

Des distances à vol d'oiseau aux distances réelles ou de l'origine des détours (1)

From crow-fly distances to real distances, or the origin of detours

Frédéric Héran – paru dans *Flux*, 2009, n° 76/77, pp. 110-121

Notice biographique

Frédéric Héran, maître de conférences en économie à l'Université de Lille 1, est chercheur au CLERSE (Centre lillois d'études et de recherche sociologiques et économiques), UMR 8019 du CNRS, une composante de la MESHS (Maison européenne des sciences de l'homme et de la société), ex IFRESI. Il travaille depuis une douzaine d'années sur l'économie des modes non motorisés et sur l'évaluation monétaire de certains effets externes des transports, comme la consommation d'espace, les effets de coupure et les impacts sur les paysages.

Contact : frederic.heran@univ-lille1.fr

Résumé

Pour parvenir à une estimation des distances réelles, il est fréquent de devoir redresser des distances à vol d'oiseau à l'aide de coefficients multiplicateurs. Mais leur détermination souffre d'une méconnaissance des raisons qui expliquent les détours effectués par les divers usagers des transports. En fait, il existe, d'une part, un « détour moyen normal » de l'ordre de 15 à 25 %, en milieu urbain comme en rase campagne et, d'autre part, des détours supplémentaires liés à diverses causes, comme la recherche de places de stationnement, les sens interdits, les boucles de desserte ou les effets de coupure et surtout l'utilisation de voies express. Car finalement deux logiques à concilier s'affrontent : un réseau maillé indispensable aux modes non motorisés et un réseau hiérarchisé nécessaire aux modes motorisés. Si on tient à rendre la ville plus accueillante aux piétons et cyclistes, il est inévitable de réduire la hiérarchisation des voies, c'est-à-dire de modérer les vitesses, pour faciliter le maillage du réseau, en rendant les voies principales à la fois franchissables et praticables pour ces modes.

Abstract

To achieve an estimate of the real distances, it is common to have to straighten crow-fly distances through multiplier. But their determination suffers from a lack of understanding of the reasons for detours made by the various transport users. In fact, there are, first, an "average normal detour" of about 15 to 25% in both urban and rural and, secondly, additional detours related to various causes, as the search for parking spaces, the one-way streets, the loop access roads, the severance effects and especially the use of expressways. Finally, two approaches to reconcile are opposed: a mesh network indispensable to non-motorized modes, and a hierarchical network necessary to motorized modes. If we want to make the city more welcoming to pedestrians and cyclists, it is inevitable to reduce the hierarchy of the tracks, ie to moderate speeds, to facilitate the mesh network, making the main tracks crossable and practicable for these modes.

Mots clefs facteur de détour – distances à vol d'oiseau – distances réelles – réseau viaire
Keywords detour factor – crow-fly distances – real distances – road network

Classification JEL R40

De nombreuses enquêtes sur les déplacements ne fournissent au mieux que des distances à vol d'oiseau (ou portée des déplacements) entre origines et destinations, reconstituées de diverses manières : à partir d'un carroyage de 300 m de côté, comme le fait l'enquête globale de transport de l'Ile de France, ou bien à partir des centroïdes de fines zones, comme dans les enquêtes ménages déplacements des grandes villes de province.

Mais ce travail déjà délicat ne suffit pas, car il est parfois nécessaire de connaître aussi les distances réelles, par exemple, pour mieux calculer le coût des déplacements et leurs consommations d'énergie, pour ramener les accidents à des distances parcourues ou pour apprécier plus précisément la zone de desserte d'une gare ou d'une station de transport public.

Pour obtenir une estimation des distances réelles, il est alors nécessaire de redresser les distances à vol d'oiseau – ou distances euclidiennes – à l'aide de coefficients appelés aussi parfois « facteurs d'allongement » (Genre-Grandpierre, 2001) ou dans la littérature anglo-saxonne « facteurs de détour » (detour factors). Plusieurs auteurs et organismes en proposent (le CERTU et l'ADEME notamment). Mais les modes de calculs et leurs résultats sont variables car souvent peu argumentés.

Cet article voudrait contribuer à éclaircir ce sujet en recherchant d'abord l'origine des détours (1), puis en précisant quelque peu les coefficients de redressement par mode et par type de milieu traversé (2).

1. De l'origine des détours

Le terme de détour – « tracé qui s'écarte du chemin direct » selon Le Robert – est parfaitement approprié pour aborder les distances supplémentaires qu'imposent les distances réellement parcourues par rapport aux distances à vol d'oiseau. Le coefficient de détour a été ainsi défini par la géographe allemande E. Schaur (1991, p. 82) :

$$\text{coefficient de détour} = \frac{\text{distance parcourue}}{\text{distance à vol d'oiseau}}$$

Et le coefficient de détour moyen est la moyenne des coefficients de détour, qui peut être approchée par la formule (ibid.) :

$$\text{coefficient de détour moyen} \approx \frac{\text{moyenne des distances parcourues}}{\text{moyenne des distances à vol d'oiseau}}$$

Un coefficient multiplicateur peut aussi s'exprimer en un pourcentage d'accroissement (avec pourcentage d'accroissement = coefficient multiplicateur – 1). Ainsi on dira plus simplement : « un détour de 30 % » ou « un détour moyen de 22 % ».

Les mailles du réseau délimitent des îlots par nature infranchissables (si un îlot est traversable – parc urbain, bâtiment construit sur pilotis... – il peut être décomposé en deux îlots non traversables). Parcourir le réseau revient donc à contourner des îlots. Autrement dit, il est normal qu'il existe quelques détours pour ménager des espaces, ou îlots, entre les infrastructures, qu'ils soient bâtis, cultivés, boisés ou sauvages. Car il ne peut pas y avoir que des trajets rectilignes entre tous les points origine et destination, sinon tout l'espace serait occupé par des infrastructures. On peut donc considérer qu'il existe – au moins pour les voiries – un « détour moyen normal » (1.1) et des « détours supplémentaires » liés à des causes particulières qu'il s'agira de déterminer (1.2). Cette distinction rejoint le débat sur l'intérêt de développer un réseau maillé ou hiérarchisé (1.3).

1.1. Le détour moyen normal

Le détour moyen normal correspond à un réseau viaire « bien maillé », c'est-à-dire où les mailles (les îlots) ne sont ni trop grandes, ni trop longues, gardent des dimensions normales pour éviter des détours excessifs aux usagers du réseau les plus sensibles à la distance.

Ainsi, en milieu urbain, il est nécessaire que les piétons puissent contourner les îlots en effectuant un déplacement « pas trop long ». Le critère qui peut être retenu consiste à prendre comme longueur limite du périmètre des îlots (hors impasses) la distance moyenne d'un déplacement à pied, soit un km (12 mn à 5 km/h), ce qui correspond à des îlots de seulement 2 ha s'ils sont très allongés et jusqu'à 7 ha si leur forme se rapproche du cercle. Si on souhaite que la ville soit au moins perméable aux déplacements à bicyclette, à défaut de l'être suffisamment à pied, le critère sera des îlots d'un périmètre maximal de 3 km, soit 20 à 65 ha selon leur forme.

Un autre critère plus sommaire consiste à prendre en compte la densité du linéaire de voirie, c'est-à-dire le linéaire de voirie par hectare urbanisé. Le cas de l'Ile de France (voir le tableau 1) est sans doute généralisable. Paris dont le réseau est réputé bien maillé possède 165 m de voirie par ha. Les réseaux en damier des villes américaines ont un ratio similaire (2). On peut en conclure qu'un réseau bien étoffé nécessiterait au moins 150 m de voirie par ha, mais guère plus car la voirie saturerait vite l'espace et qu'à l'inverse, la desserte d'un territoire urbanisé (au sens de l'IAURIF – Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile de France) imposerait au moins 100 m de voirie par ha.

Tableau 1. Le linéaire de voirie par hectare en Ile de France

	Unité	75	92	93	94	PC	77	78	91	95	GC	IDF
Linéaire de voirie*	km	1567	2182	2355	2094	7031	7222	4578	5376	3788	20 964	29 562
Surface urbanisée**	km ²	95	150	208	192	550	666	488	408	314	1 876	2 521
Linéaire de voirie par surface urbanisée	m/ha	165	146	113	130	128	114	98	135	123	116	121

* Voiries communales, départementales et nationales. Données fournies par les Départements.

** Données fournies par le MOS (mode d'occupation des sols) 2003, réalisé par l'IAURIF.

La densité du linéaire de voirie a cependant le défaut de ne pas tenir compte de la morphologie du réseau. Certains réseaux peuvent avoir la même densité viaire mais un détour moyen très différent. Le géographe C. Genre-Grandpierre (2001, p. 3) les a calculés pour le centre de Lille et pour un quartier périphérique de cette agglomération : il trouve une même densité de 160 m de voirie par ha, mais un coefficient de détour moyen de 1,25 dans le premier cas et de 1,9 dans le second. C'est pourquoi, il est préférable de retenir le critère du détour moyen.

Résultat, en milieu urbain, le détour moyen normal est de 15 à 25 %, soit un coefficient multiplicateur des distances à vol d'oiseau de 1,15 à 1,25. Ce qui signifie qu'il n'est guère possible de descendre en dessous de 15 % au risque d'encombrer l'espace par de la voirie au détriment du bâti, ni d'aller bien au-delà de 25 % sans provoquer des allongements de parcours dissuasifs pour les piétons. On peut en faire la démonstration analytique ou le vérifier empiriquement.

La démonstration analytique consiste à calculer le détour moyen dans des réseaux de forme canonique, puis d'en déduire ce que devrait être ce détour moyen dans des réseaux réels combinant ces formes (voir le tableau 2). Les réseaux des centres-villes européens, irréguliers mais bien maillés, se situant entre le type en damier au détour moyen encore correct mais assez élevé de 30 % et les types théoriques à base de triangles équilatéraux ou « en croix de Saint André » (avec beaucoup de carrefours en étoile) au détour moyen très faible de 10 et 6 %, ils devraient bénéficier d'un détour moyen d'environ 15 à 25 %.

Tableau 2. Forme du réseau viaire et détour moyen

Forme des îlots et du réseau viaire	Détour maximum		Détour minimum	Détour moyen
	d'un carrefour à l'autre	d'une rue à l'autre		
Formes canoniques				
– carrés (réseau en damier)	41,4 %	100 %	0	30 %
– rectangles (grille)	41,4 %	> 100 %	0	30 %
– triangles équilatéraux	15,5 %	100 %	0	10 %
– triangles rectangles isocèles (réseau en croix de St André)	en étoile 8,4 % en croix 41,4 %	100 %	0	6 %
– hexagones (réseau en nid d'abeille)	46,4 %	73 %	15,5 %	30 %
Cas généraux				
– réseau régulier en damier				30 %
– réseau irrégulier mais bien maillé				15 à 25 %
– réseau irrégulier et peu maillé				> 35 %

Source : Héran et alii, 1999.

Ces dernières années, la vérification empirique de ce résultat est devenue plus aisée grâce aux SIG (systèmes d'information géographique) et même à la portée de tous avec les sites de calcul d'itinéraire (ViaMichelin, Mappy, IGN...) qu'il suffit d'appliquer à un réseau réputé dense et interconnecté tel que celui de Paris. Calculé

sur la base d'un nombre significatif d'itinéraires générés au hasard, le détour moyen dans cette ville est bien de l'ordre de 20 %.

Avec 30 % de détour moyen un réseau régulier en damier où les distances sont rectilinéaires (dites aussi « distances de Manhattan ») s'avère nettement moins efficace qu'un réseau urbain irrégulier mais bien maillé (3) : même un réseau moyenâgeux apparemment confus ou un réseau de type haussmannien n'ont qu'un détour moyen de l'ordre de 20 % (Héran, 2002). Comment dès lors expliquer le succès du réseau en damier que l'on retrouve non seulement dans la « grille » américaine qui délimite en fait des « blocks » rectangulaires, mais aussi dans bien d'autres pays et depuis fort longtemps : des cités étrusques puis romaines aux bastides du sud-ouest, du plan de Pékin à celui de Barcelone (Malverti et Pinon, 1997) ? Ce type de réseau a en fait le triple mérite d'être facile à implanter, à comprendre et à étendre (Mangin et Panerai, 1999, pp. 102-104). C'est pourquoi, il est naturellement adopté par les pionniers et les militaires.

En rase campagne, du moins en l'absence d'obstacles naturels majeurs tels que montagnes, lacs ou grands fleuves, le détour moyen normal du réseau de voiries destinées au trafic automobile (autoroutes, nationales et départementales) est un peu plus faible – le maillage meilleur – car les îlots peuvent être plus facilement triangulaires (ou les nœuds plus souvent en étoile) qu'en ville : on se rapproche d'un réseau en croix de Saint André. En revanche, le réseau des seules autoroutes, moins maillé, a un détour moyen bien supérieur. L'utilisation d'un logiciel de calcul d'itinéraires permet d'étudier facilement un échantillon de déplacements de ville à ville et de constater un détour moyen d'environ 13 % pour les trajets au plus court et d'environ 25 % pour les trajets les plus rapides.

Dès lors, il apparaît que le coefficient de 1,1 retenu par l'ADEME (2003) pour les longues distances, issus de travaux de l'INRETS (Orfeuill, 1984 puis Gallez et Hivert, 1998) est quelque peu sous-estimé. Les itinéraires au plus court ont certes des coefficients proches de 1,1 (un peu supérieurs toutefois), mais sont en fait peu utilisés. Car, plutôt que de choisir l'itinéraire au plus court, les automobilistes préfèrent en général emprunter les autoroutes, certes plus chères et au parcours cependant 10 % plus long, mais à la fois plus rapides et plus sûres. Le coefficient de 1,3 retenu par l'enquête nationale transports apparaît en revanche plutôt surestimé. Il serait donc préférable de retenir un coefficient de 1,2.

En ville comme ailleurs, le détour moyen normal est globalement indépendant de la distance parcourue, car un réseau bien maillé est par définition adapté aux distances parcourues par chaque mode.

Ainsi, en milieu urbain, le réseau parcourable à pied est en principe plus dense que celui parcourable à vélo, lui-même plus dense que celui parcourable en voiture. Le piéton peut emprunter pratiquement toutes les rues et toujours dans les deux sens, le plus souvent sur deux voies – les trottoirs situés de chaque côté –, mais aussi s'engager dans des venelles, des escaliers ou traverser des petites rues en biais, des parcs publics, certains îlots bâtis... Le cycliste bénéficie d'un réseau nettement moins étoffé, mais il est presque partout admis dans les aires piétonnes et devrait pouvoir emprunter la plupart des sens uniques à contresens, comme c'est déjà le cas dans de nombreuses villes européennes et dans certaines villes françaises telles que Strasbourg ou le centre de Bordeaux (Asencio, Héran et Giess, 2006). L'automobiliste quant à lui ne peut circuler dans les aires piétonnes (sauf parfois à certaines heures), ni s'engager dans les sens interdits, mais bénéficie de certaines voiries réservées : voies rapides, autoponts, tunnels... Autrement dit, si, dans une zone urbaine dense disposant d'un réseau viaire bien maillé, le piéton peut utiliser presque 100 % du réseau, le cycliste est limité à 80 ou 90 % et l'automobiliste à peut-être la moitié, en fonction de l'importance des aires piétonnes et des sens uniques.

En rase campagne, les réseaux sont également adaptés aux distances parcourues. Sur longues distances, le réseau de grandes voiries est surtout utilisé. Sur distances plus courtes, le réseau départemental est préféré.

Dans la réalité cependant, les réseaux comportent bien d'autres causes de détour (détaillées ci-après) et la forme des réseaux de proximité est assez différente de celle des réseaux lointains : les rues des quartiers sont souvent organisées en damier ou selon des configurations complexes générant un fort détour moyen, alors que les voiries interquartiers et plus encore les voiries interurbaines forment des réseaux avec carrefours en étoile à détour moyen bien plus faible. Ce qui explique pourquoi divers auteurs constatent ou adoptent un coefficient de détour qui décroît avec la distance (voir notamment Genre-Grandpierre, 2001, p. 6 ; l'ADEME, 2003 (4) ou Godinot et Nicolas, 2007).

1.2. Les détours supplémentaires

Au détour moyen normal s'ajoutent des détours supplémentaires provoqués par cinq types de difficultés, qui n'affectent pas tous les modes au même degré et dont les trois premiers ne concernent que le milieu urbain.

1/ La recherche d'une place de stationnement est une source classique d'allongement de parcours. Selon une récente étude, elle représenterait environ 5 % de la circulation dans Paris (Lefauconnier et Gantelet, 2005), soit en moyenne une voiture sur 20. Elle est sûrement plus faible en Petite couronne et insignifiante en Grande couronne.

2/ Les sens uniques obligent les usagers à contourner le premier ou le dernier îlot pour partir ou arriver dans le bon sens de la rue. A Paris, les trois quarts de la voirie sont en sens unique (5). En banlieue, la proportion est nettement moindre (de l'ordre de 50 % ?). Pour les véhicules motorisés, la gêne est faible. Pour les cyclistes qui se déplacent à la force de leurs mollets et sur des distances plus courtes, des sens uniques généralisés allongent d'environ 20 % les parcours, ce qui est loin d'être négligeable (Héran, 2002) (6). C'est pourquoi, l'instauration de contresens cyclables est nécessaire (Asencio et *alii*, 2006). Plus de 80 % des sens uniques peuvent en être dotés, comme c'est par exemple le cas aux Pays-Bas. Strasbourg en est à plus de 50 %. Bordeaux les a généralisés dans tout le centre historique.

3/ La desserte fine des quartiers contraint plus ou moins tous les modes. Pour préserver la tranquillité et la sécurité d'un lotissement, d'un centre-ville ou d'un quartier historique, le trafic de transit est interdit et l'accès organisé par des boucles de desserte qui obligent les usagers à entrer et sortir du même côté. Les trajets terminaux s'en trouvent sensiblement allongés. Ces boucles en plein essor ne devraient pas concerner les usagers non motorisés, mais c'est loin d'être toujours le cas. Quant aux bus, l'obligation de desservir les quartiers au plus près, notamment pour les scolaires et les personnes à mobilité réduite, est une importante source de détours qui peut facilement doubler la distance à vol d'oiseau.

4/ Le contournement des coupures peut se révéler très contraignant. Ces coupures sont naturelles (fleuves, vallées, collines...) ou artificielles (créées par l'homme), linéaires (autoroute, voie ferrée, canal...) ou surfaciques (zone commerciale, parc urbain, hôpital...), infranchissables ou impraticables (artère sans trottoirs ou sans aménagements cyclables), physiques (obstacle à contourner) ou dangereuses (barrières de trafic – trafic barrières) (Héran, 2000). Elles s'agglomèrent souvent en faisceau de coupures linéaires (autoroute + voies ferrées...), en coupure surfacique composite (un espace vert accolé à une zone d'activité), en voirie impraticable traversant une coupure linéaire (un pont encombré de trafic traversant un fleuve) ou passant entre des coupures surfaciques (un boulevard très circulé entre un hôpital et un cimetière) et vont jusqu'à provoquer l'enclavement de certains quartiers (comme c'est le cas de nombreux quartiers dits sensibles) et parfois de communes entières (comme Vaulx-en-Velin près de Lyon ou Dugny en Seine-Saint-Denis).

Les coupures engendrent à chaque fois des îlots de grande dimension. Le détour dépend de la longueur ou de l'emprise de la coupure, mais aussi de sa proximité avec les lieux d'origine et de destination. Elles sont généralement traitées en zone urbaine dense, mais beaucoup moins en périphérie où elles morcellent le territoire, comme en Seine-Saint-Denis.

5/ Enfin, l'utilisation de voies express peut allonger fortement les parcours tant les grandes vitesses autorisées permettent des gains de temps substantiels. Dans les déplacements automobiles interurbains, l'utilisation des autoroutes plutôt que des routes nationales et départementales entraîne un détour supplémentaire non négligeable de l'ordre de 10 % (voir ci-dessus), mais permet de réduire le temps de parcours d'environ 20 %.

En milieu urbain, où la vitesse moyenne sur les voiries rapides est jusqu'à cinq fois supérieure à la vitesse moyenne en ville, le détour moyen supplémentaire est bien plus fort : la distance parcourue en utilisant des voies express peut être jusqu'à trois fois plus longue que la distance parcourue par l'itinéraire au plus court, comme l'illustre l'exemple fictif présenté dans le tableau 3.

Tableau 3. Exemple fictif de gain de temps réalisé grâce à l'utilisation d'une voie rapide au prix d'un allongement des distances parcourues

Type de parcours	Distance à vol d'oiseau (km)	Distance réelle (km)	Vitesse moyenne (km/h)	Temps (mn)
Parcours urbain	8	10	20	30
Parcours mixte	8	30	65	27,6
– part urbaine		4	20	12
– part sur voie express		26	100	15,6

Deux exemples réels permettent de se rendre compte de l'existence effective de tels cas. Le premier concerne un trajet en taxi dans Paris, de la Gare du Nord à la porte de Versailles : il n'y a que 7 km à vol d'oiseau ou 8,5 km au plus court en 28 mn, mais 17 km (le double) au plus rapide par le boulevard périphérique en 25 mn. Le second concerne un déplacement en Grande couronne, au nord de l'Essonne, du 20 rue Victor Hugo situé dans un lotissement à Montgeron jusqu'à l'avenue Arago dans la zone industrielle de la Vigne aux Loups à Chilly-Mazarin où travaillent 3600 salariés : il n'y a que 9,3 km à vol d'oiseau et déjà – selon Google Maps – 16,3 km à pied ou 18,3 km au plus court en voiture faisable en 33 mn, mais 26,1 km pour s'y rendre au plus vite en 30 mn en utilisant 19 km de voies express (A6, A104 et N6) (voir le schéma 1 en annexe). Le parcours au plus court est déjà doublé à cause de nombreuses coupures dont la Seine, des voies ferrées, etc. Il est encore accru de 40 % à cause de l'utilisation des voies express, soit au total un allongement de parcours de 181 % (facteur multiplicateur de 2,8) par rapport à la distance à vol d'oiseau. Bilan : un gain de temps de 3 mn (7). Certes, les temps fournis concernent l'heure creuse de jour, mais les écarts ne seraient pas très différents à l'heure de pointe, car la demande de trafic se répartit constamment selon la disponibilité des espaces de voirie.

Cet impact des voiries rapides dans l'allongement des parcours est d'autant plus fort quand elles sont nombreuses et que manquent des voies intermédiaires entre ces voiries et le réseau de desserte (8), comme c'est souvent le cas en Ile de France (Noël et Charre, 2000).

Le tableau 4 suivant résume les raisons expliquant les détours supplémentaires en milieu urbain.

Tableau 4. Résumé des raisons expliquant les détours supplémentaires en milieu urbain

Raison / Mode	La recherche d'une place de stationnement	Les sens uniques	La desserte fine des quartiers	Le contournement des coupures	L'utilisation de voies express
Piétons	Pas concernés	Pas concernés	Parfois contraints par les boucles de desserte	Fortement concernés	Pas concernés
Cyclistes	Peu concernés, car stationnement illicite toléré sur trottoir	Fortement concernés, car déplacements courts		Très fortement concernés, car déplacements inter-quartiers	Pas concernés
Deux-roues motorisés		Très concernés dans les centres-villes	Faiblement concernés, car déplacements longs	Contraints par les boucles de desserte	Faiblement concernés, car modes motorisés
Automobilistes	Pas concernés				

Au contraire du détour moyen normal, les détours supplémentaires compliquent l'accès aux extrémités du déplacement. C'est pourquoi, ils dépendent de la distance parcourue en étant relativement plus importants pour les trajets courts. Les usagers non motorisés, se déplaçant à la force de leurs muscles, y sont très sensibles. Il est donc parfaitement justifié de considérer globalement que le facteur de détour diminue quand la distance augmente.

1.3. Réseau maillé versus réseau hiérarchisé

Tous ces résultats peuvent être théorisés à la lumière du débat sur la forme maillée ou hiérarchisée des réseaux (Dupuy et Offner 2005).

Les modes motorisés ne sont sensibles qu'au temps de parcours et non aux distances parcourues. C'est aujourd'hui devenu un lieu commun que de le rappeler. Aussi sont-ils prêts à effectuer des détours pour gagner du temps. De cette caractéristique découle tout l'intérêt de hiérarchiser le réseau viaire (et aussi celui des transports publics). Les voies de desserte se branchent sur les voies de distribution, qui se raccordent aux voies artérielles, elles-mêmes rejoignant les voies rapides urbaines (typologie des voiries utilisée par le CERTU). Pour que cette hiérarchisation soit à la fois efficace et sans danger pour ses utilisateurs, une voie de niveau donné ne doit être connectée qu'à une voie de niveau immédiatement supérieur ou inférieur. A la limite, explique G. Brun (2005), ces réseaux tendent vers une forme arborescente fractale : la même morphologie se retrouvant à plusieurs échelles, de la desserte du centre à celle des lotissements en périphérie (comme dans la logique de collecte et distribution des marchandises par des hubs ou des pôles d'échanges des réseaux de transports publics).

En revanche, les usagers non motorisés sont très sensibles aux distances parcourues et se déplacent toujours au plus court, ce que ceux qui insistent sur les temps de parcours ne semblent pas réaliser (voir l'encadré 1). Obliger piétons ou cyclistes à faire des détours ou à utiliser des passages dénivelés ne peut que leur faire perdre du temps et de l'énergie et les amener à prendre des risques. Il faut d'évidentes et puissantes raisons (de sécurité notamment) pour que cette obligation soit comprise. Pour ces usagers, un réseau bien maillé, non hiérarchisé, est indispensable sur tout le territoire urbanisé. Pour eux assurément, « une ville n'est pas un arbre », selon l'expression de Ch. Alexander (1967), et doit rester « passante » (Mangin, 2004).

Encadré 1. Quand les modes actifs prennent le plus court chemin

De très nombreux exemples prouvent que les piétons vont au plus court : pour traverser tel parc près de la mairie de Lille, ils n'ont pas hésité à créer un chemin direct à travers les pelouses et buissons que les services de la ville ont fini par aménager ; pour franchir à niveau telle petite voie ferrée qui passe au milieu de Lezennes près de Lille, ils découpent régulièrement le grillage plutôt que de prendre la passerelle située à côté mais qui culmine à 5 m, pour accéder à tel hypermarché à l'ouest de Strasbourg, ils sont prêts à traverser une 4 voies et son terre-plein à leurs risques et périls... C'est impressionnant, dangereux, interdit, mais c'est ainsi. Pour les cyclistes, la règle du plus court chemin est presque aussi puissante : remontée des sens interdits, utilisation des pistes cyclables unidirectionnelles en sens inverse pour éviter de traverser la rue, refus d'utiliser les « itinéraires parallèles » prévus à leur intention, franchissement des carrefours en diagonale, etc. Il ne s'agit ni de justifier, ni de déplorer ces comportements, mais de constater qu'ils existent et correspondent à une logique d'économie d'énergie musculaire parfaitement compréhensible.

Ainsi, le réseau viaire est tiraillé entre une logique de hiérarchisation des voies, favorable aux modes motorisés, et une logique de maillage, nécessaire aux modes non motorisés. Il suffirait donc, en théorie, de dissocier les deux réseaux viaires : l'un hiérarchisé pour les voitures (voies rapides, voies intermédiaires, voies de desserte) et l'autre finement maillé pour les piétons et cyclistes. Cette solution était déjà préconisée par Le Corbusier dans la Charte d'Athènes (1933), puis par le rapport Buchanan (1963), et elle a été appliquée notamment dans de nombreuses villes nouvelles.

Mais en pratique, le second réseau doit pouvoir franchir les nombreuses coupures provoquées par les voies rapides et artérielles du premier, ce qui s'avère irréalisable sans quelques forts désagréments pour les non motorisés : passages dénivelés peu commodes et fatigants (9), temps d'attente interminables aux feux ou traversées dangereuses, ou bien détours dissuasifs. Ce problème est encore aggravé quand manque les voiries intermédiaires, à cause d'une trop rapide extension urbaine (Wiel 2007, chapitre 3). En outre, ce double réseau rend la ville peu lisible, car il contraint les usagers qui peuvent être tour à tour piétons, cyclistes ou automobilistes à un double apprentissage. Enfin il limite les relations entre usagers des deux réseaux : pas de dépose minute possible, pas de maraude pour les taxis (10). Aussi, presque partout, la tendance est aujourd'hui d'éviter la dissociation entre réseaux piétons, cyclables et automobiles. Ainsi a-t-on détruit certaines passerelles du quartier de La Part Dieu à Lyon au profit de passages piétons classiques, et réhabilité le boulevard circulaire de La Défense en modérant les vitesses et en créant des bandes cyclables.

Beaucoup considèrent cependant que les piétons ayant des déplacements de faible portée n'ont pas vocation à parcourir la ville et peuvent se contenter de limiter leurs mouvements à l'intérieur de leur quartier ou de leur lotissement en périphérie, sans qu'il soit nécessaire de prévoir de nombreux franchissements des grands axes qui jouxtent de tels lieux. Pour en sortir et donc parcourir une distance non négligeable, un mode motorisé s'imposerait, qu'il s'agisse de la voiture ou des transports publics. Ainsi la hiérarchisation du réseau et les vitesses qu'il autorise sont préservées. Un tel raisonnement sous-estime beaucoup la mobilité des piétons et bien plus encore celle des cyclistes dont la portée des déplacements est triple de celle d'un piéton à dépense d'énergie identique (11).

C'est pourquoi, si on tient à rendre la ville plus accueillante aux piétons et cyclistes, il est inévitable de réduire la hiérarchisation des voies, c'est-à-dire de modérer les vitesses pour faciliter le maillage du réseau, en rendant les voies principales à la fois franchissables et praticables pour ces modes. C'est aussi la conclusion des experts du CERTU ou des chercheurs dont il a publié les travaux dans les années 1990 (Gambard et *alii*, 1995 ; Goût, 1996 ; Faure, 1996 ; Werquin et Demangeon, 1998...).

2. Les coefficients de redressement

A l'issue de ces réflexions, il apparaît que les coefficients de redressement destinés à obtenir les distances réelles à partir des distances à vol d'oiseau sont nettement différents selon les zones traversées et selon les modes.

Pour les véhicules motorisés, les facteurs d'allongement de parcours sont bien plus importants en périphérie qu'au centre, au moins dans les grandes villes : les voiries rapides y sont plus nombreuses et le maillage du réseau viaire y est moindre car les coupures plus fréquentes et insuffisamment traitées. Certes, la recherche de stationnement est plus facile et la présence des sens interdits moindre, mais ces facteurs ont une plus faible influence. Si bien que le détour moyen est de l'ordre de 20 % au centre et d'environ 50 % en périphérie (si l'on en croit une évaluation que nous avons réalisé en Grande couronne d'Ile de France, avec cependant une forte dispersion des coefficients de détour). Le CERTU (2005, p. 14) retient un unique coefficient encore provisoire de 1,4 au-delà d'une distance à vol d'oiseau d'un km et qui constitue une moyenne correcte.

Pour les cyclistes, les facteurs d'allongement de parcours sont différents selon les zones. Au centre, les nombreux sens interdits sont pénalisants, alors qu'en périphérie, ce sont surtout les coupures qui entravent leur progression. Le détour moyen est supérieur à 20 % au centre et à 30 % en périphérie. Lors d'une enquête réalisée dans l'agglomération lilloise (hors Roubaix et Tourcoing), il a été demandé à cent cyclistes quotidiens (60 hommes et 40 femmes, 37 ans d'âge moyen) de détailler rue par rue un parcours fréquent. Résultat : le détour moyen constaté est de 22 % au centre (comme il s'agit de trajets réellement effectués, tous les sens interdits n'ont pas forcément été respectés...), de 24 % pour les relations centre - périphérie et de 34 % en périphérie (voir le tableau 5). On est loin du coefficient de 1,15 retenu provisoirement par le CERTU (2005, p. 14), 1,25 serait préférable.

Tableau 5. Calcul du détour moyen sur 100 trajets effectués à vélo dans l'agglomération lilloise

Type de trajets	Nombre de trajets	Distance à vol d'oiseau (en km)	Distance réelle (en km)	Coefficient de détour moyen
Centre - centre	31	1,8	2,2	1,22
Centre - périphérie	47	3,7	4,6	1,24
Périphérie - périphérie	22	3,4	4,5	1,34
Ensemble	100	3,0	3,8	1,26

Source : Héran et *alii*, 1999.

Pour les piétons, le centre bien maillé est favorable : le détour moyen y est d'environ 20 %. Mais la périphérie beaucoup moins perméable est dissuasive : le détour moyen y dépasse sans doute les 30 %.

Sous l'impulsion de J.-L. Séhier, directeur du cadre de vie, la communauté urbaine de Lille a développé un outil logiciel permettant de cartographier précisément les zones accessibles à pied – les « cartes ZAP » – en dessinant les courbes isochrones autour d'un générateur de trafic (Palmier, 2001). Cet outil permet de mesurer un taux de desserte en rapportant l'aire réellement parcourable à l'aire atteignable à vol d'oiseau :

$$\text{taux de desserte} = \frac{\text{surface réellement accessible}}{\text{surface accessible à vol d'oiseau}}$$

Ce concept est directement lié au détour moyen par la formule :

$$\text{taux de desserte} \approx (1 - \text{pourcentage de détour moyen})^2$$

Table de correspondance entre détour moyen et taux de desserte

Coefficient de détour moyen	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5
Pourcentage de détour moyen	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
Taux de desserte	90%	81%	72%	64%	56%	49%	42%	36%	30%	25%

Ainsi, comme pour le détour moyen, il existe un taux de desserte normal, quand le réseau est bien maillé et qui se situe entre 70 et 55 % (15 à 25 % de détour moyen). Mais la présence de coupures linéaires ou surfaciques peut faire tomber ce ratio bien en deçà de 50 % (voir des exemples de cartes ZAP, en annexe). On est bien sûr des détours moyens supérieurs à 30 % en périphérie. D'autres auteurs ont également développé des outils similaires, notamment l'agence des architectes-urbanistes Brès & Mariolle (2008, p. 2) ; l'IPRAUS – Institut parisien de recherche : architecture, urbanisme, société – ou A. Landex et S. Hansen (2006) au Danemark. Et la réflexion préalable est encore plus ancienne (O'Sullivan et Morral, 1995). La ville de Nantes a également réalisé un équivalent des cartes ZAP pour apprécier la zone de desserte réelle de certains centres commerciaux de quartier (Duhayon, Pages et Prochasson, 2002, p. 46).

Pour les bus, tout dépend de la finesse de la desserte. Dans le centre, les bus sont pénalisés par les sens uniques, à moins qu'existent des couloirs à contresens (12) (voir un exemple de trajet compliqué en annexe). En périphérie, les bus directs peuvent se contenter d'emprunter radiales ou rocade avec très peu de détours, l'usager se débrouillant pour se rabattre sur ces lignes. Les lignes de desserte des quartiers ont au contraire des parcours compliqués qui peuvent doubler les distances à vol d'oiseau. Le CERTU (2005, p. 14) retient un coefficient uniforme encore provisoire de 1,5, ce qui est acceptable.

Les coefficients redressant les distances à vol d'oiseau dépendent donc avant tout des modes de déplacements et de la morphologie des réseaux qui les concernent très différente selon les zones. En centre-ville, la densité humaine (habitants et emplois) et l'importance des déplacements à pied qui en résulte ont rendu nécessaire un bon maillage du réseau, alors qu'en périphérie, l'importance des déplacements en voiture a conduit à hiérarchiser le réseau, pénalisant du même coup les usagers non motorisés. Les écarts se sont ainsi nettement creusés, ces dernières décennies, entre le centre des grandes villes où la part des déplacements à pied et surtout à bicyclette s'accroît et la périphérie où elle continue de décliner, comme le montrent les enquêtes ménages déplacements des villes de Strasbourg (dès 1997), Paris (2001), Lille (2006) ou Lyon (2006). Aussi, il paraît désormais plus pertinent de différencier ces fameux coefficients en fonction des zones traversées – centre, périphérie, rase campagne – plutôt qu'en fonction des distances. En tout cas, des vérifications empiriques reposant sur un échantillon représentatif de déplacements réels par mode et par zone traversée sont indispensables, comme on a tenté ici de le montrer. De telles investigations seraient d'ailleurs en cours (CERTU, 2005, p. 10).

Conclusion

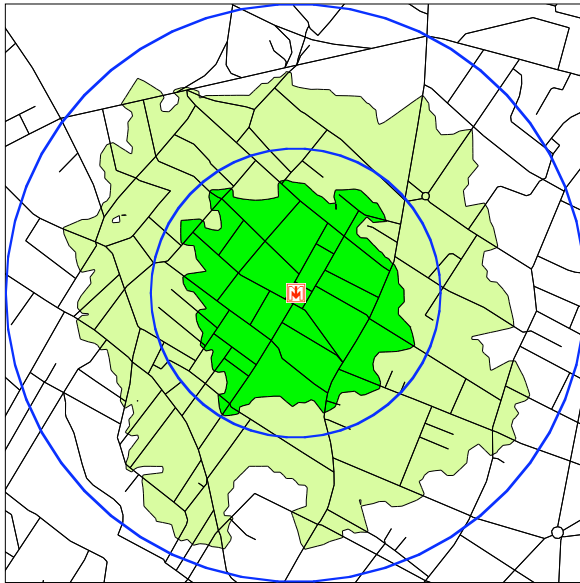
La question du redressement des distances à vol d'oiseau pour obtenir les distances réelles n'est ni anodine, ni purement technique. Elle oblige à s'interroger sur l'origine des détours et donc la forme du réseau viaire, son maillage et sa hiérarchisation. Elle révèle en particulier l'importance cruciale des voiries rapides dans l'allongement des parcours, non seulement pour les modes motorisés qui bénéficient ainsi de gains de temps substantiels, mais aussi pour les non motorisés qui se retrouvent en revanche pénalisés, via l'effet de coupure qu'elles provoquent. La mobilité lointaine est ainsi favorisée au détriment de la mobilité de proximité. C'est un exemple de plus des effets paradoxaux, à la fois bénéfiques et pervers, des « détours de production » (13).

Toutes ces distances accrues contribuent en outre à accroître la congestion, à la fois de manière directe en augmentant le trafic et de manière indirecte en disqualifiant les modes à plus faible portée, c'est-à-dire en incitant les piétons et les cyclistes à se reporter sur l'usage de la voiture et dans une moindre mesure des transports publics, moins performants. Quant aux vitesses accrues, si elles augmentent l'accessibilité des

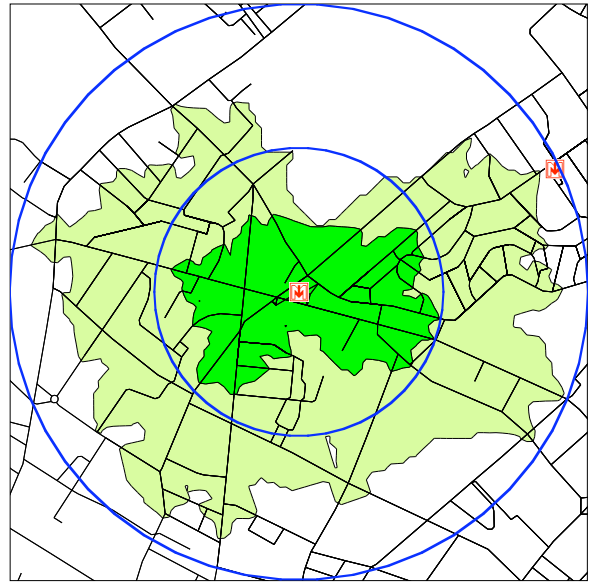
territoires, elles contribuent plus encore, en milieu urbain, à réduire à long terme la densité des zones périphériques.

Dès lors il apparaît légitime de se demander s'il se pourrait que les inconvénients des voiries rapides urbaines l'emportent sur leurs avantages.

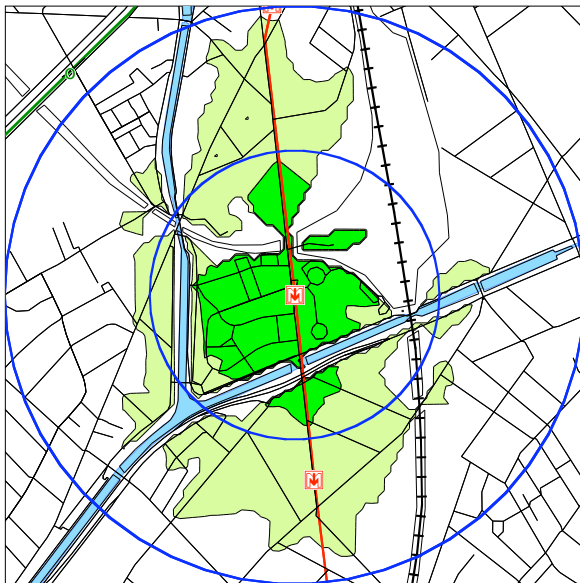
Exemples de cartes ZAP



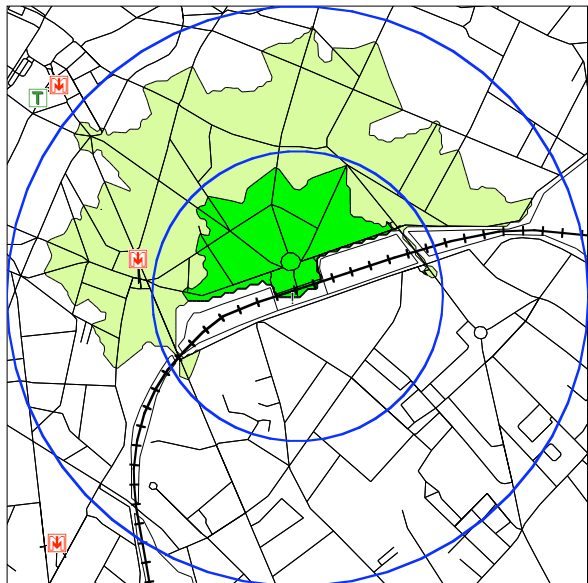
Taux de desserte de 59 %.
Un réseau dense et maillé assure une forte aire d'influence à cette station de métro.



Taux de desserte de 54 %.
Une vaste emprise au nord ampute la zone de desserte de cette station de métro.



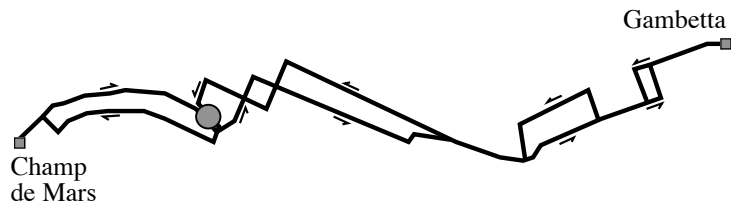
Taux de desserte de 32 %.
Des coupures linéaires (voies ferrées, canaux) réduisent la zone accessible à pied.



Taux de desserte de 29 %.
L'absence de sortie au sud de la gare de Tourcoing la rend peu accessible à pied.

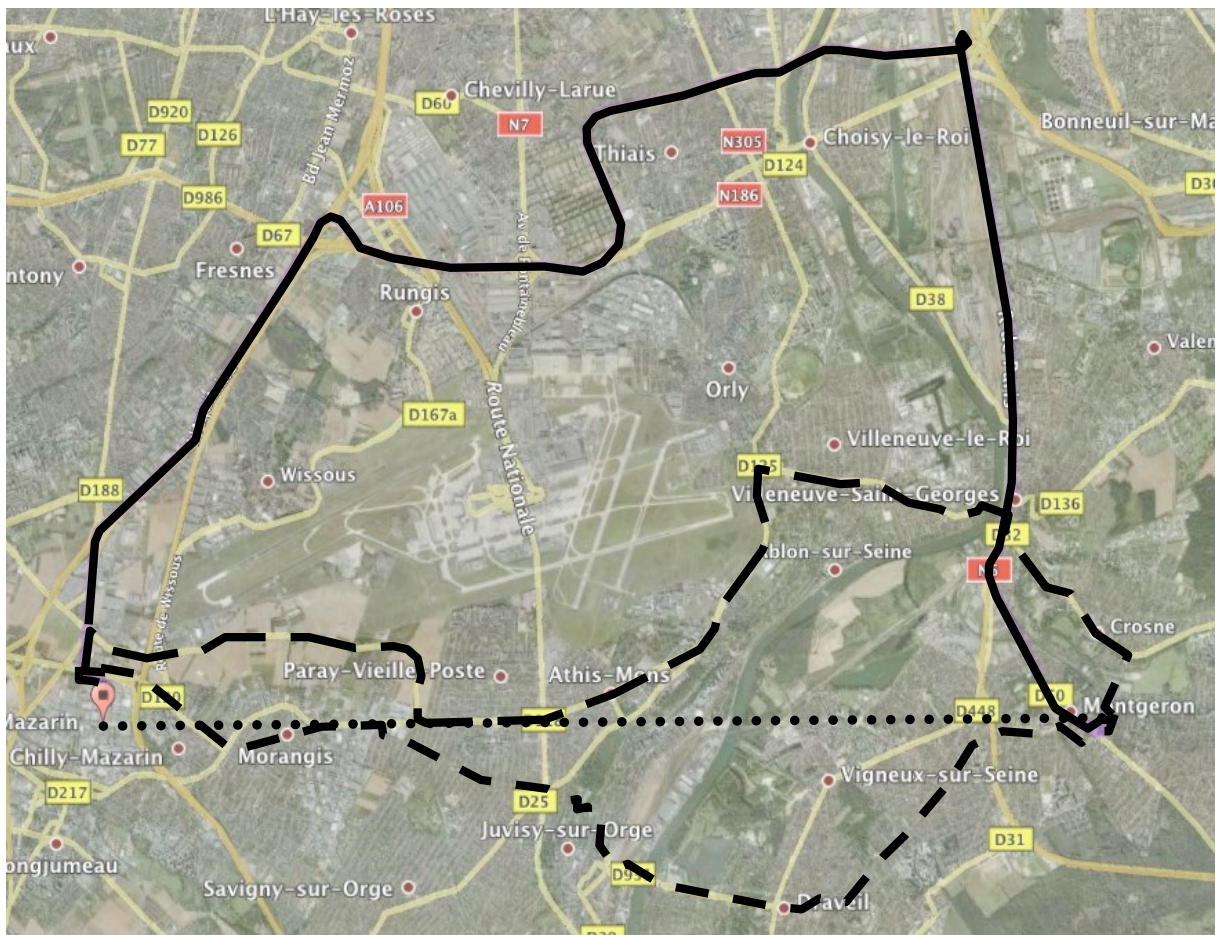
Source : Pouillaude, 2004.

Exemple de ligne de bus au parcours allongé et compliqué par les sens uniques



A Paris, la ligne RATP n° 69 emprunte des sens uniques sur 80 % de son parcours. Boulevard Saint Germain (point gris sur le schéma) la ligne comporte deux arrêts séparés de 10 m, situés du même côté de l'artère pour des bus allant pourtant vers des destinations opposées. Difficile pour un usager de s'y retrouver.

Exemple de déplacement en Grande couronne d'Ile de France, du 20 rue Victor Hugo dans un lotissement à Montgeron jusqu'à l'avenue Arago dans la zone industrielle de la Vigne aux Loups à Chilly-Mazarin



Fond de carte : © Google Maps

- En pointillés : distance à vol d'oiseau (9,3 km).
 - En petits tirets : parcours à pied (16,3 km).
 - En grands tirets : parcours en voiture au plus court (18,7 km en 33 mn).
 - En trait continu : parcours en voiture au plus rapide (26,1 km en 30 mn).
- Source : Google Maps.

Références

- ADEME, 2003, *Logiciel « DEED » : Diagnostic Energie Environnement Déplacements. Présentation et analyse fonctionnelle du logiciel DEED*, ADEME, 90 p.
- AGENCE BRES & MARIOLLE, 2008, *Le potentiel de densification autour des pôles et axes de transport en commun. Note de synthèse*, Paris : Direction régionale de l'équipement d'Ile de France, 8 p.
- ALEXANDER Ch., 1967, « Une ville n'est pas un arbre », *Architecture, Mouvement et Continuité*, 4^e trim., pp. 3-11.
- ASENCIO S., GIESS Y., HERAN F., 2006, *Les contresens cyclables. Avec présentation de 73 cas français*, FUBicy, ADEME, Ministère de l'Équipement et des Transports (Direction de la sécurité et de la circulation routière), Strasbourg, 2^e éd., 200 p.
- BRUN G., 2005, « Les réseaux : des spéculations morphologiques aux applications pratiques », *Flux*, n° 62, pp. 4-9.
- BUCHANAN C. D., 1963, *Traffic in Towns*, HMSO, Londres, 264 p., traduction : *L'automobile dans la ville*, Imprimerie Nationale, Paris, 1965, 224 p.
- CERTU, 2005, *Calcul a posteriori des distances dans les enquêtes ménages déplacements*, Lyon : CERTU, 45 p.
- CETE DE LYON, 1975, *Compte-rendu des journées d'études sur les plans de circulation favorables aux transports collectifs*, Arc-et-Senans, 2-3 déc. 1974, 52 p.
- DUHAYON J.-J., PAGES A., PROCHASSON F., 2002, *La densité : concept, exemples, mesure*, CETE de l'ouest, Lyon : CERTU, 92 p.
- DUPUY G., OFFNER J.-M., 2005, « Réseau : bilans et perspectives », *Flux*, n° 62, pp. 38-46.
- FAURE A. (dir.), 1996, *Entre les tours et les barres*, Lyon : CERTU, 205 p.
- GALLEZ C., HIVERT L., 1998, *BEED, mode d'emploi. Synthèse méthodologique pour les études « budgets énergie environnement des déplacements »*, rapport de convention ADEME-INRETS, 85 p.
- GAMBARD J.-M., APARICIO A., LUNDEBREKKE E., 1995, « Conception et architecture des voies urbaines », *Routes / Roads*, spécial II (10.08B) pp. 51-84.
- GENRE-GRANDPIERRE C., 2001, *Laisser leur chance aux modes non motorisés par l'aménagement des réseaux routiers*, V^e rencontres de Théo Quant, Besançon, 12 p.
- GODINOT C., NICOLAS J.-P., 2007, *L'évolution des vitesses sur l'agglomération lyonnaise. Ce que nous disent les enquêtes ménages de 1976, 1985 et 1995*, Lyon : Laboratoire d'économie des transports, document de travail n° 98/02.
- GOUT P. (dir.), 1996, *Plan de Déplacements Urbains. Guide*, Lyon : CERTU, 263 p.
- HERAN F. (dir.), JULIEN A., PAQUES A., 1999, *Evaluation de l'effet des coupures urbaines sur les déplacements des piétons et des cyclistes*, rapport final, recherche effectuée dans le cadre du PREDIT, Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et du Tourisme, Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques, décision d'aide à la recherche n° 98 MT 04, 234 p.
- HERAN F. (dir.), LE MARTRET Y., 2002, *Indicateurs pour des aménagements favorables aux piétons et aux cyclistes*, rapport pour l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie), recherche effectuée dans le cadre du PREDIT, 198 p.
- HERAN F., 2000, *Transports en milieu urbain : les effets externes négligés. Monétarisation des effets de coupure, des effets sur l'affectation des espaces publics et des effets sur les paysages*, Paris : La Documentation française, 118 p.

HERAN F., 2002, « Le reflux des rues à sens unique », *Flux*, n° 48, pp. 83-93.

HERAN F., 2003, « Forme du réseau viaire et détours », communication au XXXIX^e colloque de l'ASRDLF (Association de science régionale de langue française) *Concentration et ségrégation, dynamiques et inscriptions territoriales*, 1-3 septembre, Lyon, 10 p.

HERAN F., 2005, « De la ville adaptée à l'automobile à la ville pour tous. L'exemple parisien », in Anne GRILLET-AUBERT, Sabine GUTH (dir.), *Déplacements. Architectures du transport, territoires en mutation*, Ed. Recherches/Ipraus, Paris, pp. 173-186.

LANDEX A., HANSEN S., 2006, *Examining the Potential Travellers in Catchment Areas for Public Transport*, working paper, Centre for Traffic and Transport (CTT), Technical University of Denmark (DTU), 11 p.

LE CORBUSIER, 1933, *La Charte d'Athènes*, Paris, Minuit, éd. de 1957, 190 p.

LEFAUCONNIER A., GANTELET E., 2005, « La recherche d'une place de stationnement : stratégies, nuisances associées, enjeux pour la gestion du stationnement en France », *Transport, Environnement, Circulation*, n° 187, 9 p.

MALVERTI X., PINON P. (dir.), 1997, *La ville régulière. Modèles et tracés*, Picard, Paris, 215 p.

MANGIN D., 2004, *La Ville franchisée. Formes et structures de la ville contemporaine*, Éditions de la Villette, 480 p.

MANGIN D., PANERAI Ph., 1999, *Projet urbain*, éditions Parenthèses, Marseille, 187 p.

NOEL J.-C., CHARRE L., 2000, *Les boulevards et les avenues du réseau principal*, DREIF, Direction de l'urbanisme et du schéma directeur, non paginé.

O'SULLIVAN S., MORRAL J., 1995, *Walking Distances to and from Light-Rail Transit Stations*, Transport Research record 1538, pp. 19-26.

ORFEUIL J.-P., 1984, « Les budgets énergie transport: un concept, une pratique, des résultats », *Recherche Transports Sécurité*, n° 2, pp. 23-29.

PALMIER P., 2001, *Cartes ZAP : mode d'emploi*, Lille Métropole Communauté Urbaine, Lille, 25 p.

PLAT D., 1982, *Distances de déplacement, le cas de l'agglomération lyonnaise*, mémoire de DEA, Université Lumière Lyon 2, 100 p. + ann.

POUILLAUDE L., 2004, *Zoom sur la ZAP. Premiers enseignements de l'étude des zones accessibles à pied autour des stations de transport en site propre*, Lille : LMCU, présentation PowerPoint, 21 p.

ROUMEGOUX J.-P., DELSEY J., LAMBERT J., BAC J.-P., FOUILLOUX C., 1979, *Consommation d'énergie par la circulation routière*, note d'information n° 14, IRT, 119 p.

SCHAUR E., 1991, *Non-planned settlements*, Stuttgart : Institut für leichte Flächentragwerke, 256 p.

WERQUIN A.-C., DEMANGEON A., 1998, *Boulevards, rondas, parkways... des concepts de voies urbaines*, dossier du CERTU, 161 p.

WIEL M., 2007, *Pour planifier les villes autrement*, Paris : L'Harmattan, 244 p.

Notes

(1) Ce texte est issu d'un travail réalisé avec Emmanuel RAVALET, doctorant au Laboratoire d'économie des transports, pour le PREDIT 3 et portant sur *La consommation d'espace-temps des divers modes de déplacement en milieu urbain. Application au cas de l'Île de France*. Il a bénéficié des remarques critiques de plusieurs collègues : qu'ils en soient ici remerciés. Je reste bien entendu seul responsable de son contenu.

(2) Ainsi, à New York sur l'île de Manhattan, les rues sont espacées de 80 m et les avenues de 290 m, soit une moyenne de 159 m de voirie par ha $[10\,000 \times (80 + 290) / (80 \times 290)]$ auxquels s'ajoutent Broadway et quelques ruelles.

(3) Certains auteurs – comme D. Plat (1982), cité par Godinot et Nicolas (2007) – considèrent un peu vite ces deux types de réseau comme similaires.

(4) Pour tenir compte du fait que les détours diminuent quand la distance augmente, C. Gallez et L. Hivert (1998) adoptent la formule suivante reprise par l'ADEME et permettant de calculer d , la distance réelle en km, à partir de d^e , la distance euclidienne :

$$d = d^e(1,1 + 0,3e^{-d^e/20})$$

Concrètement, le coefficient est de 1,4 pour une distance à vol d'oiseau de 1 km, 1,3 pour 8 km, 1,2 pour 20 km et 1,1 au-delà de 90 km. La formule est reprise par l'ADEME (2003, p. 35) dans son logiciel « DEED » : Diagnostic Energie Environnement Déplacements.

(5) Cette donnée n'est pas disponible auprès des services de la ville, ni de la Préfecture de police. Nous avons donc procédé à un tirage aléatoire de 601 tronçons de rues entre deux carrefours consécutifs puis dénombré 77 % de tronçons à sens unique. Calculé en linéaire de voirie, le résultat n'est pas sensiblement différent (Héran, 2005).

(6) Dans l'hypercentre de Besançon (la boucle), où des sens uniques dissuadent le transit des véhicules motorisés, le facteur d'allongement supplémentaire des parcours est de 30 %, le coefficient de détour moyen passant de 1,20 pour les piétons à 1,56 pour les voitures (Genre-Grandpierre, 2001, p. 4).

(7) Il y a 30 ans, des chercheurs de l'IRT (Institut de recherche des transports) détaillaient déjà, en étudiant les consommations d'énergie, les gains de temps mais aussi les allongements de parcours permis par les rocade (Roumegoux et al., 1979).

(8) « Plus généralement, plus le réseau est hiérarchisé fonctionnellement, c'est-à-dire plus les vitesses de circulation autorisées sont variables, plus le facteur d'allongement calculé pour des plus courts chemins en temps augmente (plus de 25 % d'accroissement dans le cas de Tourcoing par exemple). » remarque également C. Genre-Grandpierre (2001, p. 4).

(9) De simples calculs de consommation d'énergie musculaire montrent qu'utiliser un passage dénivelé plutôt qu'un franchissement à niveau pour traverser une artère très circulée exige au moins 5 fois plus d'énergie (Héran et Le Martret, 2002).

(10) « Prenons par exemple la séparation entre piétons et voitures (...). A un niveau de pensée superficiel, c'est manifestement une bonne idée. Il est dangereux que des voitures allant à 120 à l'heure soient en contact avec des enfants qui jouent. Mais l'idée n'est pas toujours parfaite. (...) les taxis urbains ne peuvent fonctionner que précisément parce que piétons et véhicules ne sont pas rigoureusement séparés. » explique Ch. Alexander (1967, p. 8).

(11) La portée des déplacements à pied n'est pas négligeable : en un quart d'heure, un écolier parcourt déjà un km. Celle de cyclistes adultes l'est encore moins. Une enquête réalisée dans le cadre d'une recherche pour le PREDIT 2 et portant sur 100 itinéraires réguliers effectués par des cyclistes lillois a montré qu'ils parcouraient en moyenne 4,5 km en périphérie ou sur des itinéraires radiaux, et moitié moins en centre-ville (Héran et al., 1999). On ne peut considérer qu'il s'agisse là de simples « déplacements locaux », sauf peut-être dans les très grandes agglomérations.

(12) Dans les années 70, suite à la circulaire du 16 avril 1971, l'extension des plans de circulation a entraîné la multiplication des sens uniques, favorisant l'usage de la voiture et en même temps compliquant les parcours des bus qui ont vu leur clientèle chuter de l'ordre de 10 à 30 % (CETE de Lyon, 1975). Voir l'exemple présenté en annexe.

(13) Ce concept a été proposé par E. von Böhm-Bawerk dès 1888, puis sa critique conduite par I. Illich, dans les années 60-70, et par bien d'autres auteurs à sa suite.