1) traduit le fait que pour des déplacements effectués sur une structure fractale, un « sur-allongement » des distances parcourues se produit en moyenne pour des portées croissantes de trajet. Les distances euclidiennes et les distances sur le réseau ne sont pas simplement proportionnelles, car l'accroissement des distances-réseau est plus rapide que celui des distances

euclidiennes correspondantes. Ainsi, contrairement aux espaces urbains actuels, sur l'espace du champ de mines, les déplacements de courte portée sont « économiquement » favorisés par rapport à ceux de longue portée : plus on va loin, moins le réseau est efficace.

2.3. COMMENT METTRE EN PLACE DES RÉSEAUX LENTS ?

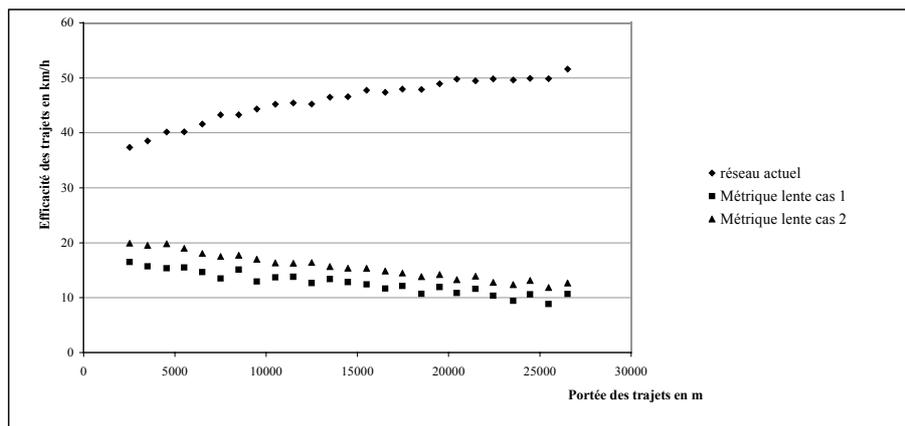
Si le principe de la métrique lente est relativement « simple », sa réalisation concrète s'avère en revanche difficile. En effet, pour faire fonctionner l'espace urbain selon une métrique lente suivant le principe du champ de mines, il faudrait préserver une hiérarchie d'espaces (lacunes) dont le contournement serait obligatoire et dont le nombre et la taille seraient de plus reliés par une relation fractale. Satisfaire à toutes ces exigences étant impossible, au moins pour l'espace déjà construit, la solution pour obtenir une métrique lente semble devoir être trouvée en jouant sur la configuration des réseaux viaires. Mieux, n'étant pas parvenus à créer des réseaux lents, fussent-ils très théoriques, en jouant sur la morphologie et la topologie des réseaux, la solution paraît devoir être trouvée en jouant sur les aspects fonctionnels du réseau. Comme nous avons vu qu'une distribution hyperbolique de lacunes (amas de mines) permettait de faire fonctionner un espace selon le principe d'une métrique lente, nous avons fait l'hypothèse qu'un réseau sur lequel seraient disposées de façon aléatoire des arrêts imposés distribués selon le même principe statistique, à savoir que leur nombre et leur durée seraient reliés par une fonction hyperbolique, permettrait aussi d'obtenir une telle métrique. Un individu roulant sur un tel réseau aura donc une probabilité d'autant plus forte d'être freiné par un stop long que la portée de son trajet est grande. La concentration des stops doit toutefois être suffisante pour que l'efficacité diminue effectivement en moyenne avec la portée des trajets. Précisons qu'il s'agit bien de probabilités. Il reste donc possible que certains trajets longs soient plus efficaces que des trajets courts, mais alors que ce principe est actuellement la règle générale, il devient avec les réseaux lents l'exception.

La Figure 7 montre les résultats obtenus pour des simulations effectuées sur le réseau routier actuel d'une zone de 40 km de rayon centrée sur la ville de Carpentras. La durée des arrêts imposés varie pour la simulation 1 de 30 à 380 secondes et de 15 à 232 secondes pour la deuxième. Leur nombre va dans les deux cas de 750 pour les plus courts à 50 pour les plus longs.

Les résultats des simulations montrent qu'il est effectivement possible d'obtenir une métrique lente, c'est-à-dire d'avoir un réseau qui conduise à une inversion des rapports d'efficacité des trajets par rapport au cas classique. En effet, pour les deux simulations, les trajets aux portées les plus courtes ont des efficacités supérieures à ceux de longue portée. De tels réseaux reviennent donc à favoriser intrinsèquement les trajets de courte portée. Les usagers ont tout intérêt à ne pas se déplacer à trop longue portée, sous peine de voir

leur budget temps de transport quotidien exploser. Plus que la baisse des valeurs absolues d'efficacité, causée par les stops mais qui pourrait tout aussi bien être obtenue par une simple diminution des vitesses, c'est bien l'inversion de la logique métrique selon laquelle se fait la relation entre les lieux qui est intéressante et originale, puisque cette métrique n'existe pas à « l'état naturel ». Diminuer les vitesses et obtenir une métrique lente sont donc deux choses très différentes. A la limite, si l'on augmente les vitesses de circulation, mais que l'on maintient la distribution hyperbolique des arrêts, les courbes d'efficacité se traduisent vers le haut, mais la logique reste la même : les valeurs absolues d'efficacité augmentent pour tous les types de trajets, mais celles des trajets de proximité restent supérieures à celles des trajets lointains. On a alors des « réseaux lents rapides » !

Figure 7 : Métrique actuelle et métriques lentes autour de Carpentras



Pratiquement, les arrêts imposés permettant d'obtenir la métrique lente pourraient être des feux à durée programmable. Précisons que pour obtenir une métrique lente, il n'est pas nécessaire de stopper les véhicules, mais seulement de les ralentir, ou plus exactement de faire en sorte que l'enchaînement des vitesses sur les voies empruntées formant les trajets fassent en sorte que d'où que l'on parte et où que l'on aille, les efficacités des trajets les plus courts finissent par être supérieures à celles des trajets longs. Dans ce cas, les systèmes de régulation des vitesses comme les feux se déclenchant si les véhicules dépassent une vitesse fixée quelques centaines de mètres en amont (ce système existe par exemple dans la région de Lisbonne), ou encore des systèmes plus perfectionnés type ISA (*Intelligent Speed Adaptation*) qui permettent d'agir sur la vitesse des véhicules à partir de bornes situées sur le bord de la route (LIU, TATE, 2004) pourraient permettre d'atteindre une métrique lente.

Toutefois, même après avoir implanté un système permettant d'obtenir une métrique lente, persisterait un problème lié à « l'apprentissage » des automobilistes. En effet, dès qu'un conducteur aura rencontré sur un de ses plus

courts chemins un stop d'une durée longue pénalisant son temps de trajet, il prendra soin de l'éviter lors de son prochain déplacement faisant ainsi retomber le réseau dans un fonctionnement métrique classique. Aussi, quel que soit le système de régulation mis en place, il devrait être « tournant » pour éviter tout phénomène d'apprentissage. Par exemple, dans le cas des feux, leur durée pourrait varier quotidiennement, mais en s'assurant que sur l'ensemble du territoire concerné leur durée et leur nombre restent reliés par une loi de puissance définie.

Si les simulations effectuées et les possibilités techniques existantes tendent à montrer qu'il est effectivement possible de faire fonctionner un secteur géographique selon une métrique lente, il reste à maîtriser le jeu minimum d'hypothèses permettant d'obtenir et de calibrer cette métrique : quelle densité de stops ou ralentissements, de quelle durée, pour quelle localisation et pour quel rapport d'efficacité entre les différents types de trajets ? Il reste par ailleurs nécessaire d'analyser, par exemple en utilisant un système multi-agents pour des simulations, l'effet de la métrique lente sur la fluidité du trafic général, afin de savoir dans quelle mesure une telle métrique ne favorise pas la congestion.

La première partie ayant montré les externalités négatives en termes d'étalement urbain et de dépendance automobile que génère la métrique actuelle des réseaux viaires, le paragraphe suivant cherche à l'inverse à illustrer les perspectives qu'ouvrent, au-delà de recherches théoriques sur les métriques, les réseaux lents en matière de reconfiguration urbaine allant dans le sens de la durabilité.

3. UNE MÉTRIQUE LENTE POUR QUOI FAIRE ?

La régulation de la mobilité automobile constitue aujourd'hui un objectif partagé des politiques affichant la durabilité des territoires comme but à atteindre. Dans ce contexte, nous verrons ce qu'on peut attendre à terme du concept de métrique lente pour concourir à cet objectif. En présentant tout d'abord la métrique lente comme un moyen possible de s'assurer que la compétition modale entre l'automobile et les autres modes puisse réellement avoir lieu à armes égales, puis, dans une perspective plus générale, en faisant de la métrique lente un déclencheur ayant le potentiel d'inciter à la réduction de la longueur des déplacements individuels pour favoriser l'émergence de territoires urbains plus durables par leur organisation spatiale.

3.1. ÉQUILIBRER LES NIVEAUX D'OFFRE ENTRE MODES DE TRANSPORT DÈS LA CONCEPTION DES RÉSEAUX VIAIRES

La première partie a montré qu'avec la métrique des réseaux actuels l'efficacité des trajets automobiles s'accroît avec la portée des déplacements. Cette métrique assure donc à l'automobile sa supériorité en termes d'accessibilité

lorsque les portées s'allongent puisque, parallèlement, l'efficacité pour les autres modes est dans la majeure partie des cas relativement constante quel que soit le type de déplacements, du moins à l'échelle des agglomérations urbaines. Équilibrer les niveaux d'offre en termes d'accessibilité constituant un préalable pour offrir les conditions du transfert modal de l'automobile vers des modes plus environnementaux (d'autres composantes telles que le confort, la sécurité etc. interviennent par ailleurs) on peut s'interroger sur les moyens pour parvenir à cet équilibre.

Si l'amélioration de l'offre non automobile apparaît comme une condition nécessaire pour faire converger les niveaux d'offre, elle ne constitue en revanche pas une condition suffisante, comme le montre le fait que l'augmentation tant quantitative que qualitative de l'offre de transport public depuis plus de 30 ans n'a pas permis d'aboutir à un partage modal équilibré, à quelques exceptions près dont la région parisienne (OFFNER, 1993). En effet, le différentiel d'accessibilité entre la voiture et les autres modes est tel, en dehors de quelques couples origines destinations spécifiques (POLZIN et al., 2000), qu'il est illusoire, même à coût prohibitif d'espérer proposer une offre alternative compétitive sur l'ensemble des territoires urbains apte à répondre à la complexité de la mobilité actuelle. Parallèlement à cette politique de l'offre, il paraît nécessaire d'agir au sein même du système automobile pour en réguler les qualités d'ubiquité (aptitude à faire du porte-à-porte), d'immédiateté (disponibilité à tout moment d'un véhicule) et d'instantanéité (vitesse des déplacements) (DUPUY, 1991). Conjointement aux politiques restrictives de stationnement qui diminuent aussi bien l'ubiquité que l'immédiateté de l'automobile, la diminution des vitesses de déplacement en automobile semble une étape obligée pour la relance de la compétition modale (WIEL, 2003), tant il est vrai que l'instantanéité constitue la qualité la moins bien partagée entre les modes. Toutefois, même dans l'impossible hypothèse d'une diminution drastique et généralisée des vitesses de circulation qui ferait coïncider la vitesse automobile à la vitesse commerciale des transports en commun (de l'ordre de 20 km/h), l'accessibilité automobile resterait encore supérieure en bénéficiant toujours de la métrique accélérante.

C'est dans ce cadre que les réseaux lents peuvent constituer un moyen pour relancer la compétition modale sur tous les types de trajets. En effet, si l'on suppose la mise en place d'une métrique automobile lente et, conjointement, une métrique pour les transports en commun où le temps de déplacement serait au moins proportionnel à leur portée (grâce aux sites propres par exemple), les transports en commun cessent d'être désavantagés par la structure des réseaux (l'inverse de la situation actuelle) ce qui leur offre une chance de s'imposer, y compris sur les trajets longs. Précisons que l'offre alternative à l'automobile doit alors nécessairement être de qualité afin de compenser, au moins partiellement, la perte d'accessibilité subie par les automobilistes que l'on souhaite voir s'orienter vers d'autres modes. La différence avec une « simple amélioration de l'offre non automobile », tient donc au fait que dans

cette proposition la métrique du réseau viaire concourt à l'objectif visé de convergence des niveaux d'offre et *in fine* de partage modal, alors qu'aujourd'hui la métrique rapide des réseaux, toujours plus hiérarchisés, rend de fait impossible cette convergence.

Enfin, notons que la diminution et/ou homogénéisation des vitesses pouvant accompagner la mise en place d'une métrique lente, passerait inévitablement par une re-territorialisation des ex-voies rapides par augmentation de la connectivité en bordure de voies (GOURDON, 2001). Les infrastructures rapides ne joueraient alors plus le rôle de coupure qui pénalisent aujourd'hui l'usage des modes doux, en particulier pour les déplacements de proximité.

3.2. UN LEVIER POUR TENDRE VERS DES FONCTIONNEMENTS TERRITORIAUX BASÉS SUR LA PROXIMITÉ PHYSIQUE ?

Parmi les orientations des politiques urbaines actuelles visant à tendre vers le développement durable, que l'on retrouve majoritairement dans la loi Solidarité et Renouvellement Urbain, la volonté de limiter la consommation d'espace apparaît comme un axe fort. Cette limitation passe notamment par une densification raisonnée de l'espace urbain, objectif qui fait aujourd'hui l'objet d'un large consensus (DA CUNHA, 2005 ; FOUCHIER, 1999), par son renouvellement (*i.e.* reconstruire la ville sur la ville, ADEF, 1998) et par la promotion de la mixité des fonctions urbaines. Celle-ci doit en outre permettre de limiter la dépendance automobile en rendant les aménités plus accessibles sans voiture, tout en contribuant à plus de solidarité urbaine en faisant en sorte que toute la population vive la même ville, qu'elle soit ou non motorisée.

Or, nous avons vu dans quelle mesure la métrique des réseaux actuels s'oppose de fait à ces objectifs, qui peuvent eux-mêmes s'opposer aux aspirations individuelles, en poussant à la dispersion des lieux de vie, sans que les individus n'en payent réellement le prix. En effet, le recours aisé et peu onéreux à la métrique accélérante automobile fait du choix périurbain un choix gagnant car les sur-coûts individuels en temps et en argent engendrés par des localisations périphériques, et leur corollaire qui est l'augmentation des distances parcourues, restent très largement compensés par les avantages, en particulier au niveau de l'offre foncière et immobilière. Ce choix, lorsqu'il n'est pas subi, est d'autant plus gagnant au niveau individuel que les coûts du périurbain sont essentiellement supportés par la collectivité (infrastructures, pollution etc.) alors que les avantages sont privés (accès à la propriété, tranquillité, sentiment de sécurité etc.). Cette disjonction entre les objectifs de l'aménagement et la réalité du fonctionnement territorial liée à l'existence de la métrique rapide provient du fait que cette dernière résulte de choix qui sont pour la plupart faits à d'autres échelles que celles auxquelles les objectifs de durabilité sont recherchés. Par exemple, les autoroutes qui participent grandement à la hiérarchisation des réseaux sont pensées à une échelle large, pour

les déplacements interurbains. Elles sont néanmoins très utilisés pour des déplacements intra-agglomérations et contribuent de ce fait beaucoup à l'émergence de la métrique rapide. Ainsi, on voit bien le problème posé par un fonctionnement urbain en termes d'accessibilité, qui n'a pas été pensé globalement, et qui s'oppose aux objectifs politiques que l'on se donne pour des territoires institutionnels en général plus petits.

Dans ce contexte, la mise en place d'une métrique lente peut constituer un catalyseur pour que le fonctionnement urbain aille dans le même sens que les objectifs politiques affichés. En effet, en favorisant l'efficacité des déplacements courts au détriment des longs dans les agglomérations urbaines, elle inciterait intrinsèquement les ménages à faire l'effort d'agencer leurs lieux de vie en (re)prenant en compte la nécessité de la proximité physique, contrainte qui s'est peu à peu levée avec le recours généralisé à la métrique rapide automobile. On retrouve ici la logique du « *rational locator* » (LEVINSON, KUMAR, 1994), selon laquelle les individus tendent à rapprocher leurs lieux de vie afin de garder constant leur budget temps de transport en cas de dégradation de l'offre de transport. Avec une métrique lente à l'échelle des agglomérations, il reste possible de s'espacer, par exemple pour ceux qui placent la proximité à un environnement rural en tête de leurs préférences individuelles, mais en en payant le prix en temps, ce qui n'est actuellement pas le cas.

En redonnant une valeur économique à la proximité physique et donc à la densité, on peut espérer limiter la longueur des déplacements, majoritairement responsable de la hausse du trafic et, *in fine*, tendre vers « la ville des courtes distances » souvent présentée comme le modèle vers lequel tendre pour plus de durabilité (Cf. le mouvement du New Urbanism²). Ici la ville est plus dense, mais pas nécessairement compacte (CAVAILLÈS, 2004), les aménités urbaines sont de plus petites tailles mais plus réparties dans l'espace (ex. les commerces). La qualité de l'accessibilité globale peut ainsi être maintenue, sans être totalement tributaire de la voiture grâce à la proximité kilométrique des aménités et parce que le transport en commun a, à cette échelle, sa chance pour s'imposer (Cf. 3.1). Notons que ce fonctionnement urbain basé sur la proximité, qui semble de prime abord s'opposer à certaines aspirations individuelles, peut être (et est) attractif pour les ménages, notamment parce qu'il leur permet de limiter les dépenses transports et de dégager du temps libre au quotidien en limitant le temps de transport, ce qui constitue un critère de qualité de vie recherché en particulier par les ménages s'installant en zone dense (GENRE-GRANDPIERRE, JOSSELIN, 2006).

Ainsi, la métrique lente peut être perçue comme un moyen pour orienter les comportements individuels dans un sens qui rejoindrait l'orientation des politiques d'aménagement auxquelles ils ont aujourd'hui tendance à s'opposer. On pressent toutefois une nouvelle fois l'importance d'articuler politiques de transport et urbanisme. Par exemple, s'il est vain de vouloir densifier

² www.newurbanism.org.

quand de fait la métrique des réseaux pousse à l'étalement, il semble, à l'inverse, illusoire de mettre en place une métrique lente, s'il n'existe pas simultanément une politique du logement capable de loger en zone agglomérée, et dans des conditions aptes à satisfaire les exigences individuelles, les ménages le souhaitant (rappelons ici que pour beaucoup le choix du périurbain est un choix par défaut et qu'il n'existe pas de fatalité quant à l'attraction du périurbain -DA CUNHA, 2005).

Ainsi, d'un point de vue théorique le concept de réseaux lents paraît prometteur. A minima, la réflexion proposée montre l'acuité de la question de la métrique des réseaux qui naît d'une juxtaposition de choix faits à différentes échelles et dont le résultat n'a pas nécessairement été voulu consciemment. Considérer la métrique du système automobile, non comme un acquis, mais comme un possible levier d'aménagement ouvre donc d'intéressantes perspectives notamment en termes de coordination entre les politiques de transport et d'urbanisme.

Bien des éléments restent toutefois à maîtriser avant d'obtenir un outil opérationnel. Il s'agit notamment d'être capable de calibrer la métrique en fonction de la demande des aménageurs, c'est-à-dire de fixer le niveau d'efficacité globale souhaité pour le transport automobile (niveau à ajuster en fonction de la compétitivité des modes alternatifs, afin de proposer à tous des solutions transport satisfaisantes). Reste également à analyser l'impact économique que pourrait avoir une remise en cause de l'efficacité automobile à l'échelle des agglomérations. Le lien étant souvent fait entre vitesse et productivité urbaine par les économistes, il s'agit ici de veiller à ne pas remettre en cause la fluidité du marché du travail en diminuant trop fortement les capacités de déplacement des individus. Cela passe nécessairement par la promotion des modes alternatifs qui prendraient le relais du mode automobile dont les performances auront été dégradées pour les déplacements quotidiens. L'objectif est bien avant tout de réduire la mobilité automobile quotidienne, pas la mobilité en elle-même. A l'échelle interurbaine, c'est-à-dire pour les échanges et déplacements qui fondent réellement le développement économique, d'autres logiques pourraient être mises en place. Il est par exemple possible d'envisager, à l'image de ce que propose WIEL (2002), de distinguer les réseaux selon leur fonction : les déplacements quotidiens de proximité se feraient sur la base d'une métrique lente, alors que les déplacements interurbains s'effectueraient sur des réseaux rapides mais suffisamment payants pour en dissuader l'usage pour les déplacements quotidiens. Bien entendu cela nécessite une forte, et difficile, coordination des politiques menées de l'échelle régionale, voire nationale, à l'échelon local dont les modalités restent encore à définir.

Notons enfin que l'augmentation actuelle du prix de l'essence et la mise en place de politiques de tarification adéquates de l'usage de la voiture faisant payer aux utilisateurs le vrai coût de l'automobile, c'est-à-dire intégrant le

coût des externalités négatives (bruit, pollution, sécurité) (LITMAN, 1998), vont dans le même sens que la métrique lente pour revaloriser la proximité physique dans le fonctionnement urbain.

4. CONCLUSION

L'analyse de la métrique du système automobile nous a amenés à constater que, quel que soit le lieu, ou le type de réseau, les déplacements de longue portée sont systématiquement favorisés au détriment des déplacements plus courts. Cette forme d'accessibilité revient *in fine* à inciter à la fois à l'usage de la voiture et à l'étalement urbain. Proposé comme métrique alternative ne présentant pas ces externalités négatives, le concept de métrique lente a ensuite été introduit dans une perspective de lutte contre le tout automobile. Bien que des développements restent à conduire pour faire de la métrique lente un outil opérationnel de l'aménagement, en maîtrisant par exemple mieux son calibrage et ses effets sur la fluidité du trafic, on a néanmoins pu entrevoir les perspectives qu'offre la possibilité d'agir sur les métriques produites par les différentes formes-fonctionnements des réseaux viaires pour en orienter les externalités dans un sens qui irait vers plus de durabilité. Du point de vue de l'offre de transport, la métrique lente peut ainsi permettre d'équilibrer les niveaux d'offre des différents modes au sein même de la conception des réseaux. Du côté de la demande, elle offre la possibilité de réintroduire la contrainte de la proximité physique dans les choix d'agencement des lieux de vie individuels, ce qui à terme pourrait produire des structures urbaines au fonctionnement moins tributaire de l'automobile.

Plus généralement, connaître et agir sur la métrique des réseaux constitue un moyen d'articuler et de rendre possible un ensemble de politiques sectorielles (habitat, préservation environnementale, ségrégation socio-spatiale, rénovation urbaine etc.) pour lesquelles la métrique actuelle, qui pousse à la dispersion, joue un rôle contre-productif. Enfin, agir au cœur même du fonctionnement urbain en modifiant la nature profonde de l'accessibilité telle qu'elle est vécue actuellement conduit inévitablement à une réflexion plus générale sur le fonctionnement territorial dans son entier et sur les options que le projet urbain souhaite prendre. La confusion entre vitesse et accessibilité est ici au cœur de la question. Deux grandes possibilités peuvent être dégagées. D'une part continuer à « courir », pour relier dans une proximité en temps, au prix de nombreuses externalités environnementales négatives dues à l'usage de la voiture, des lieux de vie de plus en plus espacés ou, d'autre part, s'orienter vers des agencements spatiaux davantage basés sur la proximité physique pour lesquels l'accessibilité, pas nécessairement automobile, peut être de qualité équivalente, mais moins facilement remise en cause par des encombrements ou une hausse du prix des carburants, même si ce choix doit conduire à renoncer à la maison individuelle, mais pas nécessairement à la qualité de vie (DA CUNHA, 2005).

BIBLIOGRAPHIE

ADEF (1998) **Reconstruire la ville sur la ville**. Lavoisier diffusion.

BANISTER D., WATSON S., WOOD C. (1997) Sustainable cities: transport, energy and urban form. **Environment and Planning B**, Vol. 24, pp.125-145.

BÉGUIN H., THOMAS I. (1997) Morphologie du réseau de communication et localisations optimales d'activités. Quelles mesures pour exprimer la forme d'un réseau. **Cybergéo** (<http://www.cybergegeo.eu/index2189.html>).

BREHENY M. (1992) The contradictions of the compact city. A review. In M. BREHENY (dir) **Sustainable Development and Urban Form**. Londres, Pion.

CHALAS Y., DUBOIS-TAINE G. (1997) **La ville émergente**. La Tour d'Aigues, Ed. de l'Aube.

DA CUNHA A. (2005) Régime d'urbanisation, écologie urbaine et développement durable. In P. KNOEPFEL, A. DA CUNHA, J.-Ph. LERESCHE, S. NAHRATH **Enjeux du développement urbain durable**. Lausanne, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, pp. 13-37.

DUPUY G. (1991) **L'urbanisme des réseaux, théories et méthodes**. Paris, Armand Colin.

DUPUY G. (1999) **La dépendance automobile**. Paris, Economica.

FOLTÊTE J.-Ch., GENRE-GRANDPIERRE C. (2003) Morphologie urbaine et mobilité en marche à pied. **Cybergéo**, Actes du colloque Offre urbaine et expériences de la mobilité spatiale, Strasbourg (<http://www.cybergegeo.eu/index3925.html>).

FOUCHIER V. (1999) Vers des planchers de densité ? **Etudes Foncières**, n° 81, pp. 24-29.

GENRE-GRANDPIERRE C. (1999) La desserte spatiale des réseaux de transport routier : une approche fractale. **Flux**, n° 3, pp. 56-68.

GENRE-GRANDPIERRE C. (2000) **Forme et fonctionnement des réseaux de transport : approche fractale et réflexions sur l'aménagement des villes**. Université de Franche-Comté, Thèse de Doctorat.

GENRE-GRANDPIERRE C., JOSSELIN D. (2006) Dépendance à l'automobile, tension dans les mobilités et stratégies des ménages. **Actes du colloque SAGEO2006**, Strasbourg (à paraître sur Cybergegeo).

GEURS K.T., RITSEMA VAN ECK J.R. (2001) **Accessibility measures: review and applications**. Bilthoven, National Institute of Public Health and the Environment, RIVM report 408505 006.

GOURDON J.L. (2001) **La rue. Essai sur l'économie de la forme urbaine**. La Tour d'Aigues, Ed. de l'Aube.

- GOUYET J.F. (1992) **Physique et structures fractales**. Paris, Masson.
- GUTIÉRREZ J., MONZÓN A., PINERO J.M (1998) Accessibility, network efficiency and transport infrastructure planning. **Environment and Planning A**, Vol. 30, pp. 1337-1350.
- JOLY I. (2005) Décomposition de l'hypothèse de constance des budgets temps de transport. In B. MONTULET, M. HUBERT, Ch. JEMELIN, S. SCHMITZ **Mobilités et temporalités**. Bruxelles, Facultés Universitaires Saint Louis, pp. 129-150.
- NEWMAN P., KENWORTHY, J. (1989) **Cities and Automobile Dependence, an international Sourcebook**. Gower, Aldershot.
- LEVINSON D., KUMAR A. (1994) The rational locator: why travel times have remained stable. **Journal of the American Planning Association**, Vol. 60, n° 3, pp. 319-332.
- LIU R., TATE J. (2004) Network effects of intelligent speed adaptation systems. **Transportation**, Vol. 31, pp. 297-325.
- LITMAN T. (1998) Driving Out Subsidies: How Better Pricing of Transportation Options Would Help Protect Our Environment and Benefit Consumers. **Alternatives Journal**, Vol. 24, n° 1, pp. 36-42.
- OFFNER J.M. (1993) 25 ans (1967-1992) de planification des transports urbains en France. **Revue d'Economie Régionale et Urbaine**, n° 5, pp. 833-848.
- PENN A., HILLIER B., XU J. (1998) Configurational modelling of urban movement networks. **Environment and Planning B**, Vol. 25, pp. 59-84.
- PIRON O. (2003) **Renouvellement urbain. Analyse systémique**. Paris, Plan Urbanisme Construction et Architecture.
- PLASSARD F. (1992) Les réseaux de transport et de communication. In A. BAILLY (dir.) **Encyclopédie de géographie**. Paris, Economica, pp. 533-556.
- POLZIN S., CHU X., REY J. (2000) Density and captivity in public transit success observations from the 1995 Nationwide Individual Transportation Survey. **Transportation Research Record**, n° 1735, pp. 10-18.
- STANLEY H.E., OSTROWSKY N. (1986) **On growth and form: fractal and non fractal patterns in physics**. Martinus Nijhoff Publishers.
- THOMAS I. (2002) **Transportation networks and the optimal location of human activities: a numerical geography approach (Transport economics, management, and policy)**. Cheltenham, E. Elgar.
- VERNEZ MOUDON A., HESS P., SNYDER M.C., STANILOV K. (1997) **Effects of site design on pedestrian travel in mixed-use, medium-density environments**. Report for the Washington State Transportation Centre, Federal Highway Administration, 19 p.

WIEL M. (2002) **Ville et automobile**. Paris, Descartes et Cie.

WIEL M. (2003). Quelle place donner à la maîtrise de la vitesse automobile en ville. Communication au **XXXIX^{ème} colloque de l'ASRDLF**, Lyon.