



N°d'ordre NNT :

THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON

préparée au sein de
l'université Jean Monnet

Ecole Doctorale n 483
Sciences sociales

Spécialité de doctorat : **Information géographique et applications**
Discipline : **Géographie**

Soutenue publiquement le 24/10/2016, par :
Nadja VICTOR

Evaluation des déplacements piétons quotidiens

Application à la ville de Luxembourg

Devant le jury composé de :

CLOUTIER Marie-Soleil	Assistante-Professeur, INRS, Canada
DAVOINE Paule-Annick	Maître de conférences/HDR, Institut Polytechnique de Grenoble, France ; Rapporteur
ESCOBAR Francisco	Professeur, université d'Alcala, Espagne ; Rapporteur
WEBER Christiane	Directrice de recherche CNRS, UMR 9000 TETIS, Montpellier, France ; Présidente du jury
JOLIVEAU Thierry	Professeur, UMR 5600 EVS ISTHME, université Jean Monnet, Saint-Etienne, France ; directeur de thèse
KLEIN Olivier	Chargé de recherche, LISER (Luxembourg Institute of Socio-Economic Research), Esch-sur-Alzette, Luxembourg ; co-directeur de thèse

THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON

préparée au sein de
l'université Jean Monnet

Ecole Doctorale Sciences sociales

Spécialité de doctorat : **Information géographique et applications**

Discipline : **Géographie**

Soutenue publiquement le jj/10/2016, par :

Nadja VICTOR

Evaluation des déplacements piétons quotidiens

Application à la ville de Luxembourg

Devant le jury composé de :

CLOUTIER Marie-Soleil

Assistante-Professeur, INRS, Canada

DAVOINE Paule-Annick

Maître de conférences/HDR, Institut Polytechnique
de Grenoble, France ; Rapporteur

ESCOBAR Francisco

Professeur, université d'Alcala, Espagne ;
Rapporteur

WEBER Christiane

Directeur de recherche CNRS, UMR 9000 TETIS,
Montpellier, France ; Présidente du jury

JOLIVEAU Thierry

Professeur, UMR 5600 EVS ISTHME, université
Jean Monnet, Saint-Etienne, France ; directeur de
thèse

KLEIN Olivier

Chargé de recherche, LISER (Luxembourg Institute
of Socio-Economic Research), Esch-sur-Alzette,
Luxembourg ; co-directeur de thèse



Cette thèse a été financée par le Fonds National de la Recherche du Luxembourg
Projet 1183639 PAWLux

« Le vent se lève ! ... il faut tenter de vivre. »

Paul Valéry, *Le cimetière marin*, 1920.

Evaluation des déplacements piétons quotidiens

Application à la ville de Luxembourg

Mots-clefs : Marche, Piéton, Accessibilité, SIG, Réseau pédestre, Marchabilité/ *Walkability*, Handicap, Mobilité pédestre

La marche en milieu intra-urbain est considérée comme une pratique naturelle et évidente pour les déplacements à but utilitaire ou récréatif. Cependant, cette activité se révèle complexe à conceptualiser. Tout d'abord, elle inclut un *continuum* d'usagers piétons aux capacités de mobilité diverses. Par exemple, tout un chacun peut être un jour confronté à une situation d'inadéquation avec l'environnement qui l'entoure. Ensuite, au-delà des problèmes d'accessibilité, les comportements de mobilité et de marche sont influencés par une série d'exigences et de besoins : faisabilité, utilité, sécurité, confort environnemental et physique, plaisir des sens ou encore sentiment d'appartenance. En outre, les choix d'itinéraires des piétons en milieu urbain varient également selon l'objectif et le contexte du trajet. A partir d'une démarche pluridisciplinaire, cette recherche considère que pour promouvoir la marche au quotidien, il est essentiel de tenir compte des spécificités de chacun et des situations pouvant potentiellement affecter les déplacements piétons. Toutefois, au regard de la littérature, peu de modèles intègrent des solutions individualisées basées non seulement sur les caractéristiques des usagers (motricité, état de santé, genre, âge, IMC, etc.) mais aussi sur les propriétés de l'environnement (pente, texture, largeur, etc.). La plupart se contentent de profils génériques. Afin de saisir au mieux les différents aspects de la marche, une approche multi-scalaire et « multi-usagers » des interrelations humain-environnement se révèle pourtant plus pertinente.

En réponse, la création d'un modèle de déplacements piétons en milieu intra-urbain via un système d'information géographique (SIG) offre non seulement un support de modélisation, d'analyse et de visualisation mais aussi un outil d'aide à la décision s'adressant à la fois au grand public et aux décideurs (aménageurs, associations) à diverses échelles (adresse, tronçon, voisinage et quartier). L'innovation de cette démarche réside dans la volonté de proposer un outil inclusif intégrant les interrelations entre une grande diversité d'usagers piétons et l'environnement selon différents contextes. A cet effet, le recours à l'utilisation d'un SIG et d'une approche par la *théorie des graphes* sous la forme d'un réseau d'*objets vecteurs* permet d'analyser la capacité d'un réseau pédestre à accueillir une grande diversité d'usagers et à disposer d'environnements urbains favorisant la marche. Notre méthodologie garantit également un modèle qui puisse être reproductible dans différentes villes en Europe et la possibilité de l'adapter à un contexte local spécifique à travers un audit urbain et un questionnaire-usager. Cette démarche a été appliquée à la ville de Luxembourg en tant que cas d'étude empirique afin de collecter des informations sur la capacité d'une ville à fournir un réseau pédestre efficace et des témoignages d'usagers piétons. Finalement, un prototype d'interface d'aide à la décision vient conclure cette recherche en proposant non seulement un outil de préconisations d'itinéraires individualisés, de diagnostics d'accessibilité et de capacité à favoriser la marche mais aussi une solution pour collecter de nouvelles données empiriques.

Pedestrian trips assessment

Application to the city of Luxembourg

Key-words: Walking, Pedestrian, Accessibility, GIS, Pedestrian Network, *Walkability*, Disability, Pedestrian Mobility

Walking is generally considered as a natural and obvious activity for utilitarian or recreational purposes. Yet, that activity is complex to conceptualize. First, it includes a *continuum* of pedestrian users with various abilities to move. For instance, anyone can someday be confronted with a situation of disability and can have to face the environment. Second, beyond the accessibility issue, the mobility and walking behaviours are also influenced by a set of needs and criteria: feasibility, usefulness, safety, environmental and physical comfort, pleasure and sense of belonging. Besides, peoples' routes in urban environment are also varying following the trips objective. Included in an interdisciplinary approach, this research argues that to ensure a city suitable for daily walking, it is essential to take into account the specificities of everyone and of situations that may affect pedestrian travels. However, regarding the literature, only few models integrate individualized solutions based on user's characteristics (motor function, health, gender, age, BMI, etc.) and environmental properties (slope, texture, width, etc.). Generally, these are based on generic profiles. In order to capture the best variability of walking, only a multi-scalar and a "multi-user" approach of the human-environment relationship is relevant. For this purpose, the use of a GIS-based (geographic information system) approach provides solutions to model, analyze and visualize human-environment interactions during walking trips.

For this purpose, creating a model of pedestrian trips in an intra-urban area *via* Geographical Information System (GIS) not only provides a support of modeling, analysis and visualization but also a decision tool for both people and decision makers (planners, associations) at various scales (address, length, neighbourhood and district). The innovation of this approach lies in the desire to offer an inclusive tool which integrates the interrelationships among a variety of pedestrian users and the environment in different contexts. To this end, the use of GIS and a graph theory approach as a network of vector objects can analyze the ability of a pedestrian network to accommodate a large diversity of users and to have walkable urban environments. Our methodology also guarantee a model that can be reproducible in different cities in Europe and the ability to adapt itself to specific local context through an urban audit and a questionnaire for users. This approach was applied to the city of Luxembourg as an empirical case of study to gather information about the ability of a city to provide an efficient pedestrian network and some pedestrian users' testimonies. Finally, using a prototype of interface for decision help support comes to conclude this research by offering not only a tool for individualized itineraries and recommendations of accessibility and walkability but also a way to collect new empirical data.

Remerciements

Je tiens à remercier mon directeur de thèse, Thierry Joliveau, pour les conseils et la prise de recul qui me manquait aux moments stratégiques. Un grand merci tout particulièrement à mon co-directeur, Olivier Klein, pour son support, sa présence et les multiples connaissances qu'il a su me transmettre avec patience. Merci également à mes co-encadrants : Philippe Gerber, pour ses apports scientifiques et méthodologiques ainsi que son support et Marc Schneider, pour ses conseils.

Merci aux membres du jury de thèse qui ont pris le temps de lire cette thèse et d'apporter leurs avis et conseils.

Merci au Fonds National de la Recherche (FNR) qui a financé mon projet de recherche pendant ces quatre années.

Un grand merci aux acteurs locaux qui ont eu l'amabilité de me recevoir et de contribuer à ce projet par de nombreux conseils et informations. Merci à Germain Breger de la direction du géomètre et à Madeleine Kayser du service Intégration et besoins spécifiques à la Ville de Luxembourg. Merci à Yannick Breuer et Silvio Sagramola d'Info-handicap ainsi qu'à Fabiano Munisso de l'Adaph. Merci également à Andrée Kerger de la cellule d'Evaluation et d'Orientation de l'Assurance Dépendance.

Je tiens particulièrement à remercier l'ensemble des participants à l'enquête usagers. Bien que leurs noms doivent demeurer anonymes, j'espère qu'ils se reconnaîtront.

Un immense merci à mes deux relecteurs, Clémence Pouget et Vincent Guilloux, qui ont eu la patience de lire toute la thèse, page après page.

Un grand merci également aux collègues du LISER qui m'ont considérablement aidé par leurs conseils, leurs soutiens, leur gentillesse mais aussi par les aides méthodologiques, théoriques et empiriques. Merci également au LISER qui m'a permis d'accéder aux locaux, aux outils informatiques et aux livres jusqu'à la fin de ma thèse et ceci malgré la fin de mon contrat.

Merci à ma famille qui m'a toujours soutenue et aidée dans les situations de crise et les coups durs. En particulier, ma mère qui a toujours cru en moi et m'a obligée à « voir plus loin que le bout de mon nez » ! Un grand merci aussi à mon conjoint Benjamin qui a toujours été là, qui a supporté les horaires décalés et les crises de stress mais aussi pour son soutien pour la thèse, les débats, les relectures, la compagnie sur le terrain, etc.

Enfin, je tiens aussi à remercier les amis qui m'ont entourés malgré la distance et/ou les absences dans les coups durs comme dans les bons moments et sans qui cette thèse n'aurait pu se faire en acceptant de servir de cobayes et en m'aidant pour la relecture : à vous tous pour votre bonne humeur et votre humour lorsque je « comptais les pavés » ou « travaillais » à la maison. Et puis, une dédicace toute particulière aux collègues, devenus amis (Omar, Julien, Nora, Guillaume, Maxime, Clémence, Gaby, Karine, Marion, Sylvain...) avec qui j'ai partagé les rires, les crises, le bureau, les conférences et refait le monde autour d'une battin.

Avant-propos

La Marche est une pratique du quotidien, dont l'importance est parfois sous-estimée. J'ai toutefois eu l'occasion de découvrir un objet de recherche à la fois riche et original, en 2010, lors de mon stage de master SIG au LISER^I. Part d'un projet européen INTERREG IVB dénommé ICMA^{II} (*Improving Connectivity and Mobility Access*) qui visait à fournir des alternatives intéressantes et efficaces à l'utilisation de la voiture individuelle pour les premiers et derniers kilomètres des déplacements quotidiens, le sujet portait, en lui-même, sur la création d'un premier modèle SIG adapté à la marche pour la ville de Luxembourg. J'ai, dès lors, eu l'occasion de développer ma première réflexion autour des relations existantes entre le piéton et l'environnement qui l'entoure, lors de ses déplacements. En effet, non seulement les particularités du terrain rendaient indispensables la prise en compte des pentes et de vitesses variables selon le dénivelé mais nous nous sommes aussi très vite aperçus de l'importance d'intégrer différents profils de mobilité pedestre au vu de la grande diversité d'usagers piétons existants et de leurs différentes capacités d'accès aux voies pedestres. Si le modèle proposait ainsi trois profils de déplacement variant selon la pente et les types de voies, des limites conséquentes aux recours de catégories d'usagers piétons furent néanmoins évoquées en guise de perspectives.

A l'issue de ce stage, j'ai eu l'opportunité de poursuivre avec une thèse dans le cadre d'une collaboration entre le laboratoire EVS ISTHME et le LISER. J'ai alors pu construire un sujet sur la marche quotidienne en milieu urbain en m'appuyant sur ma formation pluridisciplinaire – géographie, géomatique, sociologie et analyse des espaces publics^{III} – avec le soutien d'Olivier Klein (LISER) et de Thierry Joliveau (EVS ISTHME).

L'idée initiale repose sur le développement d'une démarche inclusive dans la réalisation d'un modèle de déplacements piétons à travers la prise en compte des interrelations usagers-environnement. Le cadre du quotidien complète cette démarche en se concentrant sur l'influence du contexte de déplacement sur les pratiques de mobilité, en particulier lorsque le budget temps est limité.

^I Jusqu'en 2014, le LISER se nommait CEPS/INSTEAD.

^{II} Projet INTERREG IVB NWE ICMA : <http://www.icma-mobilife.eu/>

^{III} Master 2 *Espaces Publics : architecture, design et pratiques...* validé en 2009 à l'université Jean Monnet.

Mon expérience de la ville de Luxembourg, acquise lors du stage, m'a alors conduit à proposer une application de notre futur modèle sur ce territoire urbain. Par sa taille, la forte présence de coupures urbaines mais aussi un design urbain adapté aux fonctionnalités des quartiers, cette ville constitue un excellent terrain pour analyser les déplacements piétons en milieu intra-urbain. Par ailleurs, la disponibilité des acteurs locaux (IGSS, Ville de Luxembourg, Adapt, etc.) et des associations (Info-handicap et MEGA) du grand-duché du Luxembourg ont grandement facilité l'obtention d'informations sur l'environnement urbain et l'organisation de rencontres avec des usagers piétons lors de l'enquête.

Proposer d'adapter notre modèle à la ville de Luxembourg a également offert la possibilité de demander un financement de recherche doctorale auprès du Fonds National de la Recherche luxembourgeois (FNR). Une fois ce financement obtenu, le projet PAWLux (*Pedestrian Accessibility and Walkability in Luxembourg-city*) a pu être développé à partir du mois d'août 2011. La présente thèse expose une réflexion théorique fondée, en partie, sur ce projet ainsi qu'une première application sur le terrain luxembourgeois.

Sommaire

<i>Remerciements</i>	11
<i>Avant-propos</i>	13
<i>Sommaire</i>	16
INTRODUCTION GENERALE	21
 Première partie : DE LA MARCHE AU DEPLACEMENT PIETON	31
 Chapitre I. La marche : action ou concept ?	37
1. La marche : moyen, mode de déplacement ou pratique ? Du moyen de déplacement naturel et universel au concept de « marche ».....	38
2. Contexte contemporain de la pratique de la marche en ville : intermodalité, déplacements quotidiens et temporalités.....	44
 Chapitre II. Les usagers piétons : des profils statistiques aux caractéristiques individuelles	55
1. Le piéton et/ou les usagers piétons : définitions et profils.....	56
2. Santé et conséquences sur la pratique de la marche.....	65
 Chapitre III. L'environnement urbain du point de vue des usagers piétons	81
1. L'environnement urbain : appropriation et parcours piétons.....	82
2. L'environnement urbain, un espace multimodal : garantir et légiférer des chemins piétonniers pour tous.....	94
Fin de la première partie	107
 Deuxième partie : MISE EN PLACE D'UN MODELE DE DEPLACEMENTS PIETONS URBAINS	113
 Chapitre IV. Construction d'un Système d'Information Géographique pédestre	119
1. Atouts et contraintes des systèmes d'information géographique (SIG) pédestres.....	120
2. Construction d'un réseau pédestre à l'aide d'un SIG.....	130
3. Attribution au réseau pédestre d'informations relatives à la marche.....	147
 Chapitre V. Configuration d'un SIG piéton selon l'interrelation usagers-environnement	161
1. Intégration de variables interindividuelles au SIG.....	162
2. Intégration de variables individuelles au SIG.....	169
3. Intégration de réactions individuelles quant à l'interrelation usagers-environnement.....	179
 Chapitre VI. Evaluation de la capacité d'un réseau pédestre à favoriser la marche	191

1. Evaluation des conditions d'accès au réseau pédestre et interrelations usagers- environnement	192
2. Evaluation de la qualité du réseau et du design urbain.....	203
3. Création d'un outil de diagnostic de la capacité d'un espace à proposer équitablement des configurations favorables à la marche pour une grande diversité d'utilisateurs piétons.....	215
Fin de la deuxième partie	221

Troisième partie : VILLE DE LUXEMBOURG : DES DEPLACEMENTS PIETONS FAVORABLES A TOUS ?.....	225
---	------------

Chapitre VII. Pratique piétonne : témoignages d'utilisateurs utilisant quotidiennement les voies pédestres de Luxembourg-Ville	231
1. Comportements de mobilité pédestre et représentation collective à Luxembourg- Ville	232
2. Stratégie de déplacements pédestres et choix d'itinéraires	239

Chapitre VIII. Accessibilité piétonne dans la ville de Luxembourg : un mode de déplacement ouvert à tous ?.....	259
1. Présence de coupures urbaines et effets sur l'accessibilité globale piétonne	260
2. Révéler des obstacles potentiels à la marche et leurs influences sur l'accessibilité : réalisation d'un audit urbain	275

Chapitre IX. La ville pas à pas. Diagnostics de la capacité des espaces publics à favoriser la marche	287
1. Capacités d'un milieu urbain à favoriser la marche dans trois aires de déplacements différentes	288
2. Capacités d'un milieu urbain à favoriser la marche pour une grande diversité d'utilisateurs.....	308

Chapitre X. Restitution et perspectives de recherche : solutionner les limites à la modélisation de la relation usagers-environnement à l'aide d'un SIG	319
1. Les acteurs et leurs besoins	321
2. Les cas d'utilisations et les scénarii	324
Fin de la troisième partie	333

CONCLUSION GENERALE	339
----------------------------------	------------

BIBLIOGRAPHIE.....	347
Table des matières	377
Table des illustrations.....	381
ANNEXES.....	385

INTRODUCTION GENERALE

Les évolutions successives des moyens de transport au cours de ces deux derniers siècles ont contribué à de profondes modifications de la ville et des pratiques de mobilité, passant successivement d'une *ville pédestre* à une *ville* façonnée par les *réseaux* et ensuite dimensionnée par l'*automobile* [Newman et Kenworthy, 1999 ; Wiel, 2002 ; Marchetti, 1991]. Dans *Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence*, Peter Newman et Jeffrey Kenworthy [1999] reviennent sur ces transformations : jusqu'au milieu du XIX^{ème} siècle, la marche était le principal mode de déplacement dans des villes possédant des diamètres rarement plus élevés que cinq kilomètres. Cependant, à partir des années 1860, les vieilles villes pédestres en Europe et dans le nouveau monde ont subi de fortes pressions démographiques et industrielles. L'avènement de nouvelles technologies de transport en commun^{IV} a alors permis de développer des formes de villes capables d'accueillir beaucoup plus de personnes grâce à une augmentation des vitesses de déplacement contribuant à un étalement urbain. Puis, un peu avant et surtout après la seconde guerre mondiale, l'automobile – complétée par le bus – a progressivement façonné la ville en augmentant considérablement l'étalement dans toutes les directions. De nos jours, la voiture n'a jamais été aussi présente dans notre société. La faire disparaître est devenu irréaliste puisqu'elle reste le seul mode de transport performant pour certains types de déplacement [Solere, 2012a : p. 22]. Son utilisation a façonné nos territoires et formaté notre rapport aux distances. Si les mutations de la ville et des pratiques de mobilité ont, en effet, apporté une plus grande liberté d'accès et de localisation des résidences et des activités, elles sont également allées de pair avec une augmentation des distances quotidiennes à parcourir [Wiel, 2012]. Toutefois, Peter Newman et Kenworthy [2015] indiquent que les villes atteignent dorénavant un pic d'utilisation de la voiture (« *peak car use* ») au profit du développement d'autres modes de déplacements (tramway, vélo, marche). Le phénomène d'étalement urbain de ces dernières décennies est en train de s'inverser et les centres-villes sont revitalisés dans un grand nombre de villes, attirant les jeunes à y vivre ou encore à y travailler. Pour Régis de Solere [2012], la place de l'automobile n'a jamais été aussi remise en cause que cette dernière décennie. Les transports collectifs – dont l'usage en milieu urbain était globalement stable – ont connu, dans les années 2000, une nette augmentation sur l'ensemble du réseau et tout particulièrement dans les agglomérations où ils sont performants. Par ailleurs, la marche et le vélo qui étaient délaissés par les politiques de transport ces dernières décennies sont de plus en plus favorisés dans les aménagements de l'espace public dans le but d'améliorer le cadre de vie des habitants et de restreindre la place de la voiture. Ce regain d'intérêt envers des modes de déplacement alternatifs à la voiture individuelle invite à s'interroger sur leurs places dans une ville dessinée pour l'automobile.

^{IV} Train à vapeur, puis électrique et tram/tramway à cheval, puis à vapeur, puis électrique.

Nous proposons, en guise d'introduction, de nous intéresser à l'influence de l'émergence d'une ville « *à la carte* » sur les pratiques de mobilité en milieu urbain ainsi qu'aux conséquences de la dépendance à l'automobile sur l'environnement et la santé. Nous reviendrons ensuite au développement d'alternatives à la voiture individuelle au profit d'une *ville durable* pour se concentrer sur la marche en tant que mode incontournable à une *mobilité durable* et fonctionnelle. Nous finirons par les enjeux conséquents à la promotion de la marche dans une ville calibrée pour l'automobile.

« *Ville à la carte* » et pratiques de mobilité en milieu urbain

La vitesse autorise un accès à une « *ville à la carte* où chacun choisit ses lieux de vie en fonction de ses aspirations et contraintes, financières notamment, en se souciant beaucoup moins de leur proximité physique que de leur proximité dans l'espace-temps des réseaux de transport, de façon à garder un budget-temps de transport quotidien de l'ordre de l'heure en moyenne » [Genre-Grandpierre, 2013 : p. 209]. Au cœur d'un système de transports aux vitesses différenciées [Ollivro, 2000], les individus cherchent, en effet, à réduire leurs coûts globaux de déplacement au quotidien non seulement en matière de dépenses (économique, énergétique) mais aussi de temps consacré au trajet [Banister, 2008]. Dans ce contexte, les études sur la *motilité* proposées par Vincent Kauffmann *et al.* [2003 : p. 32-33] identifient l'existence d'idéaux-types associés aux modes de déplacement en cherchant à définir la manière dont un individu ou un groupe fait sien le champ du possible en matière de mobilité et en fait usage pour développer des projets. Si la voiture individuelle est considérée comme le moyen de relier le plus efficacement possible des lieux, l'utilisation des transports en commun s'inscrit dans un processus de pré-programmation avec des déplacements intégrés à des activités. Enfin, les modes comme la marche ou le vélo privilégient, quant à eux, une certaine qualité sensorielle des temps de déplacement bien que leurs vitesses moyennes soient moins élevées. Le système automobile est ainsi à l'origine d'une forte dépendance par ses qualités d'ubiquité, d'instantanéité et d'immédiateté garantissant une *vie à la carte* sans subir de contreparties en matière d'augmentation de budgets temps de transport [Dupuy, 1991 ; Banister, 2008 ; Crozet, 2016].

Conséquences de la dépendance à l'automobile

Toutefois cette propension à l'utilisation de la voiture n'est pas sans conséquence. Elle a non seulement profondément marqué la morphologie des villes mais soulève également des questions d'écologie et de santé. Au cours des dernières décennies, la signature de diverses conventions internationales concernant la protection de l'environnement – Convention de Genève (1979), de Vienne (1985), de Rio (1992), de Kyoto (1997), traité d'Amsterdam (2000) ou plus récemment la COP 21/CPM11 à Paris (2015) – a contribué à populariser la notion de *développement durable* et à sensibiliser l'opinion publique aux problèmes écologiques mondiaux, problèmes auxquels le transport, et notamment la dépendance à la voiture, participe activement. Les effets nuisibles sur la santé corrélés à la pollution de l'air mais aussi à la sédentarisation sont également au cœur des discussions. Pour

exemples, quelques chiffres publiés sur le site du ministère français de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer^V révèlent que la pollution de l'air ambiant est la conséquence d'environ 42 000 décès prématurés par an (pour l'année 2005), de 20 à 30 milliards d'euros de dépenses liées aux dommages sanitaires causés par les particules ou encore de plus de 20 % de la population atteinte d'une allergie respiratoire. Aux Etats-Unis, une étude de Lawrence Frank *et al.* [2004] révèlent que l'augmentation du temps passé à conduire associé à un comportement sédentaire contribue à augmenter les risques d'obésité. D'autres études montrent également que la présence de trafic motorisé dense représente aussi un facteur d'influence sur la qualité de vie des urbains (état de santé médiocre, taux de dépression plus élevé) [Gee et Takeuchi, 2004].

Développer des alternatives à la voiture individuelle au service d'une « ville durable »

L'effet de dépendance à la voiture individuelle interroge, par ailleurs, la place des autres modes dans les déplacements quotidiens. Comment proposer des solutions concurrentielles alors qu'il s'agit d'un des modes les plus flexibles ? Si des études en milieu intra-urbain ont d'ores et déjà démontré que le recours à la voiture individuelle n'est pas toujours la solution la plus rapide (congestion, problèmes de stationnement) [Mühll, 2004], ne faut-il pas également réfléchir aux moyens de changer les comportements de mobilité au quotidien pour promouvoir des modes concurrentiels ? A cet effet, l'adhésion à un idéal-type qui utiliserait différents modes dans ses chaînes de déplacement requiert non seulement d'avoir un certain nombre d'informations à disposition (horaire, itinéraire, disponibilité, etc.) pour optimiser son trajet mais aussi de concevoir le temps consacré au déplacement comme un moment privilégié pour effectuer une expérience sensorielle ou une activité physique. Afin de pallier à ces problèmes, différentes stratégies mêlant urbanisme, aménagement, transport et environnement ont été mises en place à diverses échelles telles que le programme paneuropéen Transport, Santé et Environnement (The PEP) au niveau européen (2015), le rapport *mobilité 21* pour un schéma national de mobilité durable en France (2013) ou encore la stratégie globale pour une Mobilité Durable (MoDu) au Luxembourg (2012). En outre, de nombreuses recherches proposent des réflexions sur la ville et la mobilité [Brun, 2013 ; Newman et Kenworthy, 1999 ; Banister, 2008 ; Amar, 2010]. David Banister [2008] suggère, par exemple, que le paradigme de mobilité existant devrait être plus flexible, en particulier pour que la *mobilité durable* devienne une réalité à l'ordre du jour. Cet auteur fait valoir que si les mesures politiques pour améliorer la durabilité urbaine en matière de transports sont déjà disponibles, ce sont les conditions nécessaires au changement qui sont réellement le défi principal. Ces conditions sont dépendantes de la mise en œuvre de programmes novateurs de haute qualité et de la nécessité de gagner la confiance du public ainsi que son accord pour appuyer ces mesures par le biais de participations actives et d'actions. Ainsi, au-delà

^V Site du ministère de français de l'Environnement, l'Energie et la Mer, consulté le 07/04/2016 : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-impacts-de-la-pollution-de-l,45807.html>

d'une demande dérivée, le déplacement doit également être considéré comme une activité que les individus souhaitent entreprendre pour elle-même. Si le temps de déplacement doit en effet être optimisé pour se rendre au travail, le trajet peut également devenir une activité positive en soit [Loo et Chow, 2006 ; Mokhtarian *et al.*, 2006].

La marche, un mode incontournable pour une mobilité durable et fonctionnelle

Dans ce contexte, la marche, notamment en milieu intra-urbain, apparaît comme une des mesures incontournables au développement d'une mobilité durable et fonctionnelle. Ecologique, économique et favorable à la santé, la marche est, en effet, un mode accessible à tous au quotidien qui non seulement crée un lien entre les autres modes de déplacement mais offre également une relation privilégiée avec l'environnement qui l'entoure. Pour George Amar [2010 : p. 174-175], la marche est à considérer « comme le liant ou le *fond de sauce* qui permet d'accommoder les autres modes. C'est elle qui, bien organisée, a le pouvoir de démultiplier leur efficacité en les articulant les uns aux autres et avec le tissu urbain. Par analogie avec la biologie, on pourrait dire que la marche est la cellule souche de la mobilité, source de toutes les formes ultérieures de déplacement, et constamment dotée d'un potentiel d'adaptation et de réparation, d'innovation et d'amélioration ». Dans le cadre des déplacements intra-urbains quotidiens, identifier et localiser des environnements urbains favorisant la pratique de ce mode se révèle dès lors un excellent moyen de promouvoir l'utilisation de modes complémentaires et durables en concurrence de l'utilisation de la voiture individuelle [Cervero et Duncan, 2003 ; Southworth, 2005 ; Lo, 2009].

Promouvoir la marche dans une ville calibrée pour l'automobile

Toutefois, l'omniprésence des infrastructures de transport en ville contribue largement au morcellement du tissu intra-urbain [Héran, 2010 ; Zembri, 2002]. Pour Frédéric Héran [2013 : p. 160], « c'est autant l'excès de voirie que son défaut qui créent des discontinuités dans le tissu urbain ». Les coupures sont non seulement provoquées par les grandes infrastructures de transport mais aussi par de grandes emprises infranchissables (stades, gares de triage, casernes, parcs urbains fermés la nuit, etc.). Outre la présence de *macro-coupures* (coupures linéaires, barrières de trafic, voiries impraticables, coupures surfaciques, etc.), les usagers non motorisés sont également confrontés à de nombreuses *micro-coupures* (mobilier urbain, voitures ou deux-roues en stationnement illicite, étalages, chicanes, etc.). Lorsque l'adéquation entre l'aménagement des espaces et la demande de l'utilisateur s'avère inexistante ou lorsque ce dernier éprouve des difficultés à mobiliser et à s'approprier les aménagements du lieu, la pratique de la marche urbaine peut alors conduire à des situations de restrictions d'accès à l'espace pouvant être imperceptibles pour certains, mais insurmontables pour d'autres [Thomas, 2003a ; Minaire, 2012 ; Lanteri *et al.*, 2005 ; Bodin, 2007]. *L'objectif de cette recherche doctorale est fondé sur le principe que, pour réintroduire le piéton dans une ville dont la morphologie n'est plus fonction de ce mode, l'environnement doit être capable d'accueillir une grande diversité d'usagers et de satisfaire un ensemble de*

critères que recherchent ces derniers lors de leurs déplacements et ce, quel que soit le contexte.

Pour que les conditions favorables à la marche en ville soient réunies, les caractéristiques physiques de l'usager nécessaires au déplacement piéton doivent ainsi être avant tout en adéquation avec les éléments et propriétés de l'environnement pouvant influencer ce dernier. *En effet, nous supposons qu'il n'y a pas un individu, mais des individus aux caractéristiques variées dont les profils de mobilité pédestre forment un continuum, ce qui requiert de s'intéresser aux interrelations usagers-environnement.* Celles-ci sont fondées sur un système attraction-répulsion incitant à emprunter un parcours plutôt qu'un autre. Les éléments de l'environnement peuvent alors alternativement former des axes favorables au déplacement ou développer des stratégies d'évitement en fonction du contexte de déplacement et des caractéristiques physiques, mentales et cognitives de l'usager. *Dès lors, afin de garantir une ville propice à la marche, support aux mobilités quotidiennes, comment tenir compte des spécificités de chacun et des situations qui peuvent influencer les déplacements piétons ?* Plus spécifiquement, il s'agit donc d'envisager dans différents contextes de déplacement, non seulement les spécificités des usagers (motricité, caractéristiques physiques, etc.) mais aussi celles de l'environnement (type de voirie, propriétés). Toutefois, l'adéquation entre les spécificités et les situations relevant du cas par cas, la mise en place d'un support d'aide à la décision destiné aux usagers piétons et aux aménageurs urbains peut alors apporter une solution de modélisation, d'analyse et de visualisation des informations nécessaires aux itinéraires piétons à travers l'utilisation d'un système d'information géographique (SIG). A partir d'un état de l'art pluridisciplinaire sur la marche intra-urbaine, le développement d'une méthodologie visant à mettre en place un modèle de déplacement piéton est suggéré de manière à proposer des préconisations d'itinéraires, d'une part et des diagnostics de la capacité d'un espace à favoriser la marche, de l'autre. L'originalité de ce modèle consiste à orienter la collecte de données et les analyses de manière à inclure les profils de mobilité (vitesse et motricité) d'une grande diversité d'usagers. Cette démarche inclusive offre alors la possibilité d'identifier des situations d'inégalités, d'accessibilité et de capacité des espaces à répondre à une demande diversifiée.

Plan de thèse

Notre objectif dans cette recherche est de proposer une méthode apte à offrir des réponses à ces questions. Pour cela, il est nécessaire dans une *première partie* d'effectuer un retour conceptuel sur les contextes favorables à la marche en ville au regard de la relation usagers-environnement. *Explorer l'évolution du statut de la marche et des piétons au sein du milieu intra-urbain permet alors d'identifier la demande en matière d'accessibilité et de configurations urbaines favorisant ce mode.* Après avoir défini les principes et les enjeux de la marche dans un contexte contemporain, les pratiques de mobilité pédestres sont

explorées à travers des variables interindividuelles^{VI} telles que l'âge, le genre ou encore la vulnérabilité. Les caractéristiques impliquées lors de la pratique de la marche sont ensuite recensées afin de saisir d'éventuelles variables individuelles (déficience, état de santé) ayant une influence sur les interrelations entre l'utilisateur et l'environnement. Celui-ci quand il est urbain, peut alors être envisagé du point de vue des usagers piétons afin d'identifier non seulement les configurations facilitant ou contraignant les déplacements pédestres en matière d'accessibilité mais aussi celles favorisant la marche en paraissant attractives.

La *deuxième partie* se consacre au développement d'une méthodologie pour la mise en place d'un modèle de déplacements piétons urbains en utilisant un système d'information géographique (SIG). *A partir d'une revue de l'existant en matière d'utilisations de SIG modélisant les déplacements piétons et/ou proposant des diagnostics de configurations favorables à la marche, notre modèle part du postulat que, si le processus de création d'un réseau pédestre urbain est générique, les données collectées se doivent d'être spécifiques au terrain pour tenir entièrement compte des interrelations usagers-environnement.* De cette façon, il est possible de s'adapter aux normes et lois en vigueur dans le pays étudié, aux pratiques socio-spatiales de déplacements de ses habitants et aux capacités motrices de l'individu. La création du modèle de déplacements piétons peut être décomposée en trois étapes. Premièrement, la construction d'un « réseau pédestre » permet de représenter les voies empruntées par les piétons lors de leurs déplacements sous la forme de segments élémentaires interconnectés, découpés à chaque carrefour, et respectant la topographie. Deuxièmement, une typologie théorique de voies pédestres s'associe à la réalisation d'un audit urbain sur la capacité d'un espace à faciliter la marche afin d'adapter le réseau à un terrain spécifique. Troisièmement, le modèle de déplacements piétons urbains est configuré et validé par la mise en place d'une enquête auprès d'utilisateurs piétons sur leurs habitudes de déplacements et les éléments de l'environnement qui influencent leurs itinéraires en fonction de leurs caractéristiques intrinsèques. Une fois le modèle créé, des méthodes synthétiques et reproductibles d'évaluation de la capacité d'un espace à favoriser la marche pour une grande diversité d'utilisateurs piétons peuvent être développées. Elles permettent ainsi d'analyser le potentiel d'un milieu intra-urbain à promouvoir la marche dans le cadre des mobilités quotidiennes.

Enfin, la *troisième partie* propose une application concrète du modèle et des méthodologies d'analyse sur la ville de Luxembourg, véritable laboratoire urbain doté d'une topographie contrastée et d'aménagements urbains diversifiés. *Une analyse de la capacité du réseau pédestre à permettre un accès physique mais aussi à garantir des aménités proches et diversifiées conduit à évaluer si un*

^{VI} L'utilisation des termes « variable interindividuelle » et « variable individuelle » est une adaptation de celle proposée par Raphaël Lanteri *et al.* [2005 : p. 9], dans un rapport du Certu : « L'utilisateur est caractérisé par des variabilités interindividuelles (qui conduisent à faire des classes d'âge, de taille, de niveau culturel) et par des variabilités intra-individuelles (chacun évolue au cours du temps) ». Nous concevons ici une *variable individuelle* comme une caractéristique intrinsèque de l'individu alors qu'une *variable interindividuelle* utilise un référentiel permettant de former des catégories d'utilisateurs.

espace est capable d'accueillir équitablement une grande diversité d'usagers piétons. A cet effet, le recueil de *paroles habitantes* sur leurs déplacements piétons offre de nombreuses informations sur les pratiques de mobilité pedestre et sur les perceptions de l'environnement en fonction du contexte (objectif, état de santé, seul ou accompagné, etc.). Ces dernières permettent d'affiner l'analyse et les configurations du modèle de déplacement. Un *focus* est ensuite effectué sur la présence de coupures urbaines (*macro-* et *micro-*) sur le territoire et leurs conséquences sur l'accessibilité au réseau pedestre selon les usagers. Pour finir, des *scenarii*, basés sur divers profils de mobilité pedestre et différents types d'espaces, évaluent la capacité du centre-ville à promouvoir la marche.

Première partie

DE LA MARCHE AU DEPLACEMENT
PIETON

Introduction

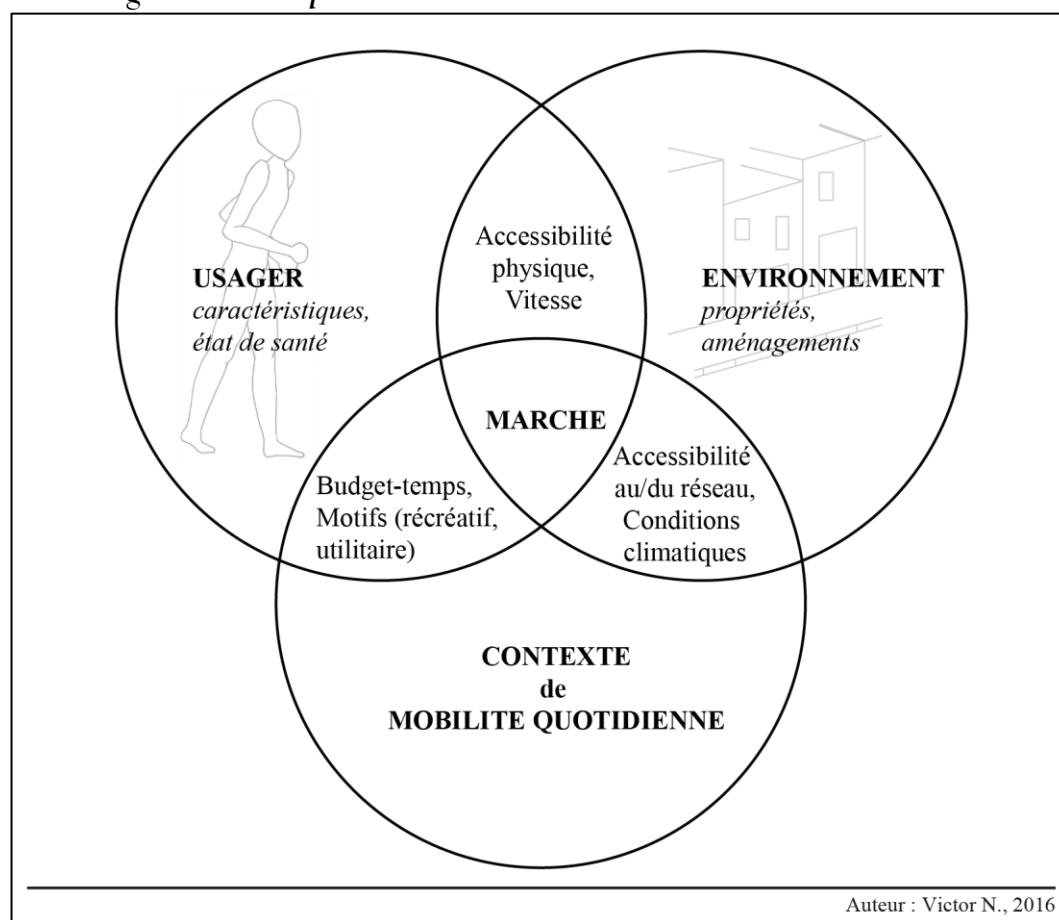
Le choix modal de la marche est ambigu en étant voulu et/ou subi. Gratuit, le recours à ce mode de déplacement est, en effet, régulièrement considéré par autrui comme une simple alternative à l'incapacité d'emprunter d'autres modes, autrement dit *choisi par défaut*. Toutefois, les modes dits « actifs » (piéton, vélo, etc.) peuvent également être un choix consenti, associés à une planification des activités favorisant la qualité sensorielle au détriment du temps de déplacement [Kaufmann *et al.*, 2003]. Dans ce contexte, ces modes ont généralement un usage multi-utilitaire. Il s'agit, entre autres, de rejoindre un lieu tout en exerçant une activité physique ayant un impact positif sur la santé, comme « marcher au moins 30 minutes par jour » [OMS, 2012], mais aussi avoir un temps de pause et de réflexion dans sa journée pour se rassembler [Le Breton, 2000 ; Solnit, 2000]. La marche est aussi un mode de déplacement en soi qui a la particularité d'imposer à son usager une interaction directe avec son environnement. Acte du quotidien, elle s'effectue dans des lieux variés : espaces publics (rue, parc, etc.), espaces privatifs (chez soi), voire à l'intérieur de certains modes de transport (bus, train, etc.). Du point de vue des politiques publiques et d'aménagement, la marche fait son retour par l'intermédiaire d'actions spécifiques comme les plans piétons (Plan Iris 2 à Bruxelles, Plan directeur des chemins pour piéton(nes) à Genève, etc.), tandis que pour les opérateurs de transport, elle apparaît comme un liant entre divers modes [Amar, 2010]. Ces différentes actions de promotion de la marche impliquent un regain d'intérêt pour son étude, en tant que mode de déplacement en soi [Lévy, 2005]. Cette nouvelle attention pour un acte considéré comme banal et naturel s'inscrit dans une politique plus générale de promotion de l'activité physique au quotidien pour contribuer à la santé publique (lutte contre l'obésité, vieillissement en bonne santé, etc.). Placée au rang de priorité publique par l'OMS [2004], elle doit permettre de lutter contre certains maux de la société contemporaine, à savoir la sédentarité et l'alimentation trop riche. De surcroît, la marche est également considérée comme un atout écologique permettant de promouvoir le bien-être [Rogers *et al.*, 2010]. Ce regain d'intérêt pour la marche amène donc à repenser sa place dans les pratiques de mobilité urbaine.

En outre, à l'heure où les espaces publics doivent être organisés de manière à permettre une accessibilité totale aux personnes handicapées (convention ONU, 2006 ; loi luxembourgeoise du 29 mars 2001, loi française n°2005-102), les mesures proposées pour améliorer la mobilité des usagers doivent dorénavant satisfaire les attentes du « plus grand nombre » en tenant compte des spécificités de chaque personne et non selon « une moyenne » ou toute autre normalisation

statistique [Lanteri *et al.*, 2005 : p. 8]. Au-delà de la déficience physique seule, le handicap peut, dès lors, être perçu comme un « dysfonctionnement ou une gêne fonctionnelle face à une situation du moment » [Rabischong, 2008 : p. 66]. En ce sens, la *Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé* de l'OMS [2012 : p. 135] considère que les « facteurs environnementaux doivent être codés du point de vue de la personne dont on veut décrire la situation ». En conséquence, afin d'étudier la capacité de déplacement d'un usager pour une situation limitée ou un ensemble de situations, il faut se concentrer sur l'étude de l'homme fonctionnant dans son milieu habituel [Minaire, 2012 : p. 217] et, plus particulièrement, sur la relation entre l'homme et son milieu urbain à un instant *t*. La mise en relation entre caractéristiques physiques des personnes et facteurs environnementaux apparaissant alternativement comme facilitateurs ou obstacles au déplacement fournit alors la clef de la définition d'un « handicap de situation ». Celui-ci se révèle lorsque « l'adéquation entre l'aménagement des espaces et la demande de l'usager s'avère inexistante ou lorsque ce dernier éprouve des difficultés à mobiliser et s'approprier les aménagements du lieu » [Thomas, 2003a : p. 239].

A ce titre, la marche implique un *continuum d'interrelations* entre usagers et environnement selon le contexte de déplacement (cf. figure 1). Ce *continuum* s'exprime par un ensemble de mesures (temporelles, énergétiques, métriques) que peut prendre la grandeur d'un trajet piéton et dont les variations sont continues selon l'interrelation usagers-environnement s'exprimant à travers des caractéristiques physiques, d'une part et des propriétés de l'environnement, de l'autre.

Figure 1 : *Conceptualisation de la marche en milieu intra-urbain*



Cette première partie propose de présenter les concepts de *marche* urbaine, de *piéton* et d'*environnement urbain* de manière à saisir ces interrelations ainsi que les enjeux qu'ils représentent sur la pratique de ce mode.

En effet, bien plus qu'une simple alternance rythmée de pas, la marche apparaît à la fois comme un mode de déplacement en soi, intermodal ou complémentaire, mais aussi comme une pratique individuelle et une façon d'expérimenter le monde qui nous entoure. Le chapitre 1 propose ainsi une réflexion au sujet du terme *marche* abordé par de multiples définitions selon les périodes et les domaines d'étude. Une définition contemporaine de la marche permet dès lors de reconsidérer sa place dans notre société et dans les politiques d'aménagement urbain. A cet effet, la marche est abordée de manière conventionnelle puis thématique en s'intéressant tout particulièrement à la marche urbaine et son implication dans les comportements de mobilité.

Par ailleurs, nous verrons que la définition commune du mot « piéton » ne permet pas de retranscrire complètement l'existence d'un continuum d'interrelations entre les piétons et l'environnement urbain où les usagers ont leurs propres caractéristiques et peuvent utiliser toutes sortes d'aides à la marche (chaussures, fauteuil roulant, canne, déambulateur, etc.). Le chapitre 2 se concentre ainsi plus spécifiquement sur le sens du terme *piéton* et sa place dans les études de mobilité et d'accessibilité. A l'instar de la marche, adopter une définition contemporaine des piétons permet de tenir compte d'une grande

diversité d'usagers et de l'ensemble des variables interindividuelles et individuelles qui peuvent influencer la pratique de la marche. Pour cela, le recours à des profils sociodémographiques (âge, genre, catégorie socioprofessionnelle) ne pouvant complètement expliquer la relation entre les usagers et l'environnement, les fonctions physiques et psychologiques suscitées dans la pratique de la marche sont alors abordées.

Enfin, ce continuum d'interrelations peut révéler des situations d'inadéquations entre les caractéristiques physiques de l'usager et les propriétés de l'environnement qui l'entourent. De ce fait, le chapitre 3 aborde l'environnement urbain du point de vue de l'usager. Saisir les aménagements urbains favorables (ou non) aux déplacements piétons offre alors un moyen d'aborder les cas d'inadéquations potentielles entre les usagers piétons et l'environnement. A cette fin, le point de vue des usagers piétons est évoqué à travers les concepts de représentation spatiale, de chemins piétonniers et d'accessibilité.

L'exploration de ce *continuum* d'interrelations converge finalement vers la définition d'un concept additionnel, le *déplacement piéton* en fonction des interrelations entre les usagers et l'environnement urbain.

Chapitre I.

La marche : action ou concept ?

Marche :

Trace : marches de cerf, de loutre ; *Action de marcher* : ambulation, déambulation. *Ce qui concerne la marche* : ambulatoire ; *Faire de la marche* : marche à pied, marche rapide ; *Façons de marcher* : accélérer sa marche, ralentir sa marche, marche lente, marche rapide, faire marche arrière, reculer ; *Action de se déplacer en marchant* : cheminement, poursuivre sa marche, course, excursion, promenade, randonnée ; *Trajet à parcourir* : de longues marches dans le désert, une petite marche de vingt minutes ; *Mouvement de personne, d'animaux* : cérémonial qui règle la marche d'un cortège, marche de protestation, conduire, ouvrir la marche, clore, fermer la marche, la marche d'une armée en campagne, marche en colonne, marche au pas cadencé, marche forcée.

Marcher :

« *fouler aux pieds* » ; du francique *markon* « marquer, imprimer le pas », *marcher* s'est employé transitivement en ancien français au sens de « parcourir une zone ».

Dictionnaire culturel en langue française [Rey, 2005]

La définition classique de la *marche* consiste en l'*action de marcher*, c'est-à-dire *fouler aux pieds*, *imprimer le pas*. La marche est ainsi ancrée dans l'action, faite de rythmes (*accélérer*, *ralentir*, *marcher à pas cadencé*, *marcher au pas*) et de vitesses différenciées (*marche lente*, *marche rapide*), elle peut alternativement être contrainte et codifiée (*marche en colonne*, *en cortège*, *marche militaire*) ou libre (*déambulation*, *flânerie*). Si la marche permet d'atteindre une destination, elle peut également être un loisir où l'objectif n'est pas forcément la destination mais sa pratique en elle-même (*promenade*, *randonnée*, *marche rapide*, *marche nordique*). Au-delà de l'action, la définition de la marche peut également se révéler plus conceptuelle. Elle peut représenter des mouvements de personnes ou d'animaux

(*traces*) ou encore devenir un symbole social (*marche de protestation, cérémonial*). Elle peut également symboliser un trajet à parcourir (*de longues marches dans le désert, une petite marche de vingt minutes*). Enfin, non seulement la définition de la marche est diverse mais elle évolue également selon les époques. ***Nous considérons ainsi que la marche relève plus du concept que de la simple alternance de pas.*** Afin de saisir les nombreuses facettes de la marche, nous définirons dans un premier temps la marche et son rôle au fil des époques. Puis, dans un second temps, nous resituerons son rôle et ses implications dans le contexte contemporain.

1. La marche : moyen, mode de déplacement ou pratique ? Du moyen de déplacement naturel et universel au concept de « marche »

La *marche* est le tout premier moyen de déplacement depuis que l'homme utilise ses pieds. Moyen naturel et inné de se déplacer, ce n'est que très récemment qu'elle est représentée comme un mode de déplacement parmi d'autres. Mais est-ce vraiment le cas ? Par sa lenteur et le contact direct à l'environnement qu'elle engage, la marche offre le temps de l'observation et d'une expérience sensorielle. Elle est un mode « doux » pour l'environnement et sa pratique implique une activité physique favorable à la santé qui peut même se convertir en activité sportive en certaines occasions (marche rapide, randonnée, marche nordique). Au même titre que le vélo, la marche est donc à la fois un mode utilitaire et un loisir. En outre, si elle permet de rejoindre une destination, elle peut également s'en dispenser. Elle laisse alors libre cours à la flânerie et aux déambulations qui offrent un support actif de méditation, largement plébiscité par les écrivains et les artistes. Enfin, en milieu urbain, la marche dépend largement d'un contexte social, culturel et de systèmes de représentations sociales. Par ailleurs, si elle implique une certaine urbanité, elle peut également être une forme militante de revendications animant des mouvements collectifs (manifestation, marche du silence, marche blanche).

Au final, la marche est ainsi tantôt un moyen, un mode ou une pratique.

A travers l'exploration des nombreuses facettes attribuées à ce terme, nous partirons d'une définition classique de moyen de déplacement naturel et universel pour aboutir à un concept : la *marche*.

1.1. Du moyen naturel au mode de déplacement

La marche est à l'origine l'apanage des bipèdes qui se caractérise, chez l'homme, par une anatomie particulière du pied et une marche par enjambées.

La marche peut ainsi « se définir comme le procédé de locomotion qui permet au sujet debout de se déplacer par le biais d'un mouvement rythmique alterné d'avancement de chacun des deux membres inférieurs dans le sens de la progression. L'individu repose donc alternativement sur les deux pieds, puis sur un seul. La permanence de l'appui d'au moins un des membres inférieurs est un caractère fondamental de la marche et permet de la distinguer de la course (celle-ci aligne une succession de bonds qui privent momentanément le sujet de tout contact avec le sol) ».

[Benichou et Libotte, 2002 : p. 54]

La marche résulte d'une activité musculaire, induite à partir d'informations sensibles et sensorielles, l'ensemble étant géré par le cerveau. Il y a deux millions d'années, la libération des membres avant a permis progressivement la manipulation d'outils tout en marchant. En conséquence, la marche est devenue un moyen de déplacement par lequel l'homme projette son action. La marche est ainsi longtemps restée l'unique moyen de déplacement de l'homme auquel peut être ajoutée une forme dérivée plus rapide, la course. Elle est universelle : chacun d'entre nous l'accomplit à sa manière, à son rythme et selon sa morphologie. En outre, pour Jean Benichou et Marc Libotte [2002 : p. 279], elle résulte plus d'un apprentissage que de réflexes innés et aboutit à l'acquisition d'une démarche propre à chacun – attitude de la nuque, position des mains, balancement des bras, façon d'attaquer le sol du pied, de le quitter, etc.

Jusqu'en 1820, la quasi-totalité des déplacements humains était effectuée avec une lenteur relativement commune [Ollivro, 2000 ; Marchetti, 1991 ; Zembri, 2002]. Pour Jean Ollivro [2000 : p. 11], cette lenteur moyenne était conséquente à des modes de déplacements effectués à une vitesse « animale », sans forcer, tels que la marche ou les transports équestres individuels (monture) ou collectifs (traction hippomobile) pour les classes les plus aisées et certains services spécifiques (poste, pompier). Deux périodes vont ensuite révolutionner nos modes de déplacement selon Pierre Zembri [2002] : la première entre 1820 et 1880 avec l'invention de la machine à vapeur et le développement des chemins de fer et la seconde entre 1880 et 1950 avec l'apparition des transports dotés de systèmes de traction électrique et des véhicules dotés d'un moteur à explosion. Ce sont « les transports urbains, rendus nécessaires par une dissociation croissante entre habitats et lieux de travail, qui furent les premiers bénéficiaires du développement de moteurs électriques avec la construction de tramways puis de métros » [Zembri, 2002 : p. 257]. Parallèlement, l'invention du moteur à explosion a permis l'émergence du transport individuel et de stratégies autonomes de localisation des ménages. Les premières automobiles font leur apparition à la charnière entre le XI^e et le XX^e siècle mais leur production de masse intervient plus tardivement (vers 1920 aux Etats-Unis, vers 1930 en Europe). Pour Jean Ollivro [2000 : p. 21], l'avènement de la mécanique a considérablement bouleversé les rapports distance-temps avec l'essor de la rapidité différenciée. En l'espace d'un siècle, le développement des réseaux infrastructurels a eu pour conséquence de décupler les distances accessibles – avant cette date, personne n'avait atteint 100 km/h. Par exemple, un retour sur l'évolution historique de la ville de Berlin, proposé par Cesare Marchetti [1991], permet de constater que lorsque « tout le monde allait démocratiquement à pied, la limite était à 2 kilomètres du centre (1815). Elle est passée à 3 avec les trams à chevaux (1860), à 7 avec les trams électriques, à 16 avec les trains urbains – le métro – (1925), et à 20 avec la voiture » [Marchetti, 1991 : p. 21]. Au-delà du bouleversement individuel, l'apparition de la possibilité de voyager à des vitesses différenciées a ainsi conduit à une transformation profonde des déplacements. Toutefois, c'est véritablement avec le développement extraordinaire de la voiture dans les années 1970/80, permettant le quasi-porte-à-porte, que s'est opéré un réel déclin de la marche et plus généralement des modes doux (marche, vélo). Entre 1982 et 1994,

les Enquêtes Nationales Transports et Déplacements (ENTD) ont montré des évolutions assez marquées, comme l'illustre le tableau I-1 avec une augmentation de l'utilisation de la voiture de 15 points contre une diminution de la marche de 11 points. La part modale de la marche est néanmoins sous-estimée puisque les séquences de rabattement pédestre d'un mode vers l'autre ne sont, en général, pas prises en compte dans ce type d'enquêtes [Julien et Carré, 2003 : p. 88].

Tableau I-1 : *Evolution des parts modales de déplacements en semaine en France*

	Marche (%)	Voiture (%)	Transport collectif (%)	Vélo (%)	Deux-roues motorisées (%)
1982	34,1	48,8	8,6	4,5	4,2
1994	23,2	63,5	9	2,9	1,4
2008	23,1	64,3	8,3	2,6	1,6
Sources : Solere et Papon, 2010 : p. 18, d'après les Enquêtes Nationales Transports 1981-1982, Transports et Communications 1993-1994 et Transports et Déplacements 2007-2008					Mise en page : Victor N., 2015

Dès lors, citée occasionnellement dans les enquêtes sur les transports, la marche est assimilée à un *mode* comme les autres sur le même plan que le train, le bus ou la voiture alors que, de tous les modes de déplacement, c'est le seul qui ne résulte pas uniquement d'un choix modal [Julien et Carré, 2003 : p. 87 ; Lo, 2009 : p. 146]. De *moyen de déplacement* universel et naturel, la *marche* est ainsi considérée comme un *mode de déplacement* parmi tant d'autres pour se rendre à destination.

La marche s'inscrit, en France, parmi les modes dits « doux ». L'adjectif est utilisé par les aménageurs depuis les années 1990, pour faire référence à l'impact sur l'environnement des moyens de déplacement non motorisés comme la marche, le vélo mais aussi les rollers, la trottinette ou le skateboard. Ce terme francophone n'est toutefois que peu utilisé par les pays anglo-saxons qui lui préfèrent d'autres appellations, plus orientées vers la santé et l'activité physique, telles que *active mode/active transportation/active mobility*^{VII} [Litman, 2015 ; Milward *et al.*, 2013 ; Song et Preston, 2013 ; Frank *et al.*, 2006 ; Sallis *et al.*, 2004], *non-motorized travel* [Iacono *et al.*, 2010 ; Cervero et Duncan, 2003 ; Saelens *et al.*, 2003] ou encore parfois *human-powered travel or mode* [Owen *et al.*, 2004]. Certaines de ces appellations, telles que mode actif ou encore mode non motorisé, se retrouvent également dans la littérature francophone.

Quoi qu'il en soit, ces dernières décennies, les politiques, aménageurs et spécialistes de la santé de nombreux pays voient dans ces modes doux ou/et actifs une alternative à la dépendance automobile apportant une solution aux problèmes environnementaux (lutte contre la pollution et les congestions) et sanitaires (lutte contre l'obésité et les problèmes cardio-vasculaires) [Gatrell, 2011 ; Amar, 2010 : p. 64 ; Mühlh, 2004 : p. 209]. Diverses politiques d'aménagement et de promotion de ces modes ont ainsi été mises en place. En France, par exemple, si la planification

^{VII} Voir aussi au Canada : <http://en.forumviesmobiles.org/marks/active-mobility-2890> ; en Australie : https://infrastructure.gov.au/infrastructure/pab/active_transport/files/infra1874_mcu_active_travel_report_final.pdf ou encore aux Etats-Unis : <http://www.activetrans.org/>

urbaine a fait la part belle aux engins motorisés depuis les années 1980, une réintégration des modes doux réapparaît dans les plans d'urbanisme et plus particulièrement de la marche avec la création de plans piétons (aires piétonnes, zones de circulation apaisées) ou encore de « zones de rencontre » (zones à priorité piétonne ouverte à la circulation de l'ensemble des usagers et dans laquelle la vitesse est limitée à 20 km/h) [Offner, 2003 : p. 378-379 ; Solere et Papon, 2010 : p. 16]. L'Amérique du Nord, quant à elle, a mis en œuvre de nombreuses politiques urbaines de manière à promouvoir la pratique des modes actifs comme le programme « *Walk Friendly Communities*^{VIII} » (WFC, 2012) ou encore les politiques dites *active living*^{IX} [Economos *et al.*, 2015].

La *marche* en tant que *mode de déplacement* est ainsi définie par plusieurs facettes en étant à la fois un *mode doux, non-motorisé* et donc non polluant, mais aussi un *mode actif*, favorable à la santé.

1.2. La marche, flânerie et déambulation : une pratique sensorielle et un support d'observation

Parallèlement, largement plébiscitée par les écrivains et les artistes tels que Bashô, William Wordsworth, Jean-Jacques Rousseau, François-René de Chateaubriand, Etienne Pivert de S nancour ou encore Arthur Rimbaud [Hue, 2010], la *marche* est également considérée comme une *pratique sensorielle* sous la forme d'une méditation active [Le Breton, 2000 ; Solnit, 2000 ; Lévy *et al.*, 2007]. Elle « permet de reprendre son souffle, d'affûter ses sens, de renouveler sa curiosité. La marche est souvent un détour pour se rassembler » [Le Breton, 2000 : p. 11]. En ce sens, la *marche* permet d'être dans nos corps et dans le monde sans s'en préoccuper. Elle nous laisse libre de penser sans être totalement perdu dans nos pensées [Solnit, 2000 : p. 5]. En tant que *pratique*, elle peut alors prendre la forme d'une pause dans la journée ou d'une activité en soi (promenade, flânerie) sous la forme d'un trajet planifié ou de déambulations. Pour David Le Breton, la marche est un acte de résistance aux rythmes de la vie contemporaine :

« Anachronique dans le monde contemporain qui privilégie la vitesse, l'utilité, le rendement, l'efficacité, la marche est un acte de résistance privilégiant la lenteur, la disponibilité, la conversation, le silence, la curiosité, l'amitié, l'inutile, autant de valeurs résolument opposées aux sensibilités néolibérales qui conditionnent désormais nos vies ».

[Le Breton, 2012 : p. 17]

Tout comme manger ou respirer, elle peut ainsi être investie de significations culturelles très différentes, de l'érotique au spirituel, de l'acte révolutionnaire à l'artistique [Solnit, 2000 : p. 3]. La marche peut également être subie. Au cours des siècles derniers, elle évoquait plutôt l'inconfort de la pluie et du soleil, les tempêtes, la fatigue, les ampoules, les chutes, etc. Elle est encore considérée, de nos jours,

^{VIII} <http://www.walkfriendly.org/index.cfm>

^{IX} <http://activelivingresearch.org/>

comme une contrainte pour les personnes ne disposant que de leur corps pour se déplacer et, lorsqu'elle est imposée, apparaît plutôt comme un signe de misère ou d'épreuve personnelle – sans-abris, clandestins, populations en fuite [Urry, 2007 : p. 65].

Toutefois, par sa lenteur et son contact direct avec l'environnement, la marche offre le temps de l'observation, du ressenti. L'errance de la marche imposée est parfois reprise en tant que support à la description de ce qui entoure le voyageur, dans la littérature [Hue, 2010 ; Lévy *et al.*, 2007 ; Gaillet-de-Chezelles, 2007 ; Rousseau, 1782]. La marche peut aussi être un support artistique sous la forme de flânerie, de déambulations, à la recherche de la proximité des choses du monde pour André Carpentier [2005], de la marche récréative pour Hendrik Sturm [2010] ou de hasards-objectifs pour André Breton [1960].

« La flânerie engage ainsi à conjuguer par la promenade des espaces publics, à y zigzaguer sans but, sans calcul, prémuni de son flair, de son acuité, de sa pleine subjectivité, de sorte à enclencher sa fonction de machine à percevoir, aussi à se cogner aux lieux, puisque le corps nous unit aux choses, comme l'écrit Merleau-Ponty ».

[Carpentier, 2005 : p. 16].

Elle est également utilisée par des sociologues et des philosophes afin de saisir la complexité des espaces urbains, des espaces vécus et des espaces conçus. Jean-François Augoyard [1979] incite par exemple au cheminement afin de saisir la coexistence des différentes instances impliquées dans la vie quotidienne à chaque moment de la déambulation. Pierre Sansot [2004] écrit, quant à lui, dans *Poétique de la Ville* :

« D'abord il faudrait que la ville nous concerne au point d'attendre d'elle quelque chose d'essentiel. Ensuite il faudrait que le message ait été brouillé, qu'il ne se donne pas immédiatement, qu'il faille le connaître au prix d'une expérience, le plus souvent d'une marche – et non d'une information théorique ».

[Sansot, 2004 : p. 73]

La *marche* est ainsi comprise comme une activité, un *support* sensible qui, par sa lenteur et sa relation directe avec l'environnement, engage le corps mais aussi la pensée et la perception.

1.3. La marche : un acte social contrôlé mais aussi parfois un acte militant

Comme le rappelle Abdelhakim Boumoud [2012 : p.369], la façon de marcher n'est pas simplement un ensemble de gestes physiques totalement naturels mais plutôt une disposition du corps acquise, une traduction ou une matérialisation d'un *habitus* social, d'un système de disposition durable, dont la construction dépend largement du contexte social, de la culture et des systèmes de représentations sociales.

Moyen, mode, pratique, support, la marche obéit, en effet, aux codes implicites de la vie sociale.

« Marcher, c'est forcément naviguer, observer et agir en même temps ; c'est ajuster son allure, sa direction, le contact physique avec l'environnement fait d'humains et d'objets, à l'occasion, penser aux salutations ou aux adieux, faire un mouvement de tête et, s'il s'agit de *marcher d'un même pas*, signaler tout changement de rythme. Bref, c'est produire des indices de son activité au moment même de son effectuation, cadrer et marquer son déplacement avec et pour ceux qui l'observent ».

[Joseph, 2000 : p. 18]

La marche, participant à la rencontre fortuite entre anonymes, constitue également un *mode d'urbanité*. Elle s'appuie à la fois sur le respect des règles de civilité en public, sur les qualités physiques et sensibles du cadre construit, sur les compétences motrices et perceptives du piéton, enfin sur les particularités du milieu social dans lequel celui-ci s'insère [Thomas, 2003a : p. 234]. Il s'agit donc de gérer les situations de coprésence, l'essentiel reposant sur la prise en compte de la teneur problématique des situations d'ajustement des territoires. Par exemple, Ervin Goffman [1971 : p. 11-12] observe, de la part des piétons en Amérique, des stratégies d'évitement reposant sur un processus d'externalisation (ou *body gloss*) de leurs intentions par un ensemble non conscient de gestuelles appropriées et le maintien d'un balayage visuel mettant à jour les positions des autres usagers, devant ou sur les côtés, afin de minimiser les ajustements. Ce balayage permet également aux piétons (acte plus fréquent chez les femmes) d'évaluer en fonction de l'apparence des autres usagers, un risque de confrontation afin de créer une zone de sécurité autour de soi. En d'autres termes, il s'agit de « comprendre ce qui gêne dans les empiètements subreptices des uns et des autres ou encore de découvrir les modalités d'organisation pratique et perceptive de la marche en groupe » [Thibaud *et al.*, 2008 : p. 17].

La marche peut également faire acte de revendication sociale (manifestation, marche des fiertés) ou d'hommage (marche blanche) sous la forme d'un phénomène collectif qui suppose une capacité d'organisation et de coordination [Favre, 2007]. Au cours d'un événement qui dure quelques heures, les participants marchent en rythme, selon un itinéraire prédéfini passant par des lieux chargés de symboles – bâtiments publics, sièges sociaux d'entreprises, lieux où se sont déroulés des événements marquants. Elle est anormalement lente, guidée par le souci de perturber l'ordre public et d'obtenir une couverture médiatique pour peser sur l'opinion publique, mais pas seulement, « certes, les manifestants seront déçus si les médias se taisent ou en disent trop peu mais cela ne les privera pas de la saveur si spécifique d'avoir « lutté ensemble » [Favre, 2007 : p. 195]. Dans ce contexte, elle engage des rythmes variables, faits de mouvements collectifs, d'arrêts et d'allers-retours dans le cortège pour retrouver des amis, de la famille.

La pratique de la marche peut donc se décliner sous diverses formes et apparaître à la fois comme un *moyen*, un *mode* de déplacement et même une *pratique*

pouvant s'exercer seul ou en groupe et dont la réalisation va à la fois dépendre de soi, d'autrui et de codes sociaux mis en place.

Au final, la diversité d'approches et la pluralité des domaines, des échelles et du vocabulaire utilisés ont fini par faire de la *marche* un concept qui reste à formaliser. Un état des lieux contemporain et interdisciplinaire, de Jean-Paul Thibaud *et al.* [2008 : p. 11-12], au sujet de la *marche*, permet d'en proposer une ébauche de définition. Le concept de *marche* est ainsi animé à la fois par la dimension physique et fonctionnelle du déplacement (mobilité et accessibilité urbaine), par la dimension esthétique du mouvement dans l'espace (art et littérature), par la dimension sociale de la mobilité urbaine (sociologie) et pour finir, par la dimension sensorielle et sensible du cheminement (ambiance, perception). Toutefois, ce concept évolue avec le temps, au contact des problématiques de la société, et nécessite donc de se replacer dans un contexte et une époque, en particulier pour l'étudier.

2. Contexte contemporain de la pratique de la marche en ville : intermodalité, déplacements quotidiens et temporalités

Depuis l'émergence de modes de déplacement toujours plus rapides, la part modale de la marche a été en constante diminution jusqu'à se stabiliser cette dernière décennie autour de 20-25 % dans les pays européens et 8 % dans les pays d'Amérique du Nord [Basset *et al.*, 2008 ; Solere et Papon, 2010]. Néanmoins, les dernières études de mobilité indiquent l'apparition d'un nouveau phénomène. Si les ménages ont toujours plus de voitures, ils les utilisent de moins en moins [De Solere, 2012a : p. 22]. La possession d'une voiture individuelle semble ainsi très bien se concilier avec l'utilisation d'autres modes de déplacement au quotidien qui peuvent se révéler plus pertinents dans certains cas pour l'individu et la collectivité. En outre, Newman et Kenworthy [2015] révèlent que les villes montrent dorénavant une utilisation de la voiture par pic (*peak car use*) et que le XXI^{ème} siècle assiste à la fin de la dépendance automobile. Si les réseaux ferroviaires urbains sont en plein essor, la marche et le vélo sont également à nouveau en augmentation dans de nombreuses villes. Une des explications avancées par les auteurs correspond à un phénomène d'inversement de l'étalement urbain au profit de centres-villes revitalisés attirant les jeunes à y vivre, travailler et jouer.

Si la pratique de la marche est encore régulièrement sous-évaluée dans les enquêtes de déplacement et de mobilité, il s'agit toutefois d'un mode de déplacement en soi qui est également nécessaire pour compléter et lier les autres modes de transport. La pratique de la marche dans un contexte contemporain dépend ainsi de l'objectif du trajet (utilitaire, loisir) mais aussi des choix modaux de l'usager. Liés aux pratiques de mobilité quotidienne de l'usager, ses choix peuvent varier selon sa culture (ex. nationalité, ethnie, etc.) mais aussi des habitudes spatiales et des routines qui, prises dans un programme d'activités journalières, nécessitent souvent des enchaînements spatiaux et modaux dans un temps limité. Les habitudes de mobilité piétonne changent également en fonction des âges de la vie, de la catégorie socioprofessionnelle des individus et des lieux de résidence et

d'activités (travail, école, loisir, commerce). Enfin, le choix modal peut également être conditionné par la perception de l'espace-temps nécessaire pour effectuer une action ainsi que par un ensemble de temporalités dans lesquelles s'inscrivent les pratiques de la marche qui peuvent être alternativement considérées comme ressources ou contraintes. *Dès lors, comment définir et identifier les nouveaux enjeux attenants au concept de marche dans le contexte contemporain ?* Nous proposons, à cet effet, de nous intéresser au choix modal à travers les pratiques de mobilité piétonne ainsi qu'à la relation usager-espace-temps.

2.1. La marche quotidienne : un mode de déplacement en soi, un liant entre d'autres modes et un mode de déplacement complémentaire

En tant que mode de déplacement, trois pratiques différentes de la marche contemporaine peuvent être identifiées : *exclusive*, *complémentaire* et *intermodale* (cf. tableau I-2).

Tableau I-2 : *Formes de la marche contemporaine*

Types de marche	Processus
Exclusive	
Complémentaire	
Intermodale	

Auteur : Victor N., 2015

La marche prend ainsi trois formes. Elle peut être un mode en soi utilisé *exclusivement* pour se rendre à une destination. Elle peut être additionnelle pour commencer et finir un déplacement majoritairement effectué avec un autre mode sous la forme d'une pratique *complémentaire*. Enfin, la marche apparaît également comme un liant entre d'autres modes permettant de passer de l'un à l'autre en tant que pratique *intermodale*. Toutefois, la part modale de ces types de marche est

encore difficile à estimer dans les trajets quotidiens. Celle de la marche *intermodale*, par exemple, demeure tout particulièrement absente des études de transport bien qu'elle représente un lien indispensable à l'utilisation de plusieurs modes de déplacement.

Pour George Amar [2010], la marche est, en effet, un mode de déplacement incontournable et ancré dans nos modes de vie. Il la dépeint comme « la cellule souche de la mobilité, source de toutes les formes ultérieures de déplacement » [p. 174]. « La marche s'invite, si l'on peut dire, dans tous les autres modes, et ce faisant, non seulement elle ne leur nuit pas (comme le ferait un parasite), mais elle leur fait du bien, en augmente l'efficacité » [p. 170]. Il s'agit, en effet, du mode qui se combine le plus aisément avec les autres et qui peut même parfois proposer des solutions hybrides comme les *pédibus*, à mi-chemin entre marche et transport collectif [Depeau, 2008 : p. 62]. Sonia Lavadinho et Yves Winkin considèrent, par ailleurs, que :

« D'un comportement centré sur les transports individuels motorisés, les urbains mobiles d'aujourd'hui se dirigent vers un usage de type occasionnel, à *la carte*, d'un bouquet de transports à prédominance durable dont le fil de transmission est sans conteste la marche. Agissant le plus souvent comme le chaînon manquant entre divers modes de transports, [...] elle est partout, interstitielle, et bien souvent se suffit à elle-même ».

[Lavadinho et Winkin, 2012 : p. 11]

La pratique de la marche diffère cependant selon les pays. Une comparaison des modes de déplacements utilisés en fonction de différentes nations, en Europe, en Amérique du Nord et en Australie, entre 1994 et 2007, offre un aperçu des pratiques modales en Occident (cf. tableau I.-3).

Tableau I-3 : *Modes de déplacement utilisés pour effectuer des trajets de courtes distances*

Mode Pays/Année	Marche (%)	Vélo (%)	Transport en commun (%)	Autres modes motorisés (%)
Allemagne (2002)	23	9	8	60
Autriche (2005)	21	4	17	58
Belgique (1999)	16	8	6	70
Danemark (2003)	16	15	8	61
Espagne (2000)**	35**		12	53
Finlande (2005)	22	9	8	61
France (1994)	19	3	8	70
Irlande (2006)*	13	2	11	74
Lettonie (2003)	30	5	32	33
Luxembourg (2007)*	9**		13	78
Suède (2006)	23	9	11	57
Suisse (2005)***	45	5	12	38
Norvège (2001)	22	4	10	64
Royaume-Uni (2006)	24	2	9	65
Canada (2001)*	7	1	11	81
Etats-Unis (2001)	9	1	2	88
Australie (2006)*	5	1	8	86
* Trajets domicile-travail seulement ; ** Marche et vélo combinés ; *** Les micro-trajets sont intégrés (à partir de 25 m et plus) pour la Suisse. Sources : Basset <i>et al.</i>, 2008 : p. 799 – Bureau australien de statistiques, Ministère autrichien des transports, Eurostat, Statistiques nationales du Canada, Ministère danois des transports, Ministère finlandais du transport et des communications, Ministère fédéral allemand des transports et du développement spatial, Office central des statistiques irlandais, Statistiques nationales des Pays-Bas, SIKa, Office fédéral pour le développement spatial et les statistiques suisse, Département des transports du Royaume-Uni, Département des transports des Etats-Unis ; Carpentier et Gerber, 2009 : p. 2 – PSELL-3/2007, CEPS/INSTEAD, STATEC				
				Auteur : Victor N., 2015

Il en ressort que ce sont les Européens qui ont le plus recours à la marche pour effectuer des trajets courts dans le cadre de déplacements quotidiens. Malgré la popularité de la marche pour la santé et la forme physique en Europe et en Amérique du Nord, les Européens semblent en effet plus susceptibles d'utiliser la marche à des fins utilitaires au quotidien (travail, école, courses de proximité, accompagnement, etc.) [p. 807]. Cette tendance s'explique en partie par des configurations de villes différentes où les centres historiques européens sont plus propices à la marche alors que la ville américaine classique est construite pour la voiture (cf. Los Angeles). Une autre raison réside dans le fait que posséder et utiliser un véhicule requiert également un coût beaucoup plus élevé en Europe [Basset *et al.*, 2008 : p. 795-796].

En France, la marche en ville est plutôt un support aux mobilités quotidiennes qui trouvent leurs origines dans les pratiques habituelles de déplacements en tant que mode de proximité (1800 mètres de distance journalière

en moyenne [Julien et Carré, 2003 : p. 91]). Vincent Kaufmann [2000] suggère que la mobilité quotidienne renvoie à des temps courts, récurrents, car non seulement répétitifs mais impliquant un retour quotidien à leur origine. A force de répétitions, elle finit par forger des habitudes spatiales et des routines qui, prises dans un programme d'activités journalières, nécessitent souvent une mobilité quotidienne complexe faite d'enchaînements spatiaux et modaux, dans un temps limité. Elle peut ainsi correspondre à un moyen nécessaire au déploiement d'activités, à une finalité, la marche constituant l'activité elle-même ou encore à une « perte de temps » volontaire (flânerie) en s'intercalant dans une mobilité existante. Dans le cadre des mobilités quotidiennes, la marche est ainsi utilisée en deux circonstances : 1) de manière utilitaire, liée à des contraintes sociales (travail, études, achats de proximité, accompagnement...) et répondant à des nécessités de la vie quotidienne, et 2) de manière récréative, voire « déambulatoire », avec des contraintes temporelles moins fortes (promenade, achats anomaux) [Julien et Carre, 2003 : p.92].

L'enquête nationale transports déplacements française de 2007-2008 [Solere et Papon, 2010] donne l'occasion d'obtenir une vision d'ensemble des modes de déplacements utilisés (marche, vélo, transport collectif, deux-roues motorisés et voiture) et, en particulier, des pratiques de la marche quotidienne identifiées comme *exclusive*, *intermodale* ou *complémentaire*. Lors des trajets du quotidien, la part modale importante de la voiture (64,3 %) permet ainsi de déduire que la marche en complément de ce mode est celle la plus pratiquée. Avec 23,1 % de part modale, la marche, en tant que mode en soi, est ensuite la plus utilisée. La durée moyenne de déplacement est estimée à environ 12 minutes [Papon, 2003 : p. 79]. Elle s'avère particulièrement être un atout pour les distances porte-à-porte de moins d'un kilomètre en se révélant tout à fait performante et compétitive vis-à-vis de la voiture en milieu intra-urbain, voire même plus rapide [Mühl, 2004 : p. 210]. Il est toutefois à noter que si la part de marche intermodale est moindre, les distances pédestres parcourues, mises bout-à-bout, apparaissent au final les plus importantes d'après une enquête mobilité effectuée par Jean-René Carré et Arantxa Julien sur la région parisienne, entre 1999 et 2000 [2000 : p. 33]. Enfin, d'après l'enquête nationale sur les Transports et les Communications de 1993-1994, la tolérance quant aux distances à parcourir à pied évolue également lorsque les usagers possèdent ou non une voiture : en moyenne, une personne sans voiture peut ainsi marcher jusqu'à 2 km alors qu'en disposant d'une voiture privée, elle ira jusqu'à 500 m [Papon, 2003 : p. 77].

La marche quotidienne peut ainsi non seulement être un liant entre les autres modes, *intermodale*, un mode de déplacement en soi, *exclusive*, mais aussi un mode additionnel à d'autres modes (voiture, vélo, deux-roues, etc.), *complémentaire*. Selon les pays, la part modale de la marche peut fortement varier bien que la marche complémentaire à la voiture ressort majoritaire face aux deux autres pratiques (exclusive et intermodale). Toutefois, en milieu intra-urbain, les marches exclusives et intermodales se révèlent tout à fait concurrentielles pour les distances de moins d'un kilomètre dans les pays européens (morphologie urbaine, coût de la voiture). Finalement, les mesures de distance parcourue ont également démontré

l'importance de la marche intermodale trop souvent sous-évaluée dans les enquêtes de mobilités.

2.2. Mobilité piétonne : pratiques selon les âges de la vie et les lieux de résidence et d'activités

Si les habitudes de mobilité quotidienne piétonne varient selon les pays et les distances de trajet, les pratiques de la marche changent également selon les âges de la vie. Dans sa thèse, Stéphanie Vincent [2008] cherche à expliquer le rapport aux modes de déplacement en fonction de l'âge à travers des histoires de vies centrées sur l'utilisation d'alternatives à la voiture individuelle. Ses résultats révèlent que les premiers souvenirs piétons des enquêtes semblent correspondre à des trajets réalisés entièrement à pied accompagnés par un adulte pour aller à l'école primaire durant l'enfance. Un changement de pratique survient ensuite au collège, essentiellement lié à l'éloignement géographique des lieux d'enseignement secondaire. La pratique de la marche est alors non accompagnée d'un adulte et tantôt *intermodale* en complément des transports collectifs, tantôt *exclusive*. Toutefois, suite à une étude sur la mobilité des enfants à Luxembourg, Olivier Klein *et al.* [2015b] démontrent que les pratiques de mobilité des enfants, et plus particulièrement des préadolescents (entre 8 et 12 ans), dépendent beaucoup des lieux de résidence et d'activités (loisirs, école). Elles passent également par une « phase d'apprentissage où ces préadolescents sont amenés à remanier certaines de leurs connaissances et de leurs compétences tout en développant peu à peu une indépendance en acquérant notamment des aptitudes à la mobilité » [Klein *et al.*, 2015b : p. 140]. Trois groupes de mobilité ressortent de leurs observations : le premier groupe, dénommé les « voisins », est composé d'enfants ayant un espace d'action relativement restreint, essentiellement ancré dans le quartier scolaire et autour du domicile familial. Il s'agit du groupe qui a le plus recours aux modes de transport « doux » que sont le vélo et la marche exclusive. Ces derniers jouissent d'une grande autonomie de déplacement (sans accompagnement). Le second groupe, les « urbains », évolue dans un espace d'action relativement plus étendu avec des activités nombreuses, réalisées aussi bien dans le quartier scolaire que dans le centre-ville, mais limité au territoire de la ville de Luxembourg. Pour ce faire, leurs déplacements peuvent être effectués en modes doux (marche exclusive) ou en voiture (marche complémentaire). Enfin, le troisième groupe, les « périurbains », est constitué d'enfants ayant les espaces d'action les plus étendus et dont les limites vont souvent bien au-delà de Luxembourg-Ville avec des activités éloignées du lieu de résidence périurbain. Leurs trajets sont ainsi quasi-exclusivement réalisés en voiture (marche complémentaire). Stéphanie Vincent [2008] qualifie de tâtonnement modal, l'hésitation dans la sélection du mode de déplacement au cours de l'enfance et de l'adolescence. Ce phénomène va d'autant plus s'affirmer au lycée avec la possibilité de posséder un deux-roues.

C'est finalement à l'âge adulte qu'apparaît une rigidité des habitudes de mobilité. Les routines modales prises au début de la vie d'adulte semblent, d'après Stéphanie Vincent, se répartir entre deux pôles : le premier *automobiliste* exclusif et le second *altermobaliste* (transport en commun, modes actifs, covoiturage) – même si

une multiplicité de comportements reste possible entre les deux. Pour Mickael Flamm [2006 : p. 33], les habitudes se rigidifient avec l'entrée dans la vie active. La voiture étant le mode dominant, la majorité l'élit comme le principal moyen de transport et une fois qu'il en a choisi un, un individu a beaucoup de mal à le remettre en question. Cet enracinement des pratiques automobiles se fait en général au détriment des marches exclusive et intermodale et peut s'expliquer, entre autres, par l'éloignement des distances domicile-travail et par un agrandissement de la cellule familiale [Genre-Grandpierre et Foltete, 2003 : p. 12]. Toutefois, cette dépendance automobile dépend surtout de critères socio-économiques au-delà de l'âge et de l'idéologie. On observe, notamment, chez les étudiants et les inactifs, un recours à la marche plus important (exclusive ou intermodale) pour des raisons budgétaires ou encore la recherche d'une autonomie financière [Papon, 2003].

La dépendance automobile se poursuit après 60 ans, à la retraite, malgré la disparition de la majorité des activités contraintes. La revue de littérature de Sandra Rosenbloom [2001] qui cherche à comparer la mobilité et l'accessibilité des personnes âgées dans un certain nombre de pays occidentaux – Etats-Unis, Australie, Allemagne, Nouvelle-Zélande, Norvège et Royaume-Uni – montre que les personnes âgées des pays développés sont devenues de plus en plus dépendantes de la voiture privée et de moins en moins utilisatrices de modes alternatifs. Bien qu'en Europe, le recours aux marches exclusives et intermodales reste encore très important, les comportements des seniors européens tendent à aller dans le même sens que ceux des américains. Sur une cohorte d'Américains âgés de 65 à 84 ans, 92 % des répondants recouraient à la voiture pour la plupart de leurs déplacements. En France, si cette tendance se vérifie, la part modale de la marche exclusive et intermodale augmente tout de même à partir de 75 ans pour satisfaire des déplacements courts en milieu urbain malgré une réduction générale des déplacements [Solere et Lasserre, 2012 : p. 141].

Le rapport à la marche et les habitudes de mobilité piétonne varient ainsi selon les âges de la vie (enfance, adolescence, âge adulte et troisième âge). Une certaine rigidité dans les choix modaux peut être constatée à partir de l'âge adulte et semble aller en faveur de l'utilisation de la voiture individuelle. Cet enracinement des pratiques automobilistes dépend néanmoins fortement de la catégorie socioprofessionnelle mais aussi des lieux de résidence et d'activités (loisirs, école, travail).

2.3. Les temporalités de la marche : un rapport espace-temps

De nos jours, la pratique de la marche impose une relation usager-environnement-temps fragile et susceptible d'être perturbée. Elle diffère, en effet, selon diverses temporalités qui, plus particulièrement en ville, coexistent et se superposent en des lieux identiques. La relation, qui s'établit entre les usagers et l'environnement lors du déplacement, s'inscrit ainsi dans trois dimensions temporelles : un temps *linéaire* (temps de la vie d'un individu), un temps *cyclique* (circadien, à l'échelle du quotidien) et un temps *évènementiel* (temps très court, accident).

- Le temps *linéaire* repose sur un principe de causalité et stipule que l'origine d'un effet est toujours antérieure à celui-ci [Klein, 2007 : p. 16]. Dans le cadre de la marche, il s'agit d'invoquer le temps d'une vie, celle d'un individu ou d'un objet. Leurs passés endogènes (vieillesse, usure) ou exogènes (historique médicale, dégradation) vont ainsi conditionner le présent et les conditions du déplacement. Avec l'âge, il survient par exemple un affaiblissement des mécanismes de contrôle de l'équilibre et un déclin des réflexes qui réduisent la mobilité et rendent les usagers piétons plus sensibles aux risques de chutes [Langevin *et al.*, 2012 : p. 201].

- Le temps *cyclique*, quant à lui, présente des apparences de retours périodiques de situations [Klein, 2007 : p. 16]. Cette définition, originellement proposée pour définir les cycles du quotidien, s'accorde également aux temporalités de la marche (rythme biologique, saisonnalité) en formant une imbrication de cycles avec des fréquences différentes. Si, naturellement, l'homme est déjà soumis à des rythmes biologiques et circadiens, la marche est par définition fondée sur l'effort musculaire et donc faite de cycles qui alternent dépense énergétique et phase de repos [Ollivro, 2000 : p. 12]. Ces cycles induisent ainsi une durée ou encore une distance de marche limitée par les capacités d'endurance physique de chacun. Par ailleurs, fortement contrainte par la relation usagers-environnement, la répétition de l'alternance de saisons et de levers/couchers du soleil peut avoir une influence positive ou négative sur la pratique de la marche. La saisonnalité, en elle-même, et les conditions météorologiques qu'elle implique, ne conditionnent cependant pas l'usage de la marche –à l'exception d'une pluie forte ou de températures inférieures à 0°C qui peuvent entraîner une légère diminution [Solere et Papon, 2010 : p. 21]. Pour finir, les temporalités nycthémérales (alternance jour/nuit) sont sources d'une rythmicité urbaine qui conditionne les flux des piétons en fonction des horaires de travail, d'ouverture des magasins, des espaces de loisirs, etc. Luc Gwiazdinski [2011 : p. 950], par l'expérience de traversées nocturnes pédestres, témoigne de ces changements d'ambiance conséquents aux temporalités diurne et nocturne :

« La question des *ambiances nocturnes* croise naturellement les données physiques, le sujet singulier qui perçoit *les autres* dans un espace-temps sous contrainte où les notions de sécurité et de liberté sont essentielles. L'espace urbain est contrasté. Les conditions sont différentes de celles du jour. Il fait plus frais. Il y a moins de bruits, moins de lumière, de couleurs, de relief qu'en plein jour. Même les odeurs sont différentes. L'offre urbaine est limitée, spécialisée et localisée. A mesure que l'on s'engage dans la nuit, la ville ressemble à un archipel d'îlots mal reliés entre eux. La liberté est réduite, conséquence de l'accroissement des coûts, de la réduction de l'offre urbaine, de la diminution des espaces collectifs accessibles et de manipulation médiatique qui stigmatise les périphéries et survalorise les centres animés. L'insécurité est relative. La lisibilité de l'offre urbaine est mauvaise et la signalétique mal adaptée. L'ergonomie et l'urbanité de l'espace public, le bien-être des usagers sont très perfectibles ».

[Gwiazdinski, 2011 : p. 150]

- Finalement, influençant les deux premiers, le temps *évènementiel* prend la forme d'un fait qui peut survenir à un moment donné et former une rupture dans le cours des choses de manière relativement soudaine. Cet évènement dénote alors un élément temporel localisé qui rompt avec le cycle quotidien. Il est généralement localisé dans des espaces limités par rapport à l'ensemble considéré [Klein, 2007 : p. 17]. Dans le contexte de la marche, ce temps évènementiel est considéré comme une perturbation engendrant un réajustement du comportement piéton (ralentissement, détours, contournement, etc.). La marche étant relativement lente (vitesse entre 0,5 et 1 m/s avec un plafond d'environ 3 m/s), tout déplacement s'avère effectivement fragile et susceptible d'être perturbé, voire stoppé puisqu'il s'écarte peu de la fixité [Ollivro, 2000 : p.14]. Il peut s'agir d'un groupe de gens interrompant le flux piéton ou encore l'apparition d'un orage par une journée ensoleillée. Ce temps évènementiel peut également faire référence à une situation d'inadéquation ponctuelle et inattendue entre l'utilisateur et l'environnement qui l'entoure (travaux, encombrement de la voie).

Dans un contexte où les programmes d'activités de la vie quotidienne aboutissent à un emploi du temps de plus en plus spatialisé et rationalisé, la place de la marche au quotidien peut faire figure d'interrogations. Selon Arnaud Banos *et al.* [2011], les programmes d'activités que veulent réaliser les individus sont définis selon le temps que pourra prendre chaque activité pour être réalisée et selon son niveau de flexibilité. La perception de l'espace-temps nécessaire pour effectuer une action peut ainsi alternativement être considérée comme une ressource ou une contrainte. Glenn Lyons et John Urry [2005 : p. 259] considèrent, quant à eux, que cette perception de l'espace-temps est conditionnée par : 1) une *programmation biologique*, l'évolution nous ayant laissé biologiquement programmés pour dépenser un temps défini fixe pour se déplacer, 2) un *usage optimisé*, le point optimal étant atteint par la conciliation entre un temps de voyage accru pour accéder à une plus grande provision d'activités et une réduction des temps de réalisation des activités causée par ces temps de déplacement accrus, et 3) une *routine sociale*, la vie quotidienne étant constituée de routines installées dont le déplacement devient partie intégrante et prend sa part de temps parmi l'ensemble des routines. Lorsque l'espace potentiel d'action – défini ici comme un espace d'activités accessibles – perçu par l'utilisateur ne peut respecter les normes d'un ratio de temps de déplacement acceptable (temps de séjour/temps de trajet), ce dernier peut alors prendre plusieurs décisions comme : reporter la visite du lieu d'activité à un temps plus approprié, décider d'autres emplacements pour effectuer l'activité ou encore choisir un mode de transport plus rapide [Dijst et Vidakovic, 2000 : p. 186]. Or, dans une société où la durée est au cœur du processus de perception de l'espace-temps, la marche contemporaine se retrouve au cœur de vitesses fortement différenciées (train, voiture, avion) [Ollivro, 2000 : p. 8].

Somme toute, si la vitesse à pied ne peut concurrencer les autres modes, c'est peut-être la définition même de *marche* qui est à reconsidérer. Plus qu'un mode en soi, elle s'intègre non seulement parfaitement à un système multimodal mais offre aussi par sa lenteur un moyen sempiternel d'appréhension de l'espace et du temps.

Conclusion du chapitre I

Depuis les premiers pas de l'homme, la marche est le moyen principal de déplacement, historiquement et séquentiellement. Elle permet l'accès aux autres modes de transport. La marche est à la fois un mode doux, non motorisé et donc non polluant, mais aussi un mode actif, favorable à l'activité physique et à la santé. Si elle peut aussi être une pratique ou un support sensible, elle n'en obéit pas moins aux codes implicites de la vie sociale en participant à la rencontre fortuite entre anonymes. Elle constitue ainsi un mode d'urbanité. *La pratique de la marche peut donc se décliner sous diverses formes et apparaître à la fois comme un moyen, un mode de déplacement et même une pratique pouvant s'exercer seul ou en groupe et dont la réalisation va à la fois dépendre de soi, d'autrui et de codes sociaux mis en place. La marche est un concept qui évolue avec le temps, au contact des problématiques de société, et dont l'étude nécessite donc de se replacer dans un contexte et une époque en particulier.*

Mode privilégié de la proximité, la marche urbaine contemporaine s'inscrit essentiellement dans le cadre des mobilités quotidiennes et supporte des déplacements à but utilitaire mais aussi récréatif. Si l'espace perçu lors de la marche est dépendant d'une programmation biologique, d'un usage optimisé et de routines sociales qui peuvent conditionner les choix de déplacement de l'utilisateur, la marche reste indispensable. Elle peut ainsi être un mode en soi sur l'intégralité du trajet, un liant entre d'autres modes ou encore un complément dans les premiers et derniers kilomètres du déplacement. De surcroît, la marche est sujette à de nombreuses temporalités inscrites dans des temps linéaires, cycliques ou encore événementiels. Son étude requiert donc de tenir compte d'une relation usager-espace-temps.

Pour finir, le fait que la marche soit évolutive et en relation directe à l'environnement mérite de s'interroger, dans le prochain chapitre, sur les usagers contemporains qui la pratiquent et leurs caractéristiques de manière à saisir les situations actuelles favorables à l'utilisation de ce mode de déplacement fondamental.

Chapitre II.

Les usagers piétons : des profils statistiques aux caractéristiques individuelles

Marcheur, marcheuse :

« personne qui bat le pavé »

Personne qui marche, qui peut marcher longtemps, sans fatigue : bon marcheur ; *Personne qui proteste* : marcheur de la paix.

Piéton, piétonne [n.] :

« le premier emploi comme adjectif est figuré : « banal » »

Personne qui circule à pied : règlement de la circulation des piétons

Dictionnaire culturel en langue française [Rey, 2005]

Les individus qui pratiquent la *marche* sont nommés *marcheur* ou *piéton*. Généralement, le *marcheur* est défini comme une personne qui peut marcher longtemps, sans fatigue. Un *piéton*, terme plus réglementaire, est une personne qui circule à pied. Dans un contexte contemporain où la marche urbaine au quotidien se décline selon un *continuum* d'usagers aux caractéristiques physiques intrinsèques qui peuvent utiliser toutes sortes d'aides au déplacement (chaussures, fauteuil roulant, canne, déambulateur, etc.), les définitions courantes du piéton ou du marcheur sont-elles encore adaptées au contexte contemporain ? Piétons et marcheurs représentent-ils vraiment l'ensemble des usagers et leurs spécificités ? *La marche contemporaine étant au cœur d'un système plurimodal, nous proposons de nous concentrer sur le terme piéton qui permet de se focaliser sur les flux et leurs réglementations. Dès lors, la prise en compte des spécificités des individus se révèle indispensable pour retranscrire la relation entre ces derniers et l'environnement, à un instant T, durant leurs déplacements.* Si le chapitre précédent s'attardait sur la « marche », celui-ci nous permet de revisiter le concept de « piéton » dans un contexte contemporain pour étudier la façon dont les

études de mobilité et de santé analysent les piétons. Enfin, le piéton ne sera plus abordé au moyen de catégories mais à travers les caractéristiques physiques et psychologiques des usagers suscitées dans la pratique de la marche.

1. Le piéton et/ou les usagers piétons : définitions et profils

Dans un contexte contemporain, la définition du *piéton* évolue et diffère selon les domaines. Au-delà de celle d'un individu utilisant ses pieds pour se déplacer en position verticale, ce dernier est dorénavant également considéré comme un utilisateur de voies piétonnes ou encore comme une unité véhiculaire par assimilation aux transports. Dans un cadre réglementaire, il n'y a plus un *piéton* qui circule à pied mais *des usagers piétons* définis comme tels pour une vitesse maximale de déplacement (l'allure du pas) et le respect des autres. Ainsi, le piéton ne marche plus forcément : il peut pratiquer la course, le jogging, être dans un landau, utiliser un fauteuil roulant, une planche à roulettes, etc. ***Cette variété d'utilisateurs conduit à s'interroger sur la méthode à utiliser pour définir les caractéristiques des piétons et leur mobilité.*** Nous proposons dans un premier temps de revenir sur les différentes définitions contemporaines du terme *piéton* puis, dans un second temps, d'aborder les comportements et pratiques des usagers selon des caractéristiques interindividuelles.

1.1. De l'homme qui « se sert de ses pieds » aux usagers piétons

A l'image de la *marche*, le piéton est, de nos jours, un concept encore mal défini. Initialement, le terme *piéton* correspond à toute personne se déplaçant à pied, en marchant ou en courant au contact de l'environnement.

« **Piéton** : provient de pied, du latin *pes, pedis*, qui désigne la partie inférieure de la jambe par laquelle le corps de l'homme est, en position verticale, en contact avec la surface terrestre. L'homme qui ne se sert que de ses pieds pour se déplacer est un piéton ».

[Pumain *et al.*, 2006 : p. 217]

Définir le piéton sous l'angle spatial est récurrent en géographie ou en urbanisme. Par exemple, dans leur *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, Pierre Merlin et Françoise Choay [1988 : p. 634] définissent le piéton comme celui qui « marche à pied » et qui utilise des aménagements urbains prévus à son intention : trottoir, feux tricolores, rue piétonne, chemin piétonnier, passage souterrain ou passerelle, escalier roulant, etc. Il en est de même dans *Les mots de la géographie* de Roger Brunet *et al.* [1992 : p. 385] où le piéton « marche à pied » et est l'utilisateur de voies piétonnes, interdites aux véhicules, de plus en plus fréquentes en ville et favorables aux commerces riverains. Cette approche privilégiant l'environnement interroge la façon de concevoir le *piéton* dans les sciences de l'homme et de l'espace et sa place en milieu urbain. Dans les études de mobilité ou encore dans les enquêtes de déplacements, elle peut, par exemple, conduire à une abstraction des caractéristiques individuelles du piéton par assimilation aux autres modes de

transport. Le piéton est alors perçu comme une unité véhiculaire pilotant une coque molle et exposée, faite de vêtements et de chair, ou encore comme le pilote d'un véhicule très spécial – ses jambes – et ce faisant, son rôle est comparé à la tâche d'un conducteur d'engins motorisés [Tom *et al.*, 2008 : p. 270].

Pourtant, à la suite du deuxième colloque francophone COPIE en 2009 sur *Le Piéton : nouvelles connaissances, nouvelles pratiques et besoins de recherche*, Marie-Axelle Granié et Jean-Michel Auberlet rappellent que :

« Le *piéton* ne peut plus être considéré comme l'élément flexible du système, capable de s'adapter à la planification des transports, sans prise en compte de ses limites physiques et psychologiques. La nouvelle problématique des piétons nécessite une approche plus compréhensive de l'activité elle-même, de son ancrage dans les modes de vie et de ses rapports à l'environnement urbain lors des déplacements » .

[Granié et Auberlet, 2010 : p. 9]

Pour une meilleure compréhension de la marche urbaine, la définition de *piéton* doit donc trouver un équilibre entre une approche par ses caractéristiques intrinsèques, d'une part, et par l'environnement qu'il parcourt, et d'autre part.

En outre, la définition du piéton n'est pas consensuelle. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)^x définit le piéton comme une personne qui se déplace en marchant pendant au moins une partie de son voyage mais qui en plus de la forme ordinaire de la marche, peut aussi être une personne qui utilise diverses modifications et aides à la marche comme les fauteuils roulants, scooters, déambulateurs, cannes, planches à roulettes et patins à roues alignées. Le piéton peut transporter des objets de quantités variables, tenus en mains, attachés à l'arrière, placés sur la tête, en équilibre sur les épaules, ou encore en les poussant/tirant. Une personne est également considérée comme un piéton lorsqu'elle pratique la course, le *jogging*, la randonnée ou qu'elle est en position assise (fauteuil roulant, poussette) ou couchée (landau) sur la voie [WHO, 2013 : p. 3]. Cette définition étendue du piéton est également reprise par certaines législations qui la complètent par une clause de vitesse de déplacement. Ainsi, en France, l'article R412-34 du Code de la route – modifié par décret n°2010-1390 du 12 novembre 2010-art.11 – définit que :

Les piétons sont les usagers de la voie publique qui se déplacent à pied ainsi que « les personnes qui conduisent une voiture d'enfant, de malade ou d'infirme, ou tout autre véhicule de petite dimension sans moteur ; les personnes qui conduisent à la main un cycle ou un cyclomoteur et les enfants de moins de huit ans qui conduisent un cycle (sauf dispositions contraires prises par l'autorité investie du pouvoir de police), à la condition de conserver l'allure du pas et de ne pas occasionner de gêne aux

^x Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ou en anglais World Health Organisation (WHO)

piétons ; les infirmes qui se déplacent dans une chaise roulante mue par eux-mêmes ou circulant à l'allure du pas ».

[Code de la route, 2015], France

Au Luxembourg, le règlement grand-ducal du 26 mai 2009, extrait du Code de la route [2013] – Arrêté grand-ducal du 23 novembre 1955 – Chapitre II. Définitions, Art. 2 – établit, pour sa part, que :

Les fauteuils roulants manuels mais aussi ceux à moteur, lorsque leurs vitesses maximales de construction ne dépassent pas 15 km/h, « ne sont pas considérés comme véhicule routier au sens du présent arrêté et la personne qui se trouve sur le fauteuil roulant ou qui conduit le fauteuil roulant en tant que piéton, est assimilée aux piétons ». De plus, l'article 103 précise que « les trottoirs sont réservés aux piétons, y compris ceux qui conduisent à la main un cycle, une brouette ou une voiture d'enfants ».

[Code de la route, 2013], Luxembourg

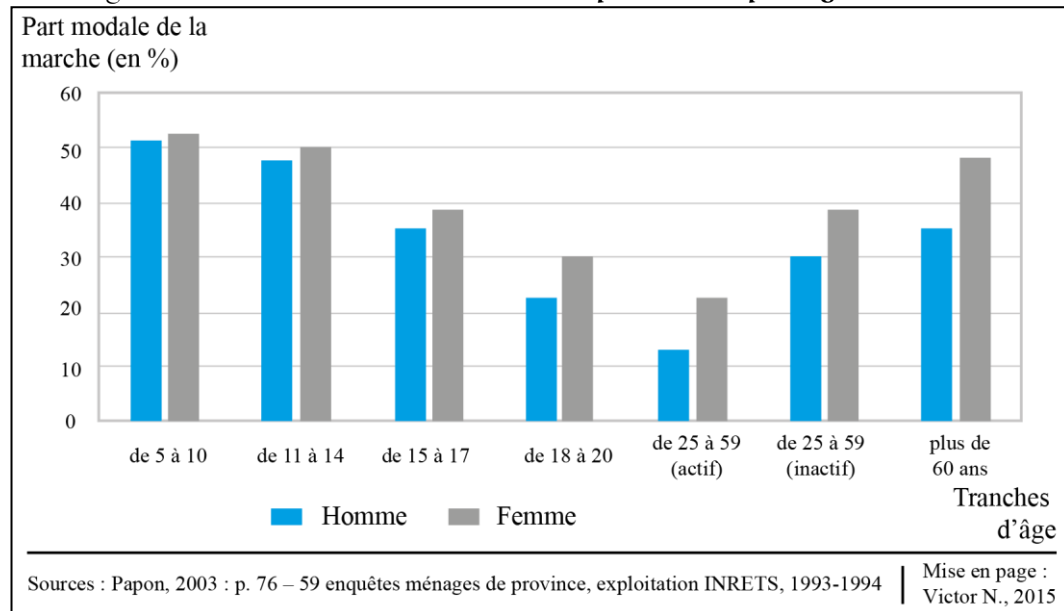
De ce point de vue, le piéton n'est donc plus uniquement un individu qui marche *à pied* mais plutôt un concept intégrant un ensemble d'*usagers piétons* aux caractéristiques intrinsèques diverses et variées où la vitesse ressort comme l'élément discriminant.

1.2. Les usagers piétons au-delà des statistiques

Les usagers piétons sont caractérisés par des variables interindividuelles qui permettent l'élaboration de catégories en isolant un critère ou en croisant quelques-uns. Ils peuvent ainsi être observés selon différents attributs tels que les catégories socioprofessionnelles [Papon, 2003 ; De Solere et Papon, 2010], le genre [Granié, 2008 ; Carre et Julien, 2000 ; Liu *et al.*, 2014], l'âge [De Solere et Lasserre, 2012 ; Hine, 1996 ; Langevin *et al.* 2012 ; Alsnih et Hensher, 2003 ; Cristol et Bérard, 1998 ; Dejeammes et Fiole, 2011], les mensurations [Frank *et al.*, 2006 ; Lerner *et al.*, 2014], l'encombrement (poids de charge) [Knapik *et al.*, 1996 ; Abe *et al.*, 2004 ; Tight *et al.*, 2004 ; Bhambani et Maikala, 2000] ou encore le handicap [Tight *et al.*, 2004 ; Beale *et al.*, 2006 ; Steffen *et al.*, 2002 ; Priebe et Kram, 2001, Matthews et Vujakovic, 1995 ; OMS, 2001 ; Dejeammes et Fiole, 2011].

Bien qu'une catégorie d'usagers ne puisse entièrement faire référence à un ensemble homogène d'individus, l'utilisation de critères individuels, isolés ou combinés, a le mérite de révéler des comportements et des habitudes de déplacements différents à travers une multitude de piétons existants [Victor *et al.*, 2016]. Par exemple, après avoir étudié des enquêtes ménages effectuées en France entre 1993 et 1994, Francis Papon [2003] propose un état des lieux de la part modale de la marche selon l'âge, le sexe et la catégorie socioprofessionnelle des piétons.

Figure II-1 : *Part modale de la marche par sexe et par âge en France*



A partir de 18 ans, les femmes semblent marcher davantage que les hommes et les actifs moins que les inactifs. En outre, le graphique montre bien, qu'en fonction de l'âge, l'effectif des personnes ayant recours à la marche suit grossièrement une courbe en U avec des *maxima* aux extrémités témoignant d'un recours à la marche plus fréquent chez les plus jeunes (5-10 ans et 11-14 ans) et les plus âgés (plus de 60 ans). Ces résultats sont toutefois à nuancer lorsqu'ils sont confrontés à des cohortes plus récentes, où ce sont essentiellement les plus de 75 ans qui ont à nouveau recours à la marche pour se déplacer [Solere et Lasserre, 2012].

Les piétons par catégories socioprofessionnelles

L'étude des usagers piétons à travers leur catégorie socioprofessionnelle ou leur sexe rend compte d'un certain nombre de différences dans les choix modaux. En France, l'Enquête Nationale Transports et Déplacements (ENTD) de 2007-2008 nous apprend que les retraités et les étudiants apparaissent comme des utilisateurs privilégiés de la marche [Solere et Papon, 2010 : p. 22-23]. En comparaison avec les enquêtes ménages de 1976-1998, les résultats de l'ENTD confirment également que les actifs marchent toujours moins que les inactifs – retraités, chômeurs, personnes au foyer. En outre, parmi les actifs, les personnels des services aux particuliers, les commerçants et les professions libérales effectuent le plus souvent des déplacements piétons au contraire des artisans, chefs d'entreprise et contremaîtres. Ce phénomène s'explique peut-être par l'environnement de travail où les premiers sont plus fréquemment amenés à travailler dans des zones piétonnes ou résidentielles alors que les seconds le sont plus dans des espaces moins propices à la marche tels que des zones de chantier ou industrielles.

Les piétons selon le sexe

Des différences de parts modales en faveur du déplacement piéton sont également identifiées selon le sexe de l'utilisateur. En analysant l'ENTD de 2007-2008, en France, Régis de Solère et Francis Papon [2010] mettent en évidence que la marche est un mode davantage féminin et qui se féminise de plus en plus. Ainsi, en semaine, les femmes réalisent 61 % des déplacements à pied en 2008, contre 58 % en 1994 alors que cette tendance s'atténue le week-end. Cette féminisation de la marche est d'ailleurs observée dans toutes les enquêtes nationales de transport en Europe.

Pourtant selon le genre ou l'âge, l'ensemble des usagers piétons ne sont pas égaux. Selon les capacités de chacun, des différences de vitesse, de motricité ou encore de réactions face aux ports de charges en se déplaçant sont observées. Par exemple, les relevés différenciant le sexe des usagers piétons révèlent que les hommes ont, en moyenne, des vitesses de déplacement piéton supérieures à celle des femmes [Carré et Julien, 2000 ; Liu *et al.*, 2014 ; Steffen *et al.*, 2002 ; Knoblauch *et al.*, 1996]. En reproduisant les conditions de marche en laboratoire à l'aide d'un tapis de marche, les valeurs moyennes observées, sur terrain plat, par Yancheng Liu *et al.* [2014] correspondent, à 4,6 km/h pour les hommes et 4,2 km/h pour les femmes. Cette tendance se retrouve également lors d'observations réalisées, en extérieur, avec des valeurs légèrement supérieures [Knoblauch *et al.*, 1996 ; Browning *et al.*, 2006]. Jean-René Carré et Arantxa Julien [2000] relèvent ainsi des valeurs de vitesses moyennes de 5 km/h pour les hommes et de 4,5 km/h pour les femmes en analysant des séquences piétonnières de Parisiens au cours de leurs déplacements quotidiens. Toutefois, les femmes marchent avec des longueurs de foulée plus courtes et à une fréquence de pas plus importante comparativement aux hommes. De plus, lorsque l'utilisateur piéton se retrouve en situation d'encombrement, les différences de genre face aux ports de charges persistent même lorsque les mensurations et la santé sont prises en compte [Knapik *et al.*, 1996 : p. 211]. Les longueurs de foulée chez la femme peuvent ainsi encore diminuer en portant un poids supplémentaire alors que les hommes ne montrent pas de changement significatif dans cette situation. Yagesh Bhambani et Rammohan Maikala [2000] constatent également qu'une charge (test allant jusqu'à 20 kg), transportée plusieurs fois pendant un quart d'heure, peut entraîner une fatigue excessive chez les femmes mais pas nécessairement chez les hommes. Si l'on peut constater des différences de genre au niveau de la capacité de déplacement, les comportements spatiaux semblent également être influencés par un effet d'adhésion aux stéréotypes de la masculinité et de la féminité. Axelle Granié [2008] s'intéresse aux effets de cette adhésion, en particulier envers le risque routier, dans une étude auprès de 258 adultes, à Marne-la-Vallée. Il en ressort que les hommes perçoivent plus que les femmes les comportements de mise en danger involontaire comme transgressifs. Ils attachent, en effet, une importance particulière au regard ou encore la prise d'information sur l'environnement. La gravité de l'inattention, voire de l'erreur, au moment de la traversée est ainsi davantage mise en avant par les hommes que par les femmes. Toutefois, en matière de transgressions volontaires, les résultats révèlent que les individus féminins ont une perception de la gravité de la

transgression plus élevée que celle des individus masculins vis-à-vis des règles légales.

La prise en compte du genre apparaît ainsi comme déterminante dans les capacités de déplacement mais aussi dans les pratiques de mobilité. Toutefois, il ne s'agit pas d'un indicateur isolé, ce dernier est, par exemple, aussi fortement corrélé à l'âge.

Les piétons selon l'âge

Si les enfants et les personnes âgées ont des comportements similaires de traversée (préférence pour les traversées sécurisées, sentiment d'insécurité envers le trafic), il semble néanmoins que la capacité de déplacement tend à s'améliorer pendant l'enfance avec l'âge puis, à décroître au troisième âge [Hine, 1996]. D'ailleurs, nous constatons qu'à travers une revue de littérature, ces deux périodes de la vie sont les plus analysées. Cette tendance s'explique en partie par le fait que ces deux tranches d'âge sont celles qui marchent le plus (cf. figure II-1). Comme nous avons pu le décrire dans le chapitre 1-2.1, les comportements de mobilité évoluent au cours de la vie. Les limites et le nombre de classes en fonction de l'âge dépendent beaucoup du sujet de l'étude mais un certain nombre d'auteurs s'accordent sur l'importance de distinguer des sous-groupes aux seins des jeunes et des personnes âgées [Alsnih et Hensher, 2003 ; Vincent, 2008 ; Cristol et Bérard, 1998 ; Solere et Lasserre, 2012]. Les jeunes usagers piétons montrent, en effet, des caractéristiques physiques et des pratiques spatiales différentes jusqu'à la maturité qui permettent de les classer en quatre sous-groupes : les *enfants en bas âge* (moins de 5 ans), les *enfants* (5-8 ans), les *préadolescents* (8-12 ans) et les *adolescents* (13-18 ans). Si les vitesses ne diffèrent vraiment qu'en fonction des 5-12 ans et 13-18 ans, le coût énergétique de la marche semble par exemple d'autant plus élevé que l'âge est bas chez l'enfant. En proposant une évaluation énergétique de la marche chez les enfants de 6 à 12 ans, Corinne Cristol et Carole Bérard [1998] constatent, en effet, que la vitesse de marche ne varie pas dans les tranches d'âge étudiées et correspond en moyenne à 3,9 km/h alors que les valeurs moyennes de dépense énergétique diminuent avec l'âge. A l'image des jeunes usagers piétons, Rahah Alsnih et David Hensher [2003] insistent sur l'importance de ne plus considérer les personnes âgées comme une catégorie homogène d'usagers.

Les différences importantes de comportement de déplacement entre les « jeunes » et les « anciens » seniors, ainsi qu'une certaine vulnérabilité conséquente à une dégénérescence graduelle de la santé, renforcent l'idée de diviser cette catégorie en deux sous-groupes : les *65-75 ans* et les *plus de 75 ans*. Les études sur la mobilité et la santé des personnes âgées confirment effectivement un déclin graduel des capacités de déplacement en fonction de l'âge [Steffen *et al.*, 2002 ; Willis, *et al.*, 2004 ; Yang *et al.*, 2010 ; Waters et Mulroy, 1999]. En d'autres termes, les questions de vulnérabilité et d'autonomie de déplacement sont les plus fréquentes aux extrémités de la vie, c'est-à-dire chez les enfants *en bas âge* et les personnes âgées de *plus de 75 ans*. D'un côté, les enfants en bas âge sont considérés comme dépendants dans la mesure où ils ne peuvent pas se déplacer sur de longues

distances, rester debout longtemps, atteindre certaines hauteurs, percevoir la vitesse d'un véhicule ou encore lire ou comprendre des informations [Dejeammes et Fiole, 2011 : p. 26]. De l'autre, les personnes âgées peuvent connaître des difficultés d'accès à l'environnement et de perceptions du trafic provoquées par une détérioration des capacités physiques et des compétences cognitives [Tight *et al.*, 2004 ; Chapon *et al.*, 2011 ; Dube et Torres, 2011 ; Solere et Lasserre, 2012]. Sabine Langevin *et al.* [2012, p. 200] observent que la majoration des décisions dangereuses de traversée de rue observées chez les piétons les plus âgés ne s'explique pas forcément par leur âge en tant que tel mais serait plutôt l'effet d'un déclin physique et cognitif associé au vieillissement. Cette vulnérabilité spécifique aux personnes âgées et aux enfants en bas âge conduit les études de mobilité et d'accessibilité à considérer ces usagers comme des personnes à mobilité réduite (PMR) au même titre que des personnes souffrant d'handicaps légers.

Handicap et personnes à mobilité réduite

L'utilisation du terme *handicap* a déjà soulevé des polémiques dans certains pays [Hamonet, 1990 ; Hamonet et Jouvencel, 2007]. En anglais et en américain, il a ainsi été remplacé à partir des années 1960-1970, par *disability*, parce que considéré comme dévalorisant et socialement « incorrect ». Aux Etats-Unis, on tend également à parler de personnes avec un *challenge* au lieu de *disabled persons*, insistant sur l'aspect dynamique et « gagnant ». En Belgique, c'est le terme les « moins-valides »^{XI} qui tend à se substituer. Toutefois, le terme *handicap* continue d'être utilisé dans la quasi-totalité des langues. Pour Claude Hamonet et Marie de Jouvencel [2007], son maintien dans la *Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé* de l'OMS [2001] et dans la loi française du 11 février 2005 indique même que la polémique sur ce terme commence à être dépassée. Le concept même de handicap a énormément évolué depuis son sens premier. Son origine n'est pas consensuelle. Il proviendrait du terme *handicapp* qui désigne, en 1660, un type d'échange d'objets personnels où un arbitre (*handicapper*) est désigné pour apprécier la différence de valeur entre ces objets [Hamonet, 1990 : p. 18] ou encore de « *hand in cap* », la main dans le sac, qui correspondrait à un tirage au sort à l'aveugle lors d'un jeu de hasard [Rabischong, 2008 : p. 51]. A partir de 1827, le terme « course à handicap » qualifie une course ouverte à des chevaux dont les chances de vaincre, naturellement inégales, sont égalisées par l'obligation faite aux meilleurs de porter un poids plus grand. D'après Claude Hamonet, [1990 : p. 19], s'il est difficile de dater la période de l'extension du mot « handicap » aux conséquences des altérations des capacités humaines, il semble que cette évolution soit tardive ou du moins postérieure à 1906. L'apparition de l'expression « handicap physique » est datée de 1940 par le dictionnaire des anglicismes *Le Robert* [in Hamonet, 1990]. Pour Frank Jamet [2003], le concept de handicap, jusqu'aux années 1980, se développe alors dans le seul champ du médical et, de fait, suit l'évolution du modèle biomédical. Ce basculement à la sphère médicale

^{XI} Site belge de l'asbl Aide aux Moins-Valides (AMV) : <http://www.amv-asbl.be/>

proviendrait des guerres, en France, au XX^e siècle, qui auraient engendré plusieurs centaines de milliers de blessés et d'invalides de guerre. Le concept de handicap est alors causal et fondé sur les notions de réparation, de compensation dans la perspective d'une réadaptation de la personne. Le handicap résulte d'une maladie, d'un traumatisme ou d'un problème de santé. Cette vision du handicap évolue en 1980 avec la première Classification Internationale des Handicaps (CIH) qui propose une conceptualisation dans un cadre tridimensionnel : la déficience, l'incapacité, et le désavantage qui correspond à la résultante de la déficience et de l'incapacité.

Les usagers souffrant d'un handicap tendent ainsi à être catégorisés selon une déficience physique ou mentale interindividuelle. Ainsi, dans le milieu de la santé, les cas de déficiences sont majoritairement abordés par les effets de l'environnement et/ou de l'activité sur les fonctions organiques ou la structure anatomique des usagers [Waters et Mulroy, 1999 ; Paysant *et al.*, 2006 ; Gottschal et Kram, 2006].

Les déficiences physiques ou mentales correspondant à « une perte ou une anomalie d'une partie du corps (c'est-à-dire d'une structure) ou d'une fonction de l'organisme (c'est-à-dire d'une fonction physiologique). Dans ce contexte, le terme d'anomalie est strictement utilisé pour désigner un écart important par rapport à des normes statistiques établies (c'est-à-dire un écart par rapport à la moyenne de la population dans le cadre de normes mesurées) et il ne doit être utilisé que dans ce sens ».

[OMS, 2001 : p. 167]

Les géographes et aménageurs se tournent, quant à eux, vers une approche plus *spatialisée* à travers les limites de mobilité des personnes [Beale *et al.*, 2006 ; Church et Marston, 2003 ; Dejeammes et Fiole, 2011]. Il s'agit d'une démarche inclusive où l'on ne regroupe pas seulement des personnes souffrant d'un handicap mais toute personne à mobilité réduite.

Les personnes à mobilité réduite (PMR) représentent les « personnes qui ont une difficulté ; telles que les personnes handicapées (comprenant les personnes ayant des incapacités sensorielles ou intellectuelles, les personnes ayant des incapacités motrices et les personnes en fauteuil roulant), les personnes de petite taille, les personnes avec des bagages encombrants, les personnes âgées, les femmes enceintes, les personnes avec des chariots à provisions et les personnes avec de jeunes enfants (y compris des enfants en poussette) ».

[Dejeammes et Fiole, 2011 : p. 13]

L'utilisation de catégories selon une approche interindividuelle (déficience) ou inclusive (mobilité réduite) a ainsi le mérite de faire ressortir des capacités de déplacement, avec ou sans handicap, mais ne permet pas d'effectuer de mesures ou de hiérarchisations des limitations ou encore des incapacités. Si bien qu'au sein d'une même catégorie, certaines situations peuvent faire apparaître des barrières infranchissables aux uns bien qu'imperceptibles aux autres. « **Le handicap ne peut**

donc plus être pensé comme lié exclusivement à l'état caractéristique des personnes souffrant d'une ou de plusieurs déficiences mais doit prendre la forme d'un produit d'interactions entre des variables individuelles et des variables environnementales » [Bodin, 2007 : p. 200].

En France, le handicap est ainsi plutôt conçu de manière situationnelle [Hamonet, 1990 ; Minaire, 1991 ; Minaire, 2012]. La formulation *personnes en situation de handicap* met en évidence le fait que « ce sont le cadre de vie et l'organisation sociale, du fait de contraintes incompatibles avec les capacités restreintes d'une partie croissante de la population, qui créent le handicap. Elle convient à toutes les formes de limitations fonctionnelles : physiques, sensorielles, mentales et psychiques » [Hamonet, 1990 : p. 7].

Le handicap étant situationnel, il sera forcément « dépendant du milieu où il prend naissance. Ce qui compte en effet, c'est l'étude de la performance pour une situation limitée ou un ensemble de situations. C'est l'étude de l'homme fonctionnant dans son milieu habituel, c'est donc aussi l'étude obligatoirement simultanée de l'homme et du milieu. L'étude de l'état fonctionnel d'une population permet de prendre en compte les handicaps permanents et temporaires. »

[Minaire, 2012 : p. 217]

C'est à travers cette idée que la CIH est modifiée en faveur d'une *Classification Internationale du Fonctionnement, de la santé et du handicap* (CIF), en 2001, qui propose un modèle biomédical, psychologique (c'est-à-dire de la dimension individuelle) et social en tenant compte des *structures et fonctions organiques* et des *activités et de la participation*. Le terme *handicap* est alors défini comme un terme générique désignant les déficiences, les limitations d'activité et les restrictions de la participation [OMS, 2001 : p. 166]. Cette conception de situation de handicap est de plus en plus intégrée dans les études sur l'accessibilité qui considèrent qu'elle survient lorsqu'il n'y a plus adéquation entre l'environnement et l'individu concerné [Bodin, 2007 ; Thomas, 2003a ; Dejeammes et Fiole, 2011 ; Fort-Jacques, 2008]. « Ainsi, la personne dite « bien portante », autant que celle présentant des incapacités permanentes ou temporaires, peut se retrouver en situation de handicap, et ce, en prenant en perspective l'environnement auquel cette dernière sera confrontée » [Bodin, 2007 : pp. 199-200].

Au final, l'utilisation de catégories reposant sur les caractéristiques interindividuelles des usagers permet d'identifier des grandes tendances de mobilité telles que la fréquence ou les parts modales de déplacements, des moyennes de vitesse et de consommation énergétique nécessaire à la marche ou encore des comportements piétons (respect des règlements, sentiment de sécurité). Toutefois pour déterminer la capacité de déplacement d'un piéton, ces catégories ne peuvent représenter des ensembles homogènes d'individus. Une connaissance approfondie des variables individuelles requises dans le déplacement piéton apporte ainsi un premier élément de réponse.

2. Santé et conséquences sur la pratique de la marche

Pour se déplacer dans l'environnement urbain, un individu est contraint de mobiliser un certain nombre de ses caractéristiques physiques et mentales, aussi bien pour mettre son corps en mouvement que pour percevoir l'espace environnant. ***Dès lors, comment identifier et évaluer les caractéristiques individuelles suscitées par le déplacement piéton en tenant compte de la diversité d'usagers ?*** Pour ce faire, des études médicales recensent les organes nécessaires à la mobilité, leur fonctionnement mais déterminent aussi un état de santé général et son influence sur le quotidien. En nous appuyant sur ces approches médicales, nous proposons d'appréhender l'impact spatial de différences physiques et/ou mentales en se concentrant sur les fonctions du corps nécessaires à la mise en mouvement et le déplacement de manière à saisir les situations favorables ou défavorables aux usagers piétons lors de la pratique de la marche urbaine en fonction de leurs caractéristiques intrinsèques.

2.1. Caractéristiques physiques et mentales dans le processus de la marche

La marche implique une succession d'étapes principales qui conduisent au déplacement telles que : planifier, se localiser et s'orienter, prendre des décisions, se mettre en mouvement. Afin d'appréhender l'ensemble des caractéristiques physiques et mentales des usagers piétons nécessaire à ce processus, la CIF propose un langage uniformisé et normalisé ainsi qu'un cadre de travail pour la description des états de santé. Pour cela, elle répertorie de manière systématique les fonctions de l'organisme, les structures corporelles et les actions et tâches de la vie auxquelles est confrontée toute personne jouissant d'un état de santé donné (par exemple ce qu'une personne fait vraiment ou est capable de faire compte tenu d'une maladie ou d'un trouble donné) [OMS, 2001].

Pour se déplacer et s'orienter dans l'espace, les usagers piétons ont en effet besoin de susciter des fonctions mentales qui assurent la conscience de soi, des capacités de localisation et d'orientation ainsi qu'un certain nombre de processus cognitifs de niveau supérieur permettant la planification, des prises de décision et l'identification de repères spatiaux. Par ailleurs, la marche implique une relation sensible entre le corps et l'environnement qui l'entoure et nécessite donc la collecte d'un volume important d'informations pour effectuer leurs trajets. Les usagers piétons font alors appel à des fonctions perceptuelles s'appuyant sur des fonctions sensorielles. Enfin, pour effectuer le déplacement, les usagers piétons utilisent des fonctions psychomotrices et un appareil locomoteur qui permettent d'assurer le mouvement et la mobilité. Néanmoins, ces fonctions peuvent occasionnellement s'avérer déficientes et influencer l'autonomie de déplacement d'un individu.

Fonctions mentales globales et fonctions cognitives

Les fonctions mentales globales chez l'homme assurent la conscience de soi et un état de veille en continu. Elles sont notamment utilisées pour l'orientation en

offrant une connaissance de soi-même, des autres, du temps et de l'endroit où l'on se trouve (immédiat, ville ou pays où l'on est, etc.). L'utilisateur doit également faire appel à des fonctions mentales relatives aux mouvements complexes qui permettent le séquençage et la coordination de mouvements complexes et réfléchis pour se déplacer. Par ailleurs, afin d'enregistrer un certain nombre d'informations et de se les remémorer si nécessaire, il doit aussi utiliser des fonctions spécifiques comme l'attention permettant de se concentrer sur un ou plusieurs *stimuli* externes pour une période de temps requise ou encore la mémoire à court et à long terme. Ces fonctions de la mémoire apparaissent comme essentielles dans le déplacement et l'orientation spatiale puisqu'elles puisent dans les fonctions de l'évocation et de l'apprentissage.

Les fonctions cognitives de niveau supérieur – gérées par les lobes frontaux du cerveau – permettent des comportements centrés sur un objectif comme la prise de décision, la préparation et l'exécution de plan, la flexibilité mentale, le choix du comportement à adopter selon les circonstances et un certain niveau d'abstraction. Elles permettent l'organisation et la planification d'itinéraires en développant des procédés pour agir, en les systématisant si besoin. Ces procédés passent par une prise de conscience de son corps et de sa place dans la réalité ainsi que par la capacité d'ordonner des événements en séquences chronologiques et d'allouer du temps aux événements et activités. De plus, les fonctions cognitives servent aussi à s'orienter en se repérant dans un espace inconnu ou connu et à adapter son itinéraire d'une origine vers une destination [Golledge, 1999 : p. 24]. L'utilisateur doit alors utiliser des fonctions mentales spécifiques de reconnaissance et d'utilisation de signes, symboles et autres composantes du langage tout en étant capable de les décoder – sous forme parlée, écrite ou gestuelle – pour en obtenir la signification ou la requérir si nécessaire. Les fonctions cognitives, les fonctions de la mémoire mais aussi les perceptions et fonctions sensorielles sont également à l'origine de l'élaboration de représentations cognitives.

Les représentations cognitives « proviennent des relations – et donc des actions – entre les sujets et l'environnement – ici, l'espace intra-urbain » et intègrent aussi bien ce qui est « directement visible que les informations extérieures, acquises sur les espaces considérés par échanges, lectures ou encore par apprentissage ».

[Cauvin, 1999 : p. 6 ; p. 9]

Elles ont ainsi une forte influence sur l'image qu'un usager se fait d'un lieu, sa perception de la durée du trajet ou encore sa perception d'être en sûreté et peuvent ainsi influencer son choix d'itinéraires. Pour finir, dans le cadre de problèmes à résoudre (obstacle, événement), une certaine flexibilité cognitive permet de changer de stratégie ou de passer d'une disposition mentale à une autre. L'utilisateur doit alors faire également preuve d'intuition en prenant conscience de son comportement et de celui des autres et choisir parmi plusieurs possibilités (détour, contournement, confrontation).

Pour comprendre et intégrer de façon constructive les diverses fonctions mentales incluant toutes les fonctions cognitives et leur développement au cours de la vie, des fonctions intellectuelles sont également nécessaires mais peuvent parfois devenir déficientes – ou l'être dès la naissance. C'est le cas du retard intellectuel, du retard mental ou encore de la démence qui peuvent poser des difficultés pour monopoliser ses fonctions mentales lors d'un déplacement en engendrant une désorientation par rapport au temps, au lieu et aux personnes et, par conséquent, des difficultés d'autonomie. Avec la démence, par exemple, peut survenir une incapacité croissante et progressive à planifier un itinéraire, retenir ou essayer différentes options, se rappeler les erreurs du passé ou encore se souvenir ou utiliser des cartes mentales, de l'information spatiale et la signalétique [Blackman *et al.*, 2003]. Autrement dit, les déficiences causées par la démence engendrent des problèmes de mémoire à court terme et une incapacité d'apprendre ou de comprendre de nouvelles informations. Elles créent par conséquent des difficultés dans l'utilisation et l'amélioration de la cognition spatiale.

Fonctions locomotrices et fonctions cardio-respiratoires

Si les fonctions mentales permettent de se situer et de se diriger lors d'un déplacement, ce sont les fonctions psychomotrices qui ont un contrôle sur les événements à la fois moteurs et psychologiques du corps pour effectuer le mouvement. Elles servent à régler la vitesse du comportement et le temps de réponse du corps. Une bonne maîtrise de ces fonctions équivaut à une bonne coordination. Un retard psychomoteur chez un enfant est caractérisé par des difficultés dans le domaine de la motricité et/ou des acquisitions mentales et/ou sensorielles. Un enfant qui souffre d'un retard psychomoteur aura par exemple des difficultés à se tenir assis, ne parviendra pas à marcher ou à parler à un âge normal. Le mouvement même de la marche fait, quant à lui, appel à l'appareil locomoteur qui traite des fonctions motrices et de la mobilité, y compris les fonctions des articulations, des os, des réflexes et des muscles. Premièrement, les fonctions d'articulation et des os sont relatives à la mobilité (amplitude et facilité du mouvement) et à la stabilité des articulations (maintien de l'intégrité structurelle) d'une part, à la mobilité des os soit l'amplitude et la facilité de mouvement de l'omoplate, du pelvis, des os du carpe et du tarse, d'autre part. Des déficiences d'articulation comme l'arthrite peuvent créer des difficultés de déplacement au quotidien en provoquant des douleurs en début d'effort qui disparaissent avec l'échauffement en cas d'inflammation légère. Deuxièmement, les fonctions d'un muscle ou de groupes de muscles dépendent de la puissance (force générée par la contraction) ; du tonus, soit la tension présente dans les muscles au repos et à la résistance offerte lors de l'exécution de mouvements passifs ; et de l'endurance musculaire, en d'autres termes le maintien d'une contraction musculaire pour la période de temps requise. Dans le cadre de la marche, les déficiences les plus courantes sont : la monoparésie et la monoplégie (muscles d'un membre), l'hémi-parésie et l'hémi-plégie (côté gauche ou droit du corps), la paraparésie et la paraplégie (moitié inférieure) ou encore la tétraparésie et la tétraplégie (tous les membres). La parésie est un déficit moteur défini par une perte partielle des

capacités motrices alors que le suffixe *-plégie* (ou paralysie) fait référence à une perte ou diminution de la contractilité d'un ou de groupes de muscles.

Pour assurer son fonctionnement et sa mise en mouvement, le corps a besoin de fonctions métaboliques générales qui régulent les composants essentiels de l'organisme, tels que les glucides, les graisses, leur conversion et leur transformation en énergie et de fonctions d'équilibre hydrique, minéral et électrolytique qui règlent l'organisme. La consommation d'aliments et d'eau sont donc indispensables au fonctionnement du corps. De plus, le corps a besoin d'oxygène qu'il utilise comme comburant pour brûler les nutriments contenus dans l'alimentation. L'arrivée d'oxygène dans le sang est assurée par les fonctions du système respiratoire qui permettent l'inhalation de l'air dans les poumons, l'échange des gaz entre l'air et le sang et l'expiration de l'air. Les fonctions respiratoires dépendent de la fréquence respiratoire (nombre de respirations par minute), du rythme respiratoire (périodicité et à la régularité de la respiration) et de la profondeur de la respiration liées au volume d'expansion des poumons pendant la respiration. Elles sont rendues possibles par les muscles respiratoires impliqués dans la respiration – muscles thoraciques, diaphragme, etc. Le cœur permet, quant à lui, des fonctions de pompage dans l'organisme des quantités de sang adéquates ou requises et gère la pression sanguine. Pour cela, il est dépendant : de la fréquence cardiaque (nombre de contractions cardiaques par minute), du rythme cardiaque (régularité des contractions cardiaques), de la force de contraction des muscles ventriculaires, liée à la quantité de sang pompée par les muscles ventriculaires à chaque contraction et à l'apport sanguin au cœur lié au volume de sang disponible pour le muscle cardiaque. Ces fonctions métaboliques générales participent à la capacité d'un individu à maintenir dans le temps un certain niveau d'intensité exigée par un effort physique tel que la marche^{XII}. Des déficiences de ces fonctions métaboliques peuvent entraîner une incapacité à fournir un effort sur une certaine durée/distance. En outre, une consommation alimentaire insuffisante ou déséquilibrée peut créer une baisse énergétique passagère pouvant conduire à de l'anémie ou un malaise. La capacité d'un individu à se déplacer sur une durée/distance varie, entre autres, selon ses caractéristiques physiques (sexe, gabarit, etc.), son état de santé mais aussi selon une alimentation suffisante et équilibrée.

Perceptions sensorielles et fonctions associées

Pour finir, la marche est régulièrement décrite comme une expérience sensorielle qui implique une relation entre le corps et l'environnement qui l'entoure. Pour ce faire, ce sont les fonctions perceptuelles qui offrent une reconnaissance et une capacité d'interprétation des *stimuli* sensoriels. Il existe cinq types de perceptions sensorielles impliquées dans la marche :

^{XII} Voir aussi 2.2-c. Tolérance à l'effort et sensations de douleur

- la *perception auditive* impliquée dans la discrimination des sons, des tons, des timbres et autres *stimulus* acoustiques ;
- la *perception visuelle* impliquée dans la discrimination de la forme, de la taille, de la couleur et d'autres *stimuli* oculaires ;
- la *perception olfactive* impliquée dans la distinction des différences entre les odeurs ;
- la *perception tactile* impliquée dans la distinction des différences dans la texture, telles que les *stimuli* rudes ou doux, détectés par le toucher ;
- la *perception visuospatiale* impliquée dans la distinction par la vue de la position relative des objets dans l'environnement ou par rapport à soi.

L'influence ou encore l'utilité de la perception gustative qui permet la distinction des différences entre les goûts, tels que les *stimuli* sucrés, salés, acides et/ou amers, détectés par la langue dans les déplacements piétons est ouverte au débat. Il apparaît concevable de l'imaginer en tant que *stimulus* mémoriel associé à la perception olfactive et participant à la représentation que se fait l'usager d'un espace de manière attractive ou répulsive.

Ces perceptions sensorielles sont directement liées à certaines fonctions de l'organisme comme les *fonctions visuelles* et connexes, les *fonctions de l'audition* et *vestibulaires* ou encore les *fonctions sensorielles*.

Les *fonctions visuelles* sont associées à la perception de la présence de lumière et à la perception de la forme, de la taille et de la couleur du *stimulus* visuel. Pour Stéphane Vieilledent *et al.* [2001 : p. 65-66] les fonctions visuelles jouent un rôle important dans la perception spatiale, l'apprentissage et la représentation. Elles permettent aux usagers piétons d'orienter leur locomotion le long de trajectoires particulières et fournissent des informations sur la disposition générale de l'environnement, y compris la position de certains lieux (distance et direction) par rapport au corps et leur position relative. En ce sens, Jean-Paul Thibaud *et al.* considèrent que :

La vue permet « non seulement au piéton de déchiffrer l'espace qui l'entoure, de s'orienter en son sein mais aussi de détecter la présence d'autrui et d'anticiper à distance sa trajectoire. La vue est aussi un vecteur d'appropriation de l'espace parcouru : elle est la voie par laquelle le piéton discrimine les points de repère qui lui permettent de s'orienter et de mener à bien son trajet. La vue est enfin un vecteur de régulation de la sociabilité urbaine : elle organise l'espace parcouru en un certain nombre de champs de *visibilités mutuelles* qui donnent à voir, à prévoir et à organiser les actions réciproques des piétons ».

[Thibaud *et al.*, 2008 : p. 14]

De manière partielle ou totale, ces fonctions visuelles peuvent être amenées à être altérées à la naissance ou au cours de la vie. Il existe différentes formes de déficiences visuelles partielles comme la myopie, l'hypermétropie, l'astigmatisme, l'hémianopsie, l'achromatopsie, le scotome central et périphérique (point dans le

champ de vision), la diplopie, l'héméralopie, la photophobie, etc. Par ailleurs, en cas de déficience majeure ou totale des fonctions visuelles, l'utilisateur tend à reporter son acuité sur d'autres fonctions perceptives pour compenser. En effet, les études de Jack Loomis *et al.* [2001] indiquent que, lors de leurs déplacements, les non voyants ont accès à un nombre conséquent d'informations pour effectuer leurs trajets telles que : des sources sonores environnementales qui fournissent des informations sonores de flux, la perception tactile des rayons solaires ou des vents dominants, la perception générale de la pente qui fournit des indications directionnelles, etc. Leurs résultats montrent également que les sujets non voyants indépendants et mobiles au quotidien semblent développer de meilleures aptitudes spatiales que ceux qui ne le sont pas.

Les *fonctions de l'audition* sont associées à la perception de la présence de sons et à la discrimination de la localisation, du ton, de la force et de la qualité des sons. Elles dépendent de l'écoute et de la perception de la présence de sons impliquant la discrimination figure-fond et la synthèse binaurale^{XIII}, la différenciation et le mélange. Elles permettent de déterminer l'endroit de la source du son et s'il vient du côté droit ou gauche. Pour finir, elles rendent aussi possible la détermination du langage parlé et de sa distinction par rapport à d'autres sons. Dans la marche urbaine, l'ouïe apparaît comme un sens en retrait par rapport aux fonctions visuelles. Toutefois, les fonctions de l'audition ont un rôle important en permettant de situer l'émergence d'un son qui pourrait alerter le piéton sur une modification de l'environnement. « Lors d'une traversée de voie sans feu de signalisation, la capacité d'écoute du passant est autant engagée que son acuité visuelle et/ou sa propension à accélérer le pas ; elle le renseigne sur la présence éventuelle de véhicules et leur vitesse » [Thomas, 2003a : p. 244]. De plus, si les fonctions visuelles ont un rôle dans l'appréhension des distances et de la spatialité, celles de l'audition permettent l'ajustement des trajectoires et des allures de déplacement [Thomas, 2003b : p. 3]. En outre, lorsque l'utilisateur est exposé à des sonorités fortes, ponctuelles ou constantes, les fonctions auditives peuvent être sources de gêne et de déplaisir : « L'homme qui marche en ville baigne dans une sonorité souvent vécue à la manière d'un désagrément » [Le Breton, 2000 : p. 135].

Les *fonctions de l'odorat* correspondent aux fonctions sensorielles de perception des odeurs. Jean-Paul Thibaud *et al.* considèrent que les odeurs, en ville, marquent les territoires parcourus d'une « empreinte olfactive », parfois tenace, qui accompagne le marcheur en même temps qu'elle enveloppe son corps. « Simple fragrance, l'odeur entête, enivre ou repousse, modifie le rythme et la posture autant qu'elle signe le lieu » [Thibaud *et al.*, 2008 : p. 15].

^{XIII} La *synthèse binaurale* tend à recréer un environnement sonore réaliste ou créatif en tentant de fournir aux cerveau de l'auditeur des informations sur un trajet fictif de l'onde sonore dans l'espace (diffraction, réverbération, dissipation atmosphérique...).

Les *fonctions vestibulaires* correspondent aux fonctions sensorielles de l'oreille interne qui permettent de déterminer la position, l'équilibre et les mouvements du corps, y compris sa direction et sa vitesse. Alain Berthoz précise que :

« Les capteurs vestibulaires ne peuvent distinguer une accélération de la tête dans un sens, du freinage dans l'autre sens, il faut lever cette ambiguïté à l'aide d'informations tactiles ou visuelles : raison fondamentale pour laquelle la perception nécessite une coopération entre les sens ».

[Berthoz, 1997 : p. 46]

En cas de déficience provisoire ou durable de l'audition ou des fonctions vestibulaires, les sensations qui en découlent peuvent être interconnectées. Ces sensations apparaissent sous diverses formes : bourdonnement dans les oreilles ou acouphène, étourdissement ou vertige (voire nausée conséquente, sensation de chute), irritation ou encore pression dans l'oreille, etc.

Les *fonctions du toucher* sont des fonctions sensorielles de perception des surfaces et de leur texture ou de leur qualité. D'autres fonctions sensorielles peuvent être vulgairement associées à celle du toucher comme celle de la perception des *stimuli* liés à la température (froid, chaleur), aux vibrations (tremblement, oscillation), à la pression contre ou sur la peau et des *stimuli* nocifs (sensations douloureuses ou désagréables) [Berthoz, 1997 : p. 36].

Les *fonctions proprioceptives* permettent de percevoir la position relative des parties du corps. Alain Berthoz [1997 : p. 32 ; 39] précise, dans son livre, que le sens de la proprioception est conduit par des capteurs sensoriels qui détectent l'allongement des muscles et ne mesurent que les mouvements relatifs des masses corporelles entre elles. En ce sens, il contribue également à la perception de la position et de la vitesse.

En conclusion, le processus de la marche urbaine requiert un ensemble de fonctions et de systèmes physiques et mentaux menant, dirigeant et planifiant l'action. Les fonctions organiques (physiologie) et les structures anatomiques (organes, membres) des usagers piétons forment, pour ce faire, un système complexe interagissant afin de permettre le mouvement et en assurer le contrôle. Effectuer un trajet demande aux usagers piétons de planifier consciemment ou inconsciemment leurs parcours puis, pendant l'action, de faire ***un va-et-vient constant entre perception, cognition et représentation pour réaliser leurs déplacements et gérer leurs trajectoires en fonction de leurs caractéristiques intrinsèques et de l'environnement qui les entoure***. De surcroît, en fonction des usagers, des déficiences de fonction organique ou de structure anatomique peuvent survenir – à la naissance, au cours du processus de vieillissement ou suite à un accident – et influencer l'exécution d'une tâche ou l'implication d'une personne dans une situation de vie réelle. Les déficiences concernent tôt ou tard tous les usagers piétons et peuvent consister en une anomalie, une carence, une perte ou tout autre écart par rapport à une norme au niveau des structures anatomiques. Elles peuvent être temporaires ou permanentes ; progresser ou rester stables, être

intermittentes ou continues. Par ailleurs, les déficiences peuvent faire partie intégrante d'un état de santé donné sans signifier nécessairement la présence d'une maladie. La capacité de participation à la vie quotidienne et l'autonomie d'un individu sont donc déterminées par ses caractéristiques intrinsèques et un état de santé général.

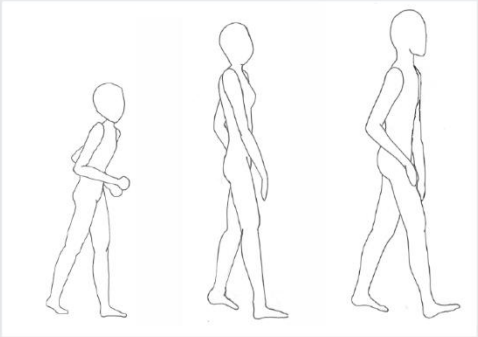
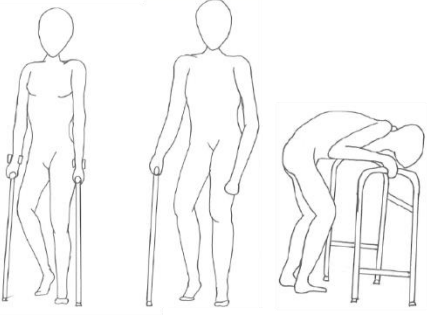
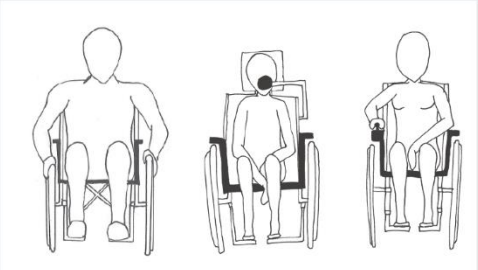
2.2. Déterminer un état de santé général et son influence sur le déplacement

En déterminant la capacité à porter, déplacer et manipuler des objets, la capacité à changer et maintenir la position du corps, et la capacité à marcher et se déplacer d'un individu, il est possible d'évaluer en quels points les problèmes de santé d'un usager peuvent limiter ses activités physiques. Premièrement, les caractéristiques des usagers piétons ont une influence sur leurs capacités à changer la position de leur corps ou d'aller d'un endroit à un autre, en portant, en transportant ou en manipulant des objets, en marchant, courant ou encore en utilisant divers moyens de transport. En cas de déficience, des aides à la marche peuvent être utilisées en support au déplacement et influencer le gabarit d'un usager. Deuxièmement, les usagers piétons sont caractérisés par des gabarits (taille, largeur, poids) qui modifient leurs perceptions de l'environnement et leurs capacités d'accès. Et troisièmement, la tolérance à l'effort ainsi que la perception de la douleur varient en fonction des individus et peuvent limiter leurs activités au quotidien.

Postures et aides à la marche

La plupart du temps, la pratique de la marche nécessite de se mettre debout, c'est-à-dire d'adopter la position debout à partir de n'importe quelle position comme l'assise ou l'allongement. Elle requiert aussi de déplacer son centre de gravité en ajustant ou en déplaçant le poids du corps d'un endroit à l'autre en se balançant d'un pied sur l'autre. Le maintien de cette position dans l'espace, associé à la posture, conditionne l'acte de la marche mais aussi les distances que l'individu peut parcourir. Toutefois, en fonction de certaines déficiences, le maintien de la posture *debout* peut apparaître difficile à réaliser ou encore à maintenir pendant un certain temps. Dans ce cas, des aides à la marche permettent de favoriser le déplacement des usagers en fonction de la zone du corps touchée mais aussi de leur tolérance à l'effort (cf. tableau II-2). Ainsi, pour des usagers, n'ayant pas la capacité de maintenir la posture « debout » pendant un temps suffisant au déplacement, des aides à la marche comme les fauteuils roulants permettent de se déplacer en posture « assise ». Au final, les déplacements piétons urbains peuvent donc être réalisés selon deux postures différentes : *debout* et *assise*. Une dernière posture peut également être adoptée de manière temporaire, la posture *intermédiaire* qui consiste à se pencher pour se déplacer – c'est-à-dire de courber le dos vers l'avant ou sur le côté, à hauteur du tronc – pour éviter des obstacles au cours d'un déplacement, par exemple.

Tableau II-2 : *Postures et aides au déplacement piéton en fonction des usagers*

Posture	Aides au déplacement	Illustrations (non exhaustives)
Debout	Chaussures Semelles orthopédiques	
Debout	Chaussures Semelles orthopédiques Béquilles Canne(s) Déambulateur Orthèse Prothèse Exosquelette	
Assise	Fauteuil non motorisé Fauteuil motorisé	

Auteur : Victor N., 2015

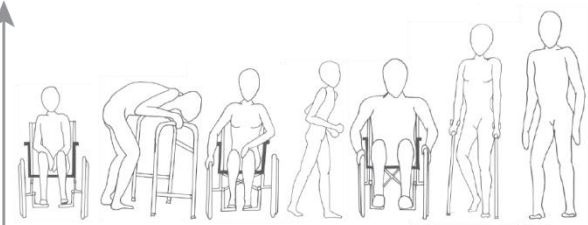
Les aides au déplacement, en elles-mêmes, sont variées et vont de la simple utilisation de chaussures au fauteuil motorisé. Leurs utilisations peuvent être combinées (ex. chaussures et semelles orthopédiques) et provisoires ou définitives à l'image des déficiences. Louis-Pierre Grobois [2010 : pp. 23-24] identifie, dans son guide *Handicap et construction*, trois principales sortes d'aides à la marche – les cannes, les déambulateurs et les orthèses – et quatre types d'aide au déplacement de types fauteuils roulants. La canne, la canne anglaise ou la béquille et le tétrapode peuvent s'utiliser en simple ou en double, suivant la nature du trouble fonctionnel de la personne (fatigue, fractures, hémiplegie, troubles cardiaques). Le déambulateur, équipé de pieds ou de roues, permet de marcher en appuyant les deux mains sur l'appareil. Les orthèses, qui font toujours l'objet de recherche, sont des appareillages qui visent à compenser une fonction absente ou déficitaire ou encore à assister une structure articulaire ou musculaire. En ce qui concerne les types de fauteuils roulants, le choix du modèle s'effectue en fonction de la personne. Les principaux types sont les suivants : le fauteuil dit « universel », choisi par plus de

50 % des usagers, à commandes manuelles sur chaque roue et grande roues à l'arrière convient à la plupart des personnes paraplégiques, le fauteuil universel à commandes manuelles sur une seule roue convient aux personnes hémiplegiques, le fauteuil à commandes manuelles sur chaque roue, et à grande roues à l'avant, convient mieux à certains paraplégiques ayant des problèmes de répartitions d'équilibre, et le fauteuil à commande électronique avec moteurs électriques et batteries convient aux personnes qui ne disposent que de faibles ressources physiques, comme les tétraplégiques. L'utilisation de ces aides requiert des largeurs minimales de déplacement variables qui doivent donc être prises en compte lors de la spécification du gabarit d'un usager.

Gabarit : stature, largeur et poids

Chaque usager piéton possède son propre gabarit qui désigne la stature, la largeur et le poids. Ce gabarit peut être amené à être modifié au cours de sa vie, de manière naturelle ou suite à la nécessité d'utiliser une aide à la marche (largeur en utilisant une canne, un fauteuil, etc.). La stature d'un individu (ou taille) est la hauteur mesurée de la surface du sol jusqu'au sommet du crâne. Elle peut toutefois être modifiée en fonction de l'utilisation d'une aide à la marche (cf. tableau II-3).

Tableau II-3 : *Sélection de statures moyennes suivant la posture adoptée par les usagers piétons*

Sexe	Posture	Stature (cm)	Illustrations (non exhaustives)
Masculin	Debout	162-186 cm**	
	Assise	131-145 cm*	
Féminin	Debout	152-174 cm**	
	Assise	131-145 cm*	

Sources : * Grobois, 2010 ; ** Carnet de santé luxembourgeois et étude CIE-INSERM | Auteur : Victor N., 2015

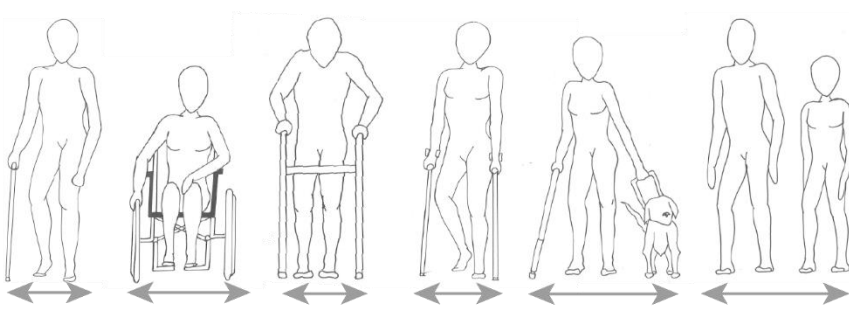
Par ailleurs, à l'âge adulte, une déficience de la croissance peut impliquer une taille moyenne inférieure à plus de 20 % à la taille moyenne nationale. Parmi les centaines de formes existantes de nanisme, la plus répandue correspond à l'achondroplasie où les membres sont plus touchés que le tronc, tout comme la croissance des os du visage^{XIV}. Le fait que les membres soient touchés peut avoir une influence sur la marche et la capacité d'accéder à certaines hauteurs (marche ou trottoir haut). Enfin, à partir de 85 ans, la sénescence conduit à une perte de quelques centimètres consécutive à un tassement de la colonne vertébrale. La stature est donc variable en fonction des usagers mais aussi de leurs âges.

^{XIV} « Association des personnes de petites tailles » française : <http://www.appt.asso.fr/petite-taille/types-nanisme.html> ; vu le 16/03/2015.

Pour les études d'accessibilité ou de mobilité, la stature permet de déterminer, entre autres, les capacités d'atteinte et de préhension d'un individu en fonction de sa posture. Par exemple, pour une personne utilisant un fauteuil roulant, elles sont mesurées lorsqu'il est en posture assise [Grobois, 2010 : p. 15]. La capacité de préhension d'une personne tient ainsi compte de la stature mais aussi de l'aire d'atteinte en fonction de la longueur du bras. Pour finir, la stature et la posture sont également utilisées afin de déterminer le point de vue d'un individu sur l'espace, c'est-à-dire son angle de vue en fonction de la hauteur de ses yeux. Pour James Gibson [1986 : p. 72], l'observation implique également le mouvement. Par conséquent, la structure d'un champ de vision à partir d'un point fixe d'observation n'est qu'un cas particulier de celle à partir d'un point mobile. Le point d'observation défile normalement le long d'une trajectoire de déplacement et les « formes » dans le champ évoluent au fur et à mesure. Plus précisément, chaque angle de vue, grand ou petit, est ainsi soit agrandi, soit réduit, comprimé ou encore anéanti lorsque la surface est hors de vue. Lorsqu'un usager doit se déplacer en utilisant une aide au déplacement, son champ de vision dépend donc bien de la posture que requiert cette aide et de la stature qu'elle induit.

L'utilisation d'une aide au déplacement ou la présence d'un tiers influencent également la largeur nécessaire pour circuler (cf. tableau II-4). Certaines situations sont adaptables, d'autres non. Ainsi, des personnes circulant en groupe face à une contrainte liée à la largeur peuvent se mettre en file indienne dans un passage étroit. Il peut en être de même pour une personne circulant avec un chien.

Tableau II-4 : *Sélection de largeurs moyennes suivant l'aide au déplacement utilisé par un usager piéton*

Aide au déplacement	Canne, béquille seule	Fauteuil	Rolator, déambulateur	Béquilles	Canne blanche et chien	Personne accompagnante
Largeur (en cm)	70 *	65-75 *	80 *	90 *	110 *	120 **
Illustrations (non exhaustives)						

Sources : * Grobois, 2010 ; ** <http://www.anlh.be/accessvoirie/acc07.htm> | Auteur : Victor N., 2015

Toutefois, certains supports au déplacement comme les fauteuils roulants, les déambulateurs ou encore les landaus ne permettent pas de flexibilité vis-à-vis de la largeur. Il en est de même en cas d'encombrement où la largeur est conditionnée pour celle de l'objet ou de la personne qui sont transportés. Pour se déplacer dans

un espace, les trajets doivent donc être planifiés de manière à prendre en compte ces largeurs minimales fixes.

Dernier aspect du gabarit, le poids correspond à la masse corporelle d'un individu, mesurée en kilogrammes. Il est directement corrélé à la consommation énergétique nécessaire à un individu pour marcher [Didier *et al.*, 1995 : p. 475]. Par ailleurs, l'utilisation d'aides à la marche ajoute également un poids additionnel pouvant limiter le mouvement (enfoncement, franchissement de hauteur) ou requérir un effort supplémentaire à force de levées répétées comme pour un déambulateur [Priebe et Kram, 2001]. Ce poids varie en fonction de l'aide au déplacement et des équipements installés. Un fauteuil roulant universel pèse, par exemple, entre 12 et 25 kg contre 40 à 50 kg environ pour un fauteuil électrique équipé de ses batteries [Grobois, 2010 : p. 25]. Le poids lié au port d'une charge, comme un objet ou un enfant, requiert également une consommation énergétique additionnelle qui varie en fonction de l'emplacement de la charge sur le corps (dos, main, jambe), de la vitesse de marche et du poids de la personne [Knapik *et al.*, 1996 : p. 207 ; Abe *et al.*, 2004 : p. 208].

La corpulence d'un usager piéton peut aussi être une caractéristique influente sur la capacité de déplacement piéton lors de circonstances spécifiques telles que le surpoids ou l'obésité. Quel que soit l'âge, l'excès de poids semble, en effet, jouer un rôle majeur et évident dans l'intolérance à l'effort, en augmentant le coût énergétique et en diminuant la réserve métabolique lors de la marche [Mendelson *et al.*, 2012]. La cause fondamentale de l'obésité et du surpoids est un déséquilibre énergétique entre les calories consommées et dépensées. L'obésité est classée en trois classes par l'OMS en fonction du risque de morbidité, soit à quel point la corpulence peut entraîner un risque pour la santé de l'individu (cf. tableau II-5) : modérée (classe I), sévère (classe II) et morbide (classe III). A l'échelle mondiale, en 2014, plus de 600 millions d'adultes – personnes de 18 ans et plus – étaient obèses [OMS, 2015] et en 2008, au Luxembourg, 55 % de la population résidente âgée de 16 ans et plus était en surcharge pondérale et parmi eux, 37 % en surpoids et 18 % obèses [Tchicaya et Lorentz, 2010 : p. 1]. Le standard utilisé par l'OMS pour évaluer les risques liés au surpoids chez l'adulte est l'indice de masse corporelle (IMC) – ou *Body Mass Index* (BMI) ou indice de Quetelet qui estime la corpulence d'une personne en fonction de sa taille et de son poids :

$$IMC = \frac{masse}{taille^2}$$

Il s'agit de la mesure la plus utile du surpoids et de l'obésité dans une population car, chez l'adulte, l'échelle est la même quels que soient le sexe et l'âge du sujet. Il donne toutefois une indication approximative car il ne correspond pas forcément au même degré d'adiposité d'un individu à l'autre et ne prend pas en compte la proportion de masse musculaire, ni de masse osseuse. Il est également inadapté pour les personnes à la stature exceptionnelle (personnes de petites ou de très grandes tailles) ou encore les amputés d'un membre.

Tableau II-5 : *Interprétation de l'indice de masse corporelle (IMC)*

IMC (kg/m ²)	Interprétation
< 18,5	maigre
18,5 - 24,9	corpulence normale
25 - 29,9	surpoids
30 - 34,9	obésité modérée (classe I)
35 - 39,9	obésité sévère (classe II)
≥ 40	obésité morbide (classe III)

Source : Organisation Mondiale de la Santé | Auteur : Victor N., 2015

La littérature sur la mobilité des personnes en situation d'obésité (classe I à III) montre qu'il n'y a pas d'effets significatifs de la surcharge pondérale sur les vitesses [Fujiyama et Tyler, 2011 : p. 104 ; Browning et Kram, 2005 : p. 895], ni de la consommation énergétique nécessaire à la marche lorsque les individus se déplacent à leurs vitesses de confort [Weyand *et al.*, 2010 : p. 3976 ; Browning *et al.*, 2006 : p. 393]. Néanmoins, un IMC élevé est un facteur important de risque de maladies chroniques pouvant peser sur la capacité de déplacement d'une personne en provoquant des déficiences au niveau du système cardio-vasculaire ou encore de l'appareil locomoteur (ex. arthrose) [OMS, 2015 ; Browning et Kram, 2007]. De surcroît, l'intolérance à l'effort est fréquente dans l'obésité et se manifeste par une dyspnée excessive chez 80 % des obèses contre 16 % de sujets normo-pondéraux lors d'une montée de deux volées d'escaliers [Mendelson *et al.*, 2012 : p. 223]. En cas d'obésité morbide (classe III), l'effet du poids de la graisse sur le thorax incite le sujet à respirer à bas niveau de volume pulmonaire et entraîne, au moins chez certains sujets, une limitation du débit expiratoire et une diminution de la performance maximale à l'effort.

Le gabarit apparaît donc comme un indicateur supplémentaire ayant un rôle sur le fonctionnement au quotidien et sur l'état de santé d'un individu. Il conditionne l'accessibilité à l'espace mais aussi dans certains cas la tolérance à l'effort.

Tolérance à l'effort et sensations de douleur

En tant que mode actif, la marche requiert une certaine tolérance à l'effort basée sur les fonctions associées à la capacité respiratoire et cardio-vasculaire qui sont nécessaires pour endurer cet effort physique. Elle est basée sur une endurance physique générale permettant un niveau de tolérance à l'exercice physique et une certaine résistance, une capacité aérobie permettant de faire de l'exercice sans s'essouffler et une prédisposition à la fatigue quel que soit le niveau d'effort. Pour ce faire, le corps requiert des fonctions impliquées dans le système cardio-vasculaire (fonctions du cœur et des vaisseaux sanguins), les systèmes hématopoïétiques (fonctions de production du sang) et le système respiratoire (fonctions de respiration et de tolérance à l'effort). Lors d'un effort plus soutenu, comme monter une pente ou des escaliers ou encore marcher vite, certaines sensations telles que des

palpitations ou encore avoir le souffle court sont associées aux fonctions cardiovasculaires et respiratoires. Des déficiences de ces fonctions peuvent ainsi engendrer une limitation d'activité dans la vie quotidienne comme une incapacité du myocarde – tissu musculaire du cœur – à assurer un débit cardiaque suffisant pour couvrir les besoins énergétiques de l'organisme ou encore un arrêt respiratoire ou ventilatoire, pouvant survenir après un effort physique.

Pour finir, la sensation de douleur peut avoir une influence importante sur les capacités à fonctionner dans la vie, ainsi que sur le bien-être perçu, dans les domaines physiques, mentaux et sociaux. La douleur correspond à une sensation désagréable indiquant des dommages potentiels ou réels à une structure organique et peut être : généralisée (structure corporelle), dans une partie précise (structure organique) – tête ou cou, poitrine, estomac ou abdomen, dos, membre supérieur/inférieur, articulation –, à localisations multiples (structure organique dans diverses parties du corps), dans un dermatome (structure organique située dans une zone de la peau innervée par la même racine nerveuse) ou encore irradiante dans un segment ou une région (structure organique située dans diverses parties du corps innervées par des nerfs différents). Elle peut être aigüe en jouant un rôle d'alarme qui va permettre à l'organisme de réagir et de se protéger face à un *stimulus* mécanique, chimique ou thermique ou chronique et dans ce cas pathologique^{xv}. Trois formes de douleurs chroniques peuvent être distinguées selon les mécanismes physiologiques en jeu : les douleurs inflammatoires qui recouvrent toutes les douleurs associées aux phénomènes d'inflammation (lésions, arthrose, etc.), les douleurs neuropathiques associées à des atteintes du système nerveux central et périphérique (lésion de la moelle épinière, du nerf sciatique, etc.) et les douleurs cancéreuses qui associent souvent une composante inflammatoire et neuropathique. Dans l'organisme, une douleur aigüe va stimuler les terminaisons nerveuses cutanées qui sont également présentes dans d'autres tissus (muscles, articulations, viscères, etc.). Après avoir été stimulées, ces terminaisons vont transmettre un message nerveux via des nerfs spécialisés : les nocicepteurs. L'information est ensuite transmise à la moelle épinière, site des premiers relais nerveux, puis au cerveau. La douleur est subjective puisqu'elle peut être ressentie de façon extrêmement différente en fonction des individus mais aussi pour une même personne selon son environnement et son état d'esprit. Évaluer à part l'influence de la douleur sur le fonctionnement de la vie quotidienne est donc indispensable puisque les réactions diffèrent en fonction des individus, indépendamment de la présence de lésions ou de déficiences.

Pour évaluer la capacité de déplacement d'un individu, l'état de santé d'un individu doit donc tenir compte, de sa motricité, de son gabarit, de sa tolérance à l'effort et pour finir, d'éventuelles douleurs qu'il pourrait ressentir. Chez les individus, l'influence de l'état de santé général sur leurs activités et leur fonctionnement au quotidien ne peut être totalement décrite par la présence de

^{xv} INSERM 2011, Article en ligne sur la douleur, vu le 18/03/15, <http://www.inserm.fr/thematiques/neurosciences-sciences-cognitives-neurologie-psychiatrie/dossiers-d-information/douleur>

déficiences. La perception que les gens ont de leur état de santé, leur tolérance à l'effort ou à la douleur apparaissent comme subjectifs et nécessitent d'être également pris en compte.

Conclusion du chapitre II

Le piéton contemporain n'est plus seulement un homme qui « se sert de ses pieds » mais se décline en un grand nombre d'usagers aux caractéristiques différentes (genre, âge, motricité, état de santé, etc.). Leurs habitudes de déplacement et leurs comportements varient en fonction de chacun mais aussi suivant un processus d'apprentissage au cours de la vie et l'adhésion à certains stéréotypes en fonction du sexe ou encore de l'âge. Ces multiples différences amènent à la conclusion qu'une connaissance véritable des usagers piétons doit aussi passer par une analyse des caractéristiques physiques et psychologiques impliquées dans la marche.

Par ailleurs, si les caractéristiques physiques apparaissent plus ou moins fonctionnelles selon les individus, leurs influences sur la participation aux activités de la vie quotidienne ne sont pas pour autant homogènes. ***La prise en compte des caractéristiques individuelles des usagers piétons est donc indispensable à la retranscription de la relation entre ces derniers et l'environnement.*** En outre, le recours aux aides au déplacement palliant l'incapacité à maintenir la posture debout pendant une certaine durée met en lumière un paradoxe : les usagers piétons ne marchent pas forcément mais peuvent également rouler. Le concept de *marche* urbaine mis en avant dans le chapitre I implique donc des usagers piétons qui peuvent marcher mais aussi utiliser d'autres dispositifs. Afin de tenir compte de cette ambivalence et de l'ensemble des usagers piétons, l'identification et la localisation de configurations spatiales suscitant la marche devraient donc être étendues aux *déplacements piétons* urbains en général.

Pour finir, l'étude des caractéristiques physiques et psychologiques impliquées dans la marche a démontré l'importance d'approcher le spatial à travers le point de vue des usagers piétons. Tout usager piéton peut, en effet, se retrouver en situation de handicap, de manière ponctuelle, récurrente ou permanente, face à une inadéquation entre ses caractéristiques intrinsèques et l'environnement qui l'entoure. Afin de révéler ces cas d'inadéquation, nous proposons de nous concentrer sur une sélection de caractéristiques physiques des usagers en fonction de leur implication dans la marche. L'étude de l'influence des fonctions locomotrices et des postures sur la relation usagers/environnement permettra d'estimer des vitesses de déplacement mais aussi de tenir compte de restrictions au déplacement piéton. Les fonctions métaboliques et le gabarit permettront, quant à eux, de mesurer la consommation énergétique nécessaire à la marche.

Chapitre III.

L'environnement urbain du point de vue des usagers piétons

Pédestre :

« du piéton », « qui est à pied » Qui se fait à pied : randonnée pédestre, promenade pédestre ; Qui représente une personne à pied : statue pédestre.

Piéton [adj.] :

A l'usage exclusif des piétons : sentier piéton, entrée piétonne, rue piétonne, voie piétonne.

Piétonnier :

Réservé à l'usage des piétons : chemin piétonnier, rues, voies piétonnières, zone piétonnière, rue piétonnisée.

Dictionnaire culturel en langue française [Rey, 2005]

Dans les chapitres précédents, l'étude des piétons par catégories en fonction de variables interindividuelles, puis selon les caractéristiques individuelles impliquées dans la marche, démontre que les déplacements pédestres sont inscrits dans un *continuum* de mobilités. Cette approche permet d'appréhender le déplacement piéton, dans son ensemble, de manière plus flexible en fonction des caractéristiques d'une personne (appuis, posture, vitesse, etc.) qui sont elles-mêmes influencées par la relation usager-environnement-temps. *Toutefois, puisque tout usager peut un jour ou l'autre faire face à une situation de handicap, une étude approfondie de l'environnement est indispensable. Il en ressort que les parcours facilitant le déplacement des uns ne conviennent pas forcément aux autres et que les aménagements et législations mis en place pour sécuriser la pratique de la marche ne peuvent entièrement tenir compte de la variété d'usagers piétons.* De ce fait, dans un premier temps, l'environnement urbain doit être abordé du point de vue de l'utilisateur pour comprendre la façon dont il se

l'approprie et choisit ses itinéraires. Dans un second temps, les aménagements normés et les législations mises en place pour faciliter les mobilités de chaque mode de déplacement doivent être recensés afin d'identifier et localiser les chemins piétonniers accessibles à chaque usager selon ses caractéristiques.

1. L'environnement urbain : appropriation et parcours piétons

Se déplacer dans l'environnement urbain nécessite de développer un ensemble de stratégies complexes et variables selon le contexte de déplacement. Les usagers piétons effectuent ainsi leur choix modal et planifient leurs itinéraires en fonction de besoins à satisfaire (faisabilité, accessibilité, utilité des lieux, sécurité, etc.) mais aussi d'attributs de l'environnement liés à un ensemble de critères métriques, de connectivité, de linéarité, fonctionnels ou encore environnementaux et paysagers. Toutefois, la morphologie de l'environnement urbain implique également de développer des stratégies d'évitement d'obstacles ou de coupures urbaines (infrastructures de transports, barrières naturelles). *Dès lors, si les chemins piétonniers sont formés à partir de la relation qu'entretient l'usager avec l'environnement qui l'entoure, comment identifier les configurations spatiales suscitant la marche en milieu urbain ?* Après avoir identifié les diverses stratégies de déplacements dont peuvent se servir les usagers piétons, nous proposons de définir les axes facilitateurs à la marche pour aboutir à une réflexion sur les conditions d'accès au milieu urbain.

1.1. Stratégies de déplacements piétons et représentations spatiales

Les éléments de l'environnement urbain peuvent alternativement faciliter ou entraver le déplacement, selon le contexte et l'objectif de déplacement et, dès lors, inciter à emprunter un parcours plutôt qu'un autre. Les chemins piétonniers sont ainsi la conséquence d'une relation *attraction-répulsion* entre l'environnement urbain et l'usager qui se révèle complexe et changeante. Elle l'est, d'autant plus, que l'environnement urbain conditionne l'accès physique des usagers piétons et que ces derniers perçoivent également l'espace à travers des filtres cognitifs structurant l'espace sous forme de représentations spatiales et de barrières mentales^{xvi}. Pour une entière compréhension de la formation de chemins piétonniers, il est donc nécessaire d'aborder la relation usager-environnement sous différentes facettes selon les besoins piétons sous-jacents aux processus de déplacement, les stratégies développées pour effectuer un trajet et enfin la façon dont l'environnement urbain piéton est conçu.

Le processus de déplacement piéton est soumis à un certain nombre de conditions, voire de besoins, que les usagers cherchent à satisfaire lors de la planification et de l'exécution d'un trajet [Metha, 2008 ; Alfonzo, 2005] : *faisabilité et accessibilité, utilité des lieux, sécurité, confort environnemental et physique, plaisir des sens*

^{xvi} Barrières *psychologique* et *mentale* doivent être bien différenciées : si la première correspond à une inadéquation entre l'environnement réel et les caractéristiques psychologiques d'un usager (faculté mentale, fonction cognitive), la seconde fait référence à une « rupture que l'on ne franchit pas aisément compte tenu des représentations dont elle et l'au-delà de la barrière sont l'objet » [Brunet *et al.*, 1992 : p. 62].

et enfin *sentiment d'appartenance*. La *faisabilité* et l'*accessibilité* déterminent si le déplacement pédestre est réalisable. Si ce n'est pas le cas une solution de report modal peut alors être envisagée au sein de la chaîne de déplacement. La *faisabilité* dépend du contexte et de la capacité d'un usager à négocier un intervalle de temps pour se rendre d'un endroit à un autre. Cet intervalle est limité par son planning d'activités et contraint par une certaine vitesse. Une fois le trajet perçu comme réalisable dans un temps donné, la prochaine condition à remplir est l'*accessibilité*. L'*accessibilité* est à concevoir ici comme la capacité d'une personne à être en mesure d'accéder à sa destination en l'absence de barrières à la marche physiques et perçues [Bodin, 2007 ; Lanteri *et al.*, 2005]. Les autres besoins qu'un piéton cherche à satisfaire dans le processus de décision de la marche ne conditionnent pas son exécution mais influencent le choix de l'itinéraire en fonction de l'objectif de déplacement, de prévisions météorologiques et de l'heure dans la journée. Il va de soi qu'une personne pressée cherchant à rejoindre son travail ou un arrêt de bus accordera moins d'importance à ce qui l'entoure qu'une personne, avec un budget-temps plus souple, effectuant une marche récréative. Les usagers piétons prêtent ainsi une attention particulière à l'*utilité des lieux* en fonction de la capacité de l'environnement à répondre aux besoins quotidiens (shopping, alimentation, divertissement, etc.) et à la qualité des biens et des services proposés. Ils peuvent, par ailleurs, éviter de pratiquer la marche dans certains espaces pour des questions de sécurité. Dans le cadre des déplacements piétons, la notion de *sécurité* est divisée en deux aspects : le rapport à la criminalité et celui à la circulation. La sûreté d'un espace en matière de criminalité est assimilée à la présence de certaines caractéristiques comme la localisation du quartier dans la ville, l'état physique et l'entretien de l'environnement, la configuration des rues et des espaces, le type d'occupation du sol, les changements ou modifications apportées à l'environnement ou encore la présence ou absence de certains types de personnes ou de la foule. La sécurité réelle ou perçue de la circulation est, quant à elle, dépendante de la largeur de la chaussée, des vitesses élevées, la présence de stationnements sur les trottoirs (qui peut devenir un problème d'*accessibilité* pour certains usagers) ou encore un contact direct entre les piétons et les autres modes de transports. Au-delà de la capacité à accéder à un environnement de qualité, sûr et accessible, le *confort environnemental et physique* est un critère que le piéton cherche à satisfaire et qui reprend les précédents besoins. Le niveau de confort est, en effet, fortement affecté par une multitude de facteurs comme la condition physique d'un usager, son niveau de perception de sécurité, sa familiarité avec l'environnement et les individus et l'*utilité des lieux*. De plus, dans le cadre de la marche, les conditions météorologiques, la température, l'ensoleillement et l'ombre ou encore le vent impactent directement cette notion de confort, voire peuvent influencer l'itinéraire ou encore provoquer un report modal. Le confort est également associé à une certaine quête du plaisir. Le *plaisir procuré par l'expérience sensorielle* de la rue dépend de divers *stimuli* perçus de l'environnement – des lumières, des sons, des odeurs, du toucher, des couleurs, des formes, des motifs, des textures, etc. En outre, le plaisir sensoriel des piétons est corrélé à un niveau modéré de complexité résultant de la variété et de la nouveauté, de l'ordre et de la cohérence de l'environnement. Par exemple, les piétons préfèrent les espaces publics ouverts qui fournissent un niveau

modéré de *stimuli* sensoriels, culturellement acceptables, aboutissant à une complexité spatiale qui augmente l'intérêt, sans devenir trop stimulante et chaotique [Metha, 2008 : p. 222]. Au final, si la faisabilité et l'accessibilité sont des conditions au déplacement piéton, les autres critères apparaissent, quant à eux, variables en fonction du contexte de déplacement mais aussi d'une sensibilité propre à chaque usager piéton. La variété des critères qui peuvent influencer les choix d'itinéraires expliquent, en partie, la complexité et la diversité des parcours piétons.

Cette complexité induit la mise en place de stratégies de la part des usagers piétons pour d'une part, planifier et effectuer leurs déplacements de manière à inclure dans le parcours les critères désirés en fonction du contexte et d'autre part, éviter les espaces inaccessibles ou non désirés. Pour cela, l'usager tend soit à se limiter aux espaces qu'il est en mesure de déchiffrer d'un point de vue à la fois cognitif et comportemental, soit à s'engager dans l'apprentissage de significations environnementales et des comportements afférents [Ramadier *et al.*, 2009 : p. 84]. La relation usager-environnement dépend donc, certes du contexte et de critères désirés, mais aussi de la capacité des usagers à acquérir et à interpréter des informations à partir de l'espace réel et de représentations spatiales que s'en fait l'usager. Pour cela, les usagers piétons se projettent dans un espace urbain à plusieurs dimensions [Cauvin, 1999 : pp. 4-5] : 1) un espace *chorotaxique*, 2) un espace *fonctionnel* et 3) un espace *cognitif*.

1) La dimension *chorotaxique* caractérise un espace objectif, physique qui correspond à « l'étendue qui contient l'homme et qui l'entoure, déterminé par les arrangements entre les lieux, avec des attributs spécifiques, mesurables universellement » [Cauvin, 1999 : p. 4]. Il s'agit d'un espace que les usagers piétons perçoivent directement, à une échelle fine et qui peut être perçu d'un point de vue unique.

2) Les dimensions *fonctionnelles* sont dérivées de l'espace chorotaxique et transformées par les attributs possibles retenus pour les lieux et entre les lieux. « Ce sont les espaces où peuvent s'effectuer les mouvements, les déplacements, en fonction d'un but déterminé » [Cauvin, 1999 : p. 4]. Les caractéristiques des espaces fonctionnels nous parviennent ainsi indirectement et sont modifiées par les motivations des individus qui varient selon que les activités induites sont libres ou imposées.

3) Enfin, la dimension *cognitive* « peut être définie comme celle des espaces fonctionnels, reconnus par un sujet, même s'il n'a pas vécu cet espace, à l'aide des informations perçues, des croyances émises en l'absence de cet espace et des informations obtenues par des éléments non directement en relation avec cet espace » [Cauvin, 1999 : p. 5]. Du point de vue de l'usager, cette dernière dimension induit que la ville est structurée par un ensemble de représentations spatiales faites de *voies*, de *limites*, de *quartiers*, de *nœuds* et de *points de repère* [Lynch, 1960 : pp. 47-48]. L'espace urbain piéton est ainsi constitué de points, de lignes et de surfaces que les usagers traversent, parcourent ou utilisent comme références, non seulement pour planifier leurs itinéraires, mais aussi pour s'orienter et pour réaliser des trajectoires.

Les informations que l'utilisateur va acquérir et interpréter vont alors induire son comportement spatial, son usage des lieux et ses actions.

En outre, si le point de vue de l'utilisateur sur l'environnement conditionne ses choix d'itinéraires et son comportement spatial, Sophie Pene [2010 : p. 135] dénombre quatre autres facteurs ayant pris sur ses stratégies de déplacement : 1) la *morale du trajet*, 2) ses *habiletés spatiales*, 3) ses capacités d'*approximation* et de *prise de risques* et 4) la *successivité des opérations*.

1) La *morale du trajet*, c'est-à-dire la gravité des enjeux, correspond à la nécessité de ponctualité ou encore la combinaison de différentes menaces (travail à finir, environnement envahissant). Elle s'accorde avec le contexte (utilitaire, récréatif) et l'objectif du déplacement. La morale du trajet peut avoir une influence sur les choix des critères à satisfaire lors du choix d'itinéraires mais également avoir une influence sur la perception de la dimension fonctionnelle des espaces.

2) Les *habiletés spatiales* se basent sur une mémoire combinée des itinéraires ou des repères et sur un croisement des plans des infrastructures de la mobilité (plan de métro, souterrain) et du bâti urbain (monuments, magasins, en surface). Il s'agit ainsi de la capacité de l'utilisateur à acquérir et interpréter des informations [Cauvin, 1999] mais aussi à développer des routines cognitives, soit des lignes de conduite mémorisées à chaque fois qu'un même but se présente [Eaux, 2009 : p. 4].

3) Les capacités d'*approximation* et de *prise de risques* découlent d'un fatalisme (face à cette approximation) qu'une rationalité limitée transforme en optimisation, intégrant les corrections d'après-coup.

4) Pour finir, la *successivité des opérations* fait classiquement référence à l'existence d'une tension entre orientation large (au niveau de la ville) et orientation serrée (au niveau du quartier) où une cible commence par être identifiée au sein d'un vaste territoire, puis une fois au sol, une orientation « en suivant ses pieds » est adoptée. Toutefois, à l'heure des *smartphones* équipés de GPS (*Global Positioning System*) et des aides à la navigation, « c'est non seulement la distance à d'autres réalités qui est simplifiée par la technologie de l'information mais aussi notre positionnement » [Beaude, 2010 : p. 18]. Dès lors, si la *successivité des opérations* n'est en apparence pas affectée par la disponibilité d'un plan numérique mobile, celui-ci réduit l'anticipation allouée au trajet final, comme le montrent les résultats des entretiens effectués par Sophie Pene [2010 : p. 135]. Les stratégies de déplacements piétons dépendent ainsi de facultés mentales et cognitives qui permettent aux usagers d'acquérir des informations par divers moyens, de se les représenter mais aussi de les manipuler de manière à s'orienter dans des espaces diversifiés.

Au final, la relation usager-environnement apparaît donc contextuelle et multidimensionnelle. Les parcours piétons en milieu urbain dépendent alors des attentes que les usagers piétons ont du trajet mais aussi de leurs capacités à susciter et interpréter des informations venant de trois dimensions spatiales (chorotaxique, fonctionnelle et cognitive). Une fois le trajet planifié, ce dernier peut être modifié à tout moment en réutilisant les informations acquises ou en en obtenant de nouvelles. Enfin, afin de décider de son itinéraire, l'utilisateur piéton oriente ses stratégies de déplacements de manière à intégrer au trajet un certain nombre de

critères selon le contexte. Ces critères sont le fruit de facteurs environnementaux facilitateurs aux déplacements qui ont été identifiés dans de nombreux domaines s'intéressant aux mouvements piétons tels que : les *choix d'itinéraires* [Hoogendoorn et Bovy, 2004 ; Conroy-Dalton, 2003 ; Foltête, 2007 ; Enaux, 2009], les critères de *walkability* (traduit littéralement en français par « marchabilité ») [Southworth, 2005 ; Alfonzo, 2005 ; Lo, 2009], la *syntaxe spatiale* [Hillier et Hanson, 1984 ; Bafna, 2003] ou encore le *wayfinding* [Golledge, 1999 ; Allen, 1999 ; Lynch, 1960].

1.2. Axes facilitateurs aux déplacements piétons

Selon que le contexte de déplacement soit utilitaire (travail, école, achats de proximité, etc.) ou récréatif (promenade, loisir, etc.), l'utilisateur piéton détermine son choix d'itinéraire en favorisant certains attributs de l'environnement liés à des critères *métriques* [Foltête, 2007 ; Hoogendoorn et Bovy, 2004 ; Helbing *et al.*, 2001 ; Genre-Grandpierre et Foltête, 2003], *de connectivité* [Hine, 1996 ; Berrigan *et al.*, 2010 ; Saelens *et al.*, 2003 ; Peponis *et al.*, 2008], *de linéarité* [Conroy-Dalton, 2003 ; Peponis *et al.*, 1997 ; Foltête, 2007 ; Hillier et Hanson, 1984], *fonctionnels* [Lo, 2009 ; Sansot, 2004 ; Cauvin, 1999] ou encore *environnementaux* et *paysagers* [Piombini et Foltête, 2007 ; Zacharias, 2001 ; Metha, 2008].

Lors de la planification du trajet, « tout se passe comme si les individus effectuent un calcul comparatif des différentes alternatives et retiennent celle qui est la plus avantageuse. [...] Il s'agit de systèmes de production caractérisés par un ensemble de règles dites conditions-actions (si condition, alors action) sur lesquelles les individus s'appuient pour prendre des décisions. Selon ce principe, le processus cognitif de décision repose sur des règles heuristiques qui, généralement, ne fournissent pas la solution optimale au problème posé mais une solution satisfaisante ».

[Enaux, 2009 : p. 3]

La *métrique* apparaît comme le critère le plus intuitif pour un certain nombre de chercheurs [Foltête, 2007 ; Hoogendoorn et Bovy, 2004 ; Helbing *et al.*, 2001 ; Genre-Grandpierre et Foltête, 2003]. Il correspond au postulat selon lequel les usagers piétons font preuve d'une *rationalité physique* les conduisant à minimiser la distance à parcourir (ou l'énergie à dépenser) en raison de la perméabilité de la relation usagers-environnement. Ils montrent alors une forte aversion à effectuer des détours et se déplacent selon leurs vitesses de confort intrinsèques de manière à minimiser leur consommation énergétique.

De cette rationalité physique découle d'autres critères, pris en compte lors du choix d'itinéraire, comme la *connectivité* ou la *géométrie* qui peuvent impliquer des surcoûts (temporel, énergétique, métrique).

La *connectivité* rend compte des possibilités d'itinéraires alternatifs et aussi de connexions d'un lieu pour relier les autres lieux de son environnement. Elle symbolise également l'importance qu'accordent les usagers piétons à la *continuité des*

itinéraires. La présence de franchissements de carrefours, par exemple, est liée à la fois à des contraintes fortes de temps, de sécurité mais peut également former des barrières psychologiques en fonction des usagers [Hine, 1996 ; Berrigan *et al.*, 2010]. Pour Ria H. Lo [2009 : p. 163], un environnement idéal possède ainsi des trottoirs continus et bien entretenus et offre un accès universel.

La *linéarité* peut, quant à elle, être mentionnée autour des questions de *linéarité des itinéraires* – à l'échelle du parcours origine-destination (OD) – ou encore de *linéarité des voies* – à l'échelle du réseau – qui conduisent à l'hypothèse d'une volonté de *minimisation des parcours complexes et des changements directionnels* de la part des usagers piétons. A l'échelle d'un parcours OD, l'influence de la *linéarité des itinéraires* semble même primer sur celle de continuité [Foltête, 2007]. Ce facteur exprime alors la préférence des usagers piétons pour une certaine gamme angulaire (autour de 30 et 80°) soulignant leurs tendances à privilégier des itinéraires plus rectilignes [Conroy-Dalton, 2003 ; Foltête, 2007]. A l'échelle du réseau, l'hypothèse de minimisation des changements directionnels s'appuie sur la *linéarité de la voirie*, c'est-à-dire la recherche des axes les plus rectilignes (lignes axiales). Elle est empruntée aux théories développées en architecture autour du concept de syntaxe spatiale appliqué à un espace réticulaire [Hillier et Hanson, 1984]. Les lignes axiales ne sont pas seulement considérées sous un angle géométrique, puisque selon les concepteurs de la syntaxe spatiale, les attributs fonctionnels des segments de voirie (présence de commerces, degré de criminalité) sont très souvent la conséquence de leur position stratégique à l'échelle de la ville.

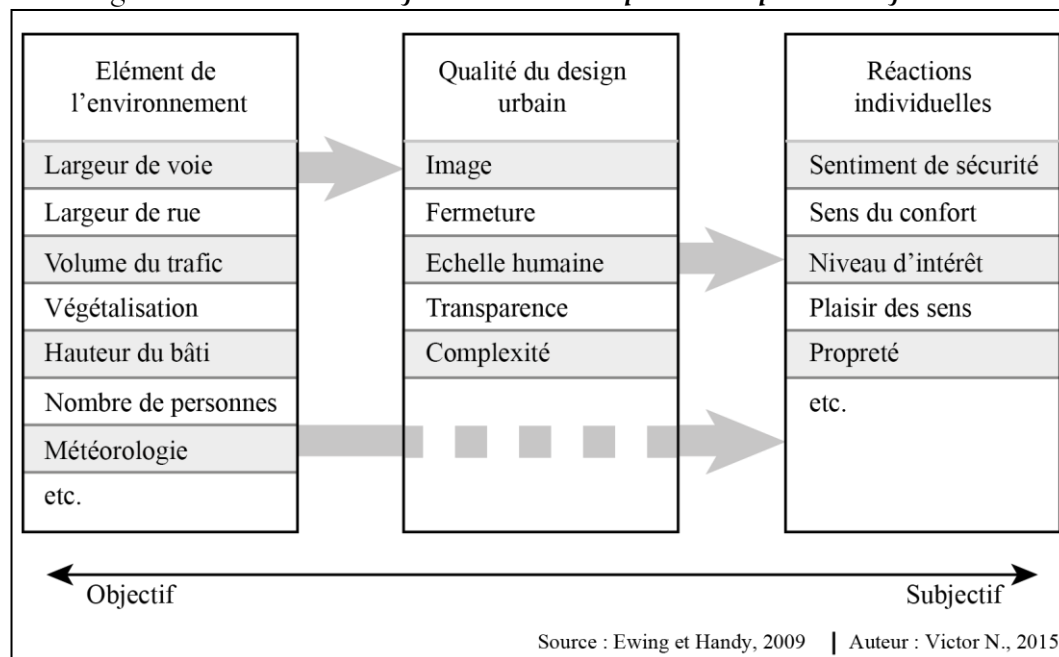
En effet, si les parcours piétons sont influencés par des critères *métriques*, de *connectivité* et de *linéarité*, ils le sont également par l'*aspect fonctionnel* des espaces et leurs *qualités environnementales* et *paysagères*.

Un espace se révèle *fonctionnel* selon sa capacité à offrir une *occupation du sol dense, diverse* et *mixte* mais aussi à *connecter* des lieux entre eux qui symbolisent la demande et les sites potentiels d'offres [Béguin et Thomas, 1997 : §1]. Toutefois, certaines caractéristiques de la *fonctionnalité* nous parviennent indirectement et sont modifiées par les motivations des usagers piétons qui varient selon que les activités sont libres ou imposées [Cauvin, 1999 : p. 3].

Enfin, les *qualités environnementales* et *paysagères* sont des critères encourageant le déplacement piéton et pouvant influencer le sentiment de sécurité [Zacharias, 2001 : p. 342 ; Piombini et Foltête, 2007 : p. 91]. Par exemple, un environnement de qualité, voire idéal, possède des espaces bien entretenus (propreté, entretien de la végétation) où le bâti est dense, divers et mixte et les rues arborées et pourvues d'aménagements paysagers. L'environnement urbain doit présenter un intérêt visuel mais également susciter un sentiment d'appartenance (défini selon des règles locales) [Lo, 2008 ; Southworth, 2005 : p. 247-248]. Le trafic motorisé à proximité n'est pas dense et les vitesses autorisées ne sont pas élevées. De plus, les voies sont alors séparées du trafic par la présence de zones tampons (plates-bandes gazonnées, buissons, pistes cyclables, marquage au sol, etc.).

La prise en compte de l'ensemble de ces critères correspond ainsi aux configurations optimales de l'environnement pour un déplacement piéton. Toutefois, l'importance de l'influence de chaque caractéristique environnementale sur les mouvements piétons va dépendre de l'objectif poursuivi. Les années 2000 voit naître un courant anglo-saxon, initié par les aménageurs [Walk Friendly Communities, 2012] et les chercheurs [Southworth, 2005 ; Alfonzo, 2005 ; Mackett *et al.*, 2008 ; Metha, 2008 ; Lo, 2009], nommés *walkability*^{xvii} (ou « marchabilité », traduction littérale utilisée au Québec). L'objectif principal est de déterminer des configurations spatiales suscitant les déplacements piétons afin de les répliquer sous certaines conditions et de pouvoir encourager les gens à un retour à la marche dans un cadre de promotion de l'activité physique et d'alternative écologique à la voiture individuelle. Ces configurations spatiales favorables à la marche sont alors nommées, dans la littérature, sous les qualificatifs anglais de *pedestrian friendly* –, *walk friendly* – ou encore *walkable* – *spaces*. A cet effet, des *indices de walkability* proposent des mesures objectives de l'environnement (propriété, forme, etc.) afin d'évaluer la capacité d'un espace urbain à inciter le déplacement piéton [Frank *et al.*, 2009 ; Leslie *et al.*, 2007 ; Klein *et al.*, 2015a]. Toutefois, ces mesures ne permettent pas toujours de tenir compte de l'articulation entre éléments de l'environnement et comportements piétons. Les réactions individuelles ne pouvant être réellement estimées par des observateurs extérieurs, Reid Ewing et Susan Handy [2009] proposent d'examiner également le rôle des perceptions et la façon dont elles interviennent sur la relation entre caractéristiques de l'environnement et comportements piétons afin de mesurer objectivement des qualités qui sembleraient *a priori* subjectives de l'environnement piéton (cf. figure III-1).

Figure III-1 : *Mesurer objectivement des qualités a priori subjectives*



^{xvii} *Walkability* : bien que le terme puisse être discuté, la littérature anglophone semble l'avoir consacré. Par souci de continuité avec nos travaux et projets antérieurs à la rédaction de cette thèse, nous retiendrons donc cette version du terme, faute de mieux.

Les *caractéristiques de l'environnement* influencent directement et indirectement la qualité de l'environnement piéton à travers les perceptions et les sensibilités individuelles. Elles contribuent à évaluer la *qualité du design urbain* dont les critères les plus représentatifs ont été désignés dans l'étude par l'*image*, la *fermeture*, l'*échelle humaine*, la *transparence* et la *complexité*^{xviii}. Le terme *image* est défini par Kevin Lynch [1960 : p. 9] comme une qualité de l'environnement physique à évoquer une image forte chez un observateur. L'image concerne la forme, la couleur ou les aménagements qui fabriquent des images mentales de l'environnement vivaces et fortes. Les points de repères dans une ville sont, par exemple, considérés comme des éléments clefs de l'image. La *fermeture* est définie en design urbain par les formes verticales d'éléments qui interrompent les lignes de visibilité de manière à donner l'impression d'être en intérieur (dans une salle) dans un environnement en extérieur. Gordon Cullen [1961, p. 29] considère la *fermeture*, ou ce qu'il nomme la « chambre extérieure », comme l'un des dispositifs les plus puissants et incontournables pour instiller un sentiment d'appartenance et un positionnement dans l'espace. La définition d'*échelle humaine* n'est pas consensuelle chez les urbanistes. Elle se réfère globalement aux dimensions, textures et articulations d'éléments physiques de manière à ce qu'ils correspondent à la taille et aux proportions de l'homme, d'une part, et tout aussi important, à la vitesse des usagers piétons, de l'autre. Les détails des bâtiments, la texture des trottoirs, la présence d'arbres dans les rues ou encore de mobilier urbain sont tous des éléments physiques contribuant à l'échelle humaine. La *transparence* correspond globalement à ce que les individus peuvent voir ou percevoir à travers les limites de voies (façade, palissade, etc.) et, plus spécifiquement, en quelle mesure ils peuvent voir ou apercevoir l'activité humaine. L'impression de transparence est ainsi influencée par les murs, les vitrines, les fenêtres, les portes, les clôtures, l'aménagement paysager ou encore les renforcements dans les façades. Enfin, la *complexité* fait référence à la richesse visuelle d'un endroit. La complexité d'un lieu dépend du nombre et du type de bâtiments, de la diversité architecturale et ornementale, de la présence de mobilier urbain, de la signalisation ou encore de l'activité humaine. La qualité du design urbain est toutefois à différencier d'autres qualités reflétant la façon dont des individus peuvent réagir à un espace, telles que le sentiment de sécurité, de confort ou encore l'intérêt des lieux. Les *réactions individuelles* peuvent, en effet, être le fruit de diverses perceptions des éléments de l'environnement urbain et de la qualité du design urbain. Ces variables peuvent ainsi influencer la façon dont les usagers perçoivent l'environnement. En les mesurant, il est alors possible d'obtenir une meilleure compréhension de l'articulation entre l'environnement urbain et les usagers piétons.

Au final, l'environnement urbain est donc composé d'éléments facilitateurs au déplacement piéton qui incitent à utiliser un parcours plutôt qu'un autre en fonction du contexte et de l'objectif. Néanmoins, la porosité de la relation environnement-usager implique également des situations à l'origine de stratégies incitant à éviter certains espaces (contournement, détour). Il s'agit de barrières

^{xviii} Respectivement, en anglais : imageability, enclosure, human scale, transparency et complexity.

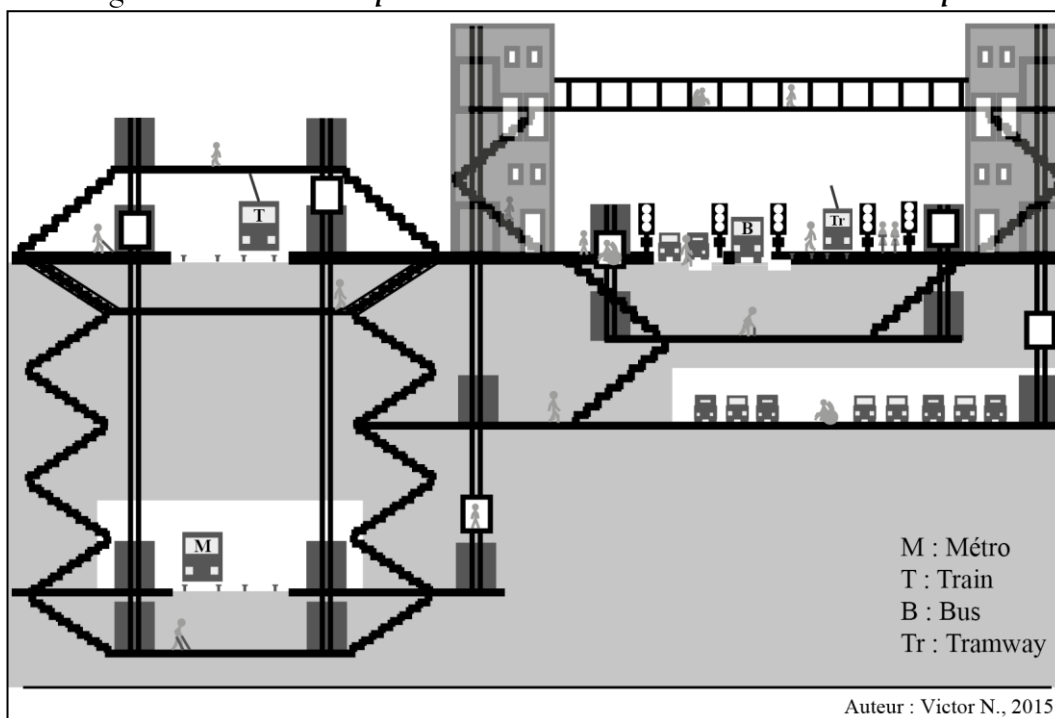
correspondant à des « obstacles qui s'opposent à la libre circulation et se traduisent par une réduction des flux observés comparativement à ce qui serait observé en leur absence » [Pumain *et al.*, 2006 : p. 29]. Les stratégies d'évitements des piétons peuvent alors être conséquentes à la présence de barrières *réelles* ou *mentales*, *naturelles* (topographie, hydrographie) ou *anthropiques* (infrastructure de transport, morphologie urbaine) mais aussi *physiques* ou *psychologiques*. Si les critères facilitateurs incitent à prendre un parcours plutôt qu'un autre, les barrières et/ou obstacles conditionnent, quant à eux, l'accessibilité à l'espace urbain. Leur prise en compte est dès lors inévitable pour définir les parcours piétons.

1.3. Chemins piétonniers et accès à la ville tridiastatique

Dans la ville, les déplacements piétons se pratiquent sur ce qui est communément appelé « voie publique » par les aménageurs et pouvoirs publics, soit « toute l'emprise d'une route ou d'un chemin ouverts à la circulation publique comprenant la chaussée, les trottoirs, les accotements et les dépendances, y inclus les talus, les buttes antibruit et les chemins d'exploitation nécessaires à l'entretien de ces dépendances, les places publiques, les pistes cyclables et les chemins pour piétons font également partie de la voie publique » [Code de la route luxembourgeois^{xix}, 2013 : p. 12. Art. 2, 1.1]. En milieu urbain, les déplacements piétons sont donc contraints par la présence du bâti mais aussi d'infrastructures de transports dont la présence force à effectuer des parcours non linéaires. Cette composante non linéaire conduit à s'interroger sur les capacités de franchissement des dénivelés naturels ou anthropiques selon les usagers. En proposant le concept d'Urbanisation Transsurfactive à Synergie Multistrate (UTSM) ou ville *tridiastatique*, Henri Reymond [1998a] engage une réflexion sur les réseaux urbains et l'accessibilité à travers des arrangements horizontaux et verticaux des lieux et des liaisons. La ville *tridiastatique* (du grec *tri* signifiant trois et *diastatique* qui a des dimensions) est ainsi un objet volumique multistrate qui tend à multiplier les couches physiques porteuses au-dessus et au-dessous de la surface topographique initiale. Si le concept théorique de ville *tridiastatique*, aussi nommée *ville verticale*, fait sens en matière d'analyse *transsurfactive* du tissu urbain [Antoni, 2014 ; Reymond, 1998a], il peut également être abordé à travers les problématiques de chemins et d'accessibilité engendrées (cf. figure III-2).

^{xix} Le code de la route de 2015 utilisé correspond au code français alors que celui luxembourgeois date de 2013.

Figure III-2 : *Chemins piétonniers au cœur de la ville tridimensionnelle*



La ville contemporaine est ainsi marquée par des infrastructures permettant de circuler dans l'espace urbain qui contribuent à accéder aux diverses strates, voire à les former. Ces infrastructures constituent un réseau tridimensionnel composé de liens pouvant former de nouvelles strates en passant au-dessus (pont, passerelle) ou en dessous (passage souterrain) des autres infrastructures. Les nœuds de ce réseau créent alors des points d'échange entre ces diverses strates qui peuvent être extérieurs (gare routière, station de vélos, parking, arrêt de bus) ou intérieurs (gare ferroviaire, parking souterrain, station de métro, centre commercial), sur un plan horizontal (couloir, quai, passerelle) ou vertical (escaliers, rampes, systèmes d'ascension mécanisés tels que les ascenseurs urbains, les funiculaires, les téléphériques, etc.). Les composantes de l'espace urbain peuvent donc alternativement contraindre ou faciliter les déplacements piétons suivant les usagers en formant une succession de cheminements piétons continus ou discontinus, contraints par la présence d'obstacles à plus ou moins grande échelle.

Lors d'un trajet, les usagers piétons peuvent ainsi réagir en effectuant un ralentissement, une accélération ou encore un *contournement* en faisant le tour ou en passant autour d'un obstacle.

Le *contournement* « se produit chaque fois qu'un lieu n'étant pas un obstacle absolu présente une difficulté de nature variable (physique ou sociale, permanente ou accidentelle, réelle ou imaginaire). Il est alors plus facile de contourner l'obstacle que de le traverser ; mais ce contournement souligne en même temps le lieu contourné qui devient un point remarquable du trajet, bien que le cheminement n'y soit pas passé ».

[Augoyard, 1979 : p. 54]

Les contournements sont, en général, très liés à un événement particulier : présence momentanée de travaux, présence de déjections, ordures sur le sol, etc. Néanmoins, il arrive que ces contournements se pérennisent et donnent naissance à l'utilisation de *raccourcis* défiant les aménagements en place qui, à force de répétitions, peuvent former des chemins substitutifs.

Ces « *chemins demi-sauvages* [...] n'existent parfois que pour l'initié, ainsi le « tunnel » fait par les enfants dans les buissons de la crique Nord et qui échappe aux adultes. D'autres se voient et les photographies montrent qu'ils peuvent dessiner des *raccourcis*, évitant un obstacle ou reliant deux chemins aménagés ; encore le « raccourci » est-il parfois très symbolique ».

[Augoyard, 1979 : p. 49]

Sonia Lavadinho [2008 : p. 62] les conçoit, quant à elle, comme des *lignes de désir* qui correspondent à la « courbure optimale du tracé qu'un piéton laisse dans son sillage lorsqu'il est totalement libre de son mouvement ». Ces lignes de désir sont alors constamment contrées par d'autres forces mobiles (véhicule motorisé ou non) ou immobiles (mobilier urbain, terrasse de café, panneau, barrière). Les *contournements* effectués dans l'environnement urbain s'inscrivent ainsi à l'échelle de la rue, des places ou encore des parcs et jardins publics.

De surcroît, les usagers piétons peuvent également être amenés à des *détours*, c'est-à-dire à effectuer une trajectoire qui s'écarte du chemin direct. Si la possibilité de procéder à des contournements réduit la nécessité de détours pour les usagers piétons, la présence de *coupures urbaines* sur de courtes distances peut s'avérer récurrente, voire dissuasives, en fonction de la facilité de franchissement et de la longueur ou de l'effort additionnel nécessaire [Papon, 1997 : p. 4-5]. Les *coupures urbaines* sont essentiellement liées aux franchissements des infrastructures de transports :

« Une route, une voie urbaine, une emprise de tramway sont traversables sans difficulté particulière. Les traversées sont généralement prévues voire régulées (systèmes de feux, passages piétons, etc.). Il n'y a donc, pour ainsi dire, qu'un très faible effet de coupure susceptible de perturber ces zones concernées. En revanche, les autoroutes, les voies de chemin de fer, les canaux, les voies de métro sont impossibles à croiser à niveau. D'une manière générale, plus la vitesse des mobiles susceptibles de parcourir l'infrastructure est élevée, plus on cherchera à la protéger des intrusions. Dans ce cas l'effet de coupure est maximal ».

[Zembri, 2002 : p. 273]

En milieu urbain, les coupures se manifestent ainsi surtout par la rareté des ponts, passerelles ou tunnels de franchissement. Si un détour est jugé *excessif*, les usagers piétons peuvent se reporter sur des modes motorisés.

En outre, pour Frédéric Hérán [2011], un effet de coupure peut être associé à de nombreuses nuisances autres que l'incapacité de franchissement, telles que l'insécurité routière, le bruit, la pollution, l'intrusion visuelle, la consommation d'espace, etc. (cf. tableau III-3).

Tableau III-3: *Nuisances potentielles en milieu urbain et leurs conséquences sur la marche*

		Conséquence			
		Désaffection pour les modes actifs	Diminution des relations de voisinage	Dégradation de la santé humaine	Dégradation du cadre de vie
Potentielle nuisance	Pollution atmosphérique	Gênes dans l'effort	Echanges peu agréables dans un environnement pollué	Maladies pulmonaires, cancers, etc.	Bâtiments salis, fumées, odeurs
	Bruit	Déplacements peu agréables dans un environnement bruyant	Echanges peu agréables dans un environnement bruyant	Effets de nature physiologique ou psychologique	Lieux calmes peu nombreux
	Insécurité routière	Craintes de traverser les voies à pied	Echanges limités par peur d'affronter le trafic	Traumatismes physiques et psychiques, décès et deuil	Risques d'accident préoccupants
	Consommation d'espace	Espaces réduits pour les piétons	Eloignement des espaces vécus	Stress lié aux espaces restreints	Peu d'espaces non soumis au trafic
	Coupure	Délais, détours et dénivelés dissuasifs	Relations réduites entre rives et à proximité	Obésité liée au manque d'exercice physique	Espaces éclatés, discontinus
	Intrusion visuelle	Piétons peu visibles dans un paysage dominé par la voiture	Echanges peu agréables dans un paysage dégradé	Dépressions dans des paysages agressifs et chaotiques	Espaces urbains dominés par la circulation automobile

Source : d'après Hérán, 2011 : p. 153 | Auteur : Victor N., 2015

La présence de ces potentielles nuisances tend à réduire les relations de voisinage, à séparer les quartiers par fonctionnalités et à pousser les usagers piétons à un report modal motorisé. Le déplacement piéton est ainsi au cœur d'un paradoxe. Si la présence de coupures urbaines pousse, en effet, les usagers à un report vers les modes motorisés au détriment du déplacement piéton, ce dernier s'avère incontournable à l'utilisation de ces autres modes. C'est ce que Jean-Philippe Antoni [2014 : p. 103], en analysant l'ergonomie des villes, appelle un effet rétroactif puisqu'après avoir créé son propre biotope adapté à ses besoins (la ville et ses infrastructures), l'homme doit à son tour s'adapter aux modifications qu'il a mises en place pour ce faire. La coprésence avec d'autres modes de transports crée ainsi une trame urbaine qui n'est pas toujours favorable aux déplacements piétons, voire

discontinue en matière de parcours. Néanmoins, il n'est pas question ici d'opposer la marche aux autres modes, car si elle est un liant, n'oublions pas qu'un report modal s'avère quasi indispensable, pour la plupart des usagers, sur de longues distances ou en cas de budget-temps limité. Cette trame urbaine mixte est donc à considérer, à notre sens, comme une richesse qui nécessite toutefois un certain équilibre quant à l'espace attribué à chaque mode et certains aménagements adaptés pour garantir des parcours à tous les usagers.

Les éléments de l'environnement sont ainsi alternativement facilitateurs, défavorables ou contraires aux déplacements. Les chemins piétonniers sont alors formés selon un compromis, conditionné par la relation usager-environnement, visant à accéder dans les meilleures conditions à un certain nombre de critères le long de leur parcours. Ils forment, de la sorte, un linéaire parfois discontinu qui nécessite d'acquérir et d'interpréter un volume important d'informations pour se déplacer, dont les critères prédominants sont la faisabilité (coût du déplacement et contexte) et l'accessibilité. En contrepartie, l'environnement urbain doit fournir un compromis entre tous les modes de déplacements de manière à garantir une accessibilité universelle.

2. L'environnement urbain, un espace multimodal : garantir et légiférer des chemins piétonniers pour tous

L'espace urbain est composé d'infrastructures qui s'entrecroisent pour former un réseau autorisant divers modes de transport à circuler. Si l'acte de marcher en lui-même a la particularité de permettre à son usager de s'affranchir de ces infrastructures, une législation a été mise en place pour permettre aux piétons de circuler parmi les autres modes en toute sécurité. De surcroît, la définition contemporaine d'usager piéton intégrant aussi des personnes utilisant des aides au déplacement, un ensemble de normes préconisées permettent de mettre en place des voies urbaines piétonnes accessibles à tous en garantissant des valeurs maximales et minimales (mesure, texture, visibilité). Toutefois, la législation et les normes d'accessibilité varient selon les pays et ne garantissent pas toujours des trajets porte-à-porte. Par ailleurs, les éléments facilitant le déplacement de certains peuvent alternativement créer des conflits d'usages aux autres. *En conséquence, quelles solutions peuvent être mises en place pour créer des axes facilitant le déplacement des usagers piétons ? Une solution inclusive est-elle réellement envisageable en milieu urbain ?* Pour répondre à ces questionnements, il est tout d'abord nécessaire d'identifier les différents types de voies urbaines piétonnes et les législations et normes préconisées qui leurs sont associées. Une réflexion sur les problématiques liées à l'aménagement d'un espace doté d'une accessibilité universelle sera alors proposée pour envisager une solution prodiguant une démarche inclusive.

2.1. Typologie de voies urbaines piétonnes : entre espaces dédiés aux déplacements piétons et espaces contraints par les infrastructures de transport

Selon les pays considérés, un certain nombre de règles et de préconisations, mises en place par les pouvoirs publics, assurent le bon déroulement de la cohabitation de la voie publique par divers modes de déplacement. Cette législation permet de différencier au cœur du réseau urbain trois grandes familles d'espaces pour les piétons : 1) Les voies où la législation rend exclusive la circulation piétonne sur toute la largeur de la voie. Ces *espaces dédiés* libèrent ainsi les mouvements piétons et les séparent des nuisances directes qui accompagnent la présence d'infrastructures de transport. 2) Les voies aux contacts avec des infrastructures de transports qui nécessitent une répartition spatiale en fonction des modes. Ces *espaces en site propre* ont une surface, généralement normée, où le piéton peut se déplacer en toute sécurité sur des voies réservées, tels les trottoirs ou encore les accotements. 3) Enfin, les espaces où les piétons partagent l'ensemble de la voie avec d'autres modes de transports qui sont limités à une vitesse de 20 km/h. Dans ces *espaces de rencontre*, les piétons peuvent utiliser toute la largeur de la chaussée et bénéficient de la priorité sans toutefois gêner inutilement les véhicules. Au sein de ces trois familles d'espaces, les voies sont soumises à une législation qui leur est propre. Certaines grandes tendances ressortent néanmoins.

Les voies *dédiées* aux piétons offrent aux usagers un accès prioritaire à l'ensemble de l'espace et une liberté de mouvement sur l'ensemble de la voie. Dans certains cas, la présence d'autres modes (vélo, camion de livraison) peut être admise mais contrainte par des horaires précis d'accès lorsque l'affluence est faible (rue piétonne) ou encore par un appel à la vigilance (chemin pour les vélos). Les espaces dédiés étant, en général, séparés des autres modes, ils offrent un cadre de déplacement sans nuisance directe conséquente à la circulation motorisée (bruit, vitesse élevée, insécurité, etc.). Par ailleurs, en matière d'accessibilité, les voies dédiées aux piétons ne sont pas systématiquement normées. Parmi les voies de type chemins, par exemple, trois sortes d'espaces sont identifiables : les *allées*, les *sentiers* et les espaces restants, nommés par défaut *chemins*.

En urbanisme, en France, ces espaces sont définis comme une « voie, généralement réduite et sommairement aménagée. [...] Dans les zones urbaines et les parcs et jardins, on distingue : le sentier (0,70 m de large en terre battue) ; l'allée (environ 2 m de large), sablée, cimentée ou dallée ; l'allée carrossable, bitumée, accessible aux véhicules de service ».

[Merlin et Choay, 1988 : p. 168]

Les voies *en site propre* sont contraintes par la présence d'infrastructures de transport et offrent aux usagers piétons un couloir de circulation sécurisé. Ils côtoient sur la même voirie des usagers d'autres modes de déplacement possédant eux-mêmes des espaces aménagés consacrés. Ce couloir attribué aux usagers piétons est généralement normé de manière à garantir une circulation en toute sécurité et accessible à tous. Cependant les habitudes piétonnes n'étant pas toujours en

adéquation avec les aménagements urbains proposés, certains espaces comme ceux assimilés à des *traversées* de chaussées *informelles* ne correspondent à aucune norme et visent à couper les autres infrastructures de transport de manière à obtenir des parcours plus linéaires et/ou économiques au mépris de leur sécurité. Néanmoins, dans le cas des déplacements piétons quotidiens en milieu urbain, le type de voie publique contrainte le plus usité mais aussi le plus présent dans la trame urbaine demeure le *trottoir*. Le Code de la route français définit le trottoir comme :

« La partie de la voie publique aménagée en surélévation par rapport à la chaussée et réservée à la circulation des piétons et des catégories d'usagers y assimilées; les quais d'embarquement et de débarquement aménagés dans une gare routière ainsi que la partie réservée aux piétons d'un chemin obligatoire pour cyclistes et piétons sont assimilés aux trottoirs. [Art. 1, 1.25] [...] Les trottoirs sont réservés aux piétons, y compris ceux qui conduisent à la main un cycle, une brouette ou une voiture d'enfants ».

[Code de la route, 2015 : p. 13, Art. 103].

A cette définition, les urbanistes Pierre Merlin et Françoise Choay ajoutent un descriptif sur les propriétés appartenant couramment à ce type :

« Prévu étroit dans les quartiers à peine rénovés, il révèle en revanche l'architecture de l'avenue ou du boulevard. Large de 10 à 20 m, planté d'arbres de diverses essences, ponctué de bancs, de réverbères, revêtu de macadam, de pavé ou de bitume, il est le lieu idéal de la promenade. [...] Les bordures hautes de 0,2 m ont été parfois réduites pour le passage des personnes handicapées. Des massifs de plantes florales viennent, de façon souvent incongrue, égayer les trottoirs. La texture du revêtement est diversifiée : gravillons incrustés dans le sol stabilisé, sables grossiers traités aux élastomères (couleurs blanche, ocre, rouge), schistes houillers (couleur rouge à violette) provenant du concassage des déchets stériles, briques ou parpaings autobloquants, carrelages de différentes teintes ou formes, cimentés sur une chape de béton ou de mortier ».

[Merlin et Choay, 1988 : p. 899]

Un *trottoir* a donc des dimensions normées et son utilisation est multiple. Il s'agit d'un lieu de flux à cadences variées, on y circule, on s'y promène. Il suit en général le parcellaire ou accompagne le franchissement d'une barrière naturelle (rivière, précipice, etc.) ou anthropique (autoroute, voie ferrée) par la présence de ponts. Sa surélévation par rapport à la chaussée est variable. Si, en général, la hauteur moyenne varie entre 3 et 16 cm, le trottoir peut aussi être à égal niveau de la chaussée et seulement se différencier par sa composition. Par ailleurs, il est composé de textures de toutes sortes et la présence d'aménagements urbains y est régulière. L'encombrement des trottoirs sans laisser un passage minimal d'un mètre pour les usagers est interdit. Il en va de même au plan vertical où les stores ne peuvent être baissés jusqu'à moins de 2 mètres du sol et jusqu'à moins de 0,25 mètres du bord

extérieur du trottoir [Code de la route, 2015 : p. 128-129, Art. 102 à 102 ter]. Il est pratiqué par divers types d'usagers seuls ou accompagnés, de tous âges pouvant également avoir des difficultés de motricité. Certains abaissés de trottoirs peuvent ainsi être aménagés pour faciliter l'accès d'équipements à roues au niveau des passages piétons (fauteuil roulant, landau, etc.) ou pour permettre l'entrée de véhicules dans des bâtiments. Si les espaces *en site propre* peuvent être accompagnés de nuisances conséquentes à la présence à proximité d'infrastructures de transports, les régulations et normes d'accessibilité garantissent néanmoins à ces espaces un confort de circulation pour tous.

Enfin, un *espace de rencontre* est défini dans le *Code de la rue* luxembourgeois [2013 : p. 7] comme un espace situé dans un quartier résidentiel et/ou commercial où la vitesse des véhicules est limitée à 20 km/h. Les piétons peuvent utiliser toute la largeur de la chaussée et bénéficient de la priorité sans toutefois gêner inutilement les véhicules. Par ailleurs, les enfants ne sont pas autorisés à jouer sur la chaussée, il s'agit d'un espace de circulation bien que le stationnement de véhicules soit autorisé aux emplacements spécialement marqués. « La zone de rencontre propose une mixité qui concilie les besoins des usagers à mobilité douce (piétons, cyclistes, personnes à mobilité réduite...) tout en maintenant le trafic motorisé » [Code de la rue, 2009 : p. 7].

« Alors qu'une zone résidentielle ne peut d'office être prévue que sur des voies de 3^e ordre^{xx}, une zone de rencontre peut être réalisée sur des voies d'ordre supérieur au centre d'une agglomération ou d'un quartier regroupant une mixité de fonctions (habitations, administrations, commerces, écoles, église, etc.). Toutefois, le trafic motorisé qui traverse l'agglomération doit pouvoir emprunter une voie de 1^{er} ordre qui contourne la zone de rencontre. Comme le trafic motorisé y est plus important qu'en zone résidentielle, l'efficacité de cette zone dépend largement des mouvements des piétons et cyclistes qui entraînent un ralentissement du trafic motorisé. Contrairement à la zone résidentielle, il est interdit aux enfants de jouer sur la voie publique en zone de rencontre (article 162bis du Code de la route). »

[Apaisement du trafic à l'intérieur des agglomérations, 2013 : p. 25]

Contre toute attente, à l'instar des espaces en sites propres, les espaces dédiés aux usagers piétons n'apparaissent pas systématiquement favorables à un accès pour tous pour des questions de largeur ou de texture du sol, par exemple. Dans le cas des sentiers, une largeur de moins de 70 cm restreint l'accès à des

^{xx} Au Luxembourg, une voie de 1^{er} ordre correspond aux voies principales appartenant à la voirie normale de l'Etat (routes nationales) ou à la voirie communale. Elle consiste à drainer le trafic d'une région vers une autre. Une voie de 2^e ordre appartient principalement à la voirie communale et consiste essentiellement à relier les quartiers entre eux et aux voies de 1^{er} ordre. Enfin une voie de 3^{ème} ordre appartient exclusivement à la voirie communale et assure la desserte des quartiers à vocation résidentielle [Apaisement du trafic à l'intérieur des agglomérations, 2013 : p. 8].

personnes utilisant des béquilles, un déambulateur ou parfois un fauteuil roulant. Il en va de même avec les accotements dont la stabilité du revêtement n'est pas garantie par les règles d'urbanisme. Ce sont les espaces de rencontre qui, malgré la nuisance d'une cohabitation directe avec des transports motorisés, possèdent un revêtement carrossable et offrent ainsi la meilleure accessibilité pour tous types d'usagers. Les espaces dédiés ont toutefois le mérite de garantir des parcours en dehors des nuisances associées aux modes motorisés. Définir des espaces favorables ou défavorables aux déplacements piétons ne peut donc pas être résumé en dissociant les types de voies en fonction de la présence d'infrastructures de transports. Des normes d'accessibilité doivent être considérées.

2.2. Législation et normes d'accessibilité pour tous

Afin d'éviter toutes formes de discrimination, un ensemble de normes est mis en place par les politiques et les aménageurs pour garantir une liberté d'accès et de déplacement à tous les usagers. Ces normes ne sont cependant pas identiques dans tous les pays, à l'image des lois relatives aux droits des personnes handicapées. En 2006, la convention de l'Organisation des Nations Unies (ONU) relative aux droits des personnes handicapées a été ratifiée par de nombreux pays – 162 au 19 mai 2014^{XXI}. L'article 9 porte tout particulièrement sur l'accessibilité :

« Afin de permettre aux personnes handicapées de vivre de façon indépendante et de participer pleinement à tous les aspects de la vie, les Etats parties prennent des mesures appropriées pour leur assurer, sur la base de l'égalité avec les autres, l'accès à l'environnement physique, aux transports, à l'information et à la communication, y compris aux systèmes et technologies de l'information et de la communication, et aux autres équipements et services ouverts ou fournis au public, tant dans les zones urbaines que rurales. Ces mesures, parmi lesquelles figurent l'identification et l'élimination des obstacles et barrières à l'accessibilité, s'appliquent, entre autres, aux bâtiments, à la voirie, aux transports et autres équipements intérieurs ou extérieurs, y compris les écoles, les logements, les installations médicales et les lieux de travail ».

[ONU, 2006]

Néanmoins, à ce jour en comparant six pays signataires, des inégalités ressortent toujours (cf. tableau III-4 et annexe 1). Si certains pays ont pour objectif de garantir à tous les usagers un parcours tenant compte de l'intermodalité, certains pays s'en tiennent aux abords et intérieurs des bâtiments. Au Royaume-Uni, par exemple, l'inaccessibilité à un bâtiment ouvert au public ou aux transports en commun constitue une discrimination alors qu'en Espagne, ce sont les espaces strictement piétons qui sont privilégiés afin d'assurer un trajet. Ces disparités se retrouvent

^{XXI} Recueil des traités des Nations Unies :

https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=IV-15&chapter=4&lang=fr

parfois un sein d'un même pays. En Belgique, la loi anti-discrimination n'impose pas une obligation générale d'accessibilité et ne permet d'aborder la question de l'accessibilité que sous l'angle des demandes émanant d'une personne pour un grief particulier et dans les champs qu'elle couvre (offre de biens et de services/travail) [CIEC^{xxii}, 2007 : p. 8]. Les règles d'accessibilité des bâtiments ouverts au public par les personnes à mobilité réduite sont définies dans les règlements d'aménagement du territoire et d'urbanisme, qui sont régionaux, de telle sorte que l'accessibilité relève de chaque compétence régionale. Ainsi, si la région de Bruxelles-Capitale garantit les parcours intermodaux et l'accès aux bâtiments, la région flamande ne garantit à ce jour que l'accessibilité dans et autour des bâtiments.

Tableau III-4 : *Lois sur l'accessibilité dans six pays de l'Union Européenne*

Pays		Particularités	Loi	Date de la loi
France		Chaîne de déplacement, intermodalité	n°2005-102-art. 45 n°2010-1307-art. 7	11/02/2005 28/10/2010
Luxembourg		Label d'accessibilité pour espace public	Loi du 29 mars 2001-A-n°43-art. 1	29/03/2001
Allemagne		Concept de situations de handicap	<i>Behindertengleichstellungsgesetz</i>	15/11/1994
Espagne		Uniquement espaces piétons	<i>Real decreto</i> 505/2007-art. 9 à 19	20/04/2007
Royaume-Uni (sauf Irlande du Nord)		Accès aux transports, dans et autour bâtiments	<i>Equality act</i> 2010	01/10/2010
Belgique	Région wallonne	Cheminement piéton porte-à-porte	CWATUP – art. 414 et 415	25/01/2001
	Région de Bruxelles-Capitale	Cheminement piéton, intermodalité	RRU– titres VI et IV	21/11/2006
	Région flamande	Accessibilité dans et autour des bâtiments seulement	<i>Stedenbouwkundige Verordening betreffende Toegankelijkheid</i>	01/03/2010

Auteur : Victor N., 2015

Ces phénomènes d'inégalité s'expliquent aussi en partie par la complexité à mettre en place des normes garantissant un accès à tous les usagers. Raphaël Lanteri *et al.* [2005 : p. 8] en parlant de l'ergonomie des villes remarquent que « l'évolution des mentalités et des connaissances est telle que désormais les espaces publics doivent satisfaire aux attentes du « plus grand nombre » et non à la « moyenne » ou toute autre normalisation statistique ». La création de trajets intermodaux pour tous les

^{xxii} CIEC : Centre interfédéral pour l'égalité des chances – Belgique

usagers piétons requiert ainsi des aménagements particuliers avec des normes devant tenir compte de chacun mais sans empêcher la circulation d'autrui et des autres modes de déplacement. Si les normes existent déjà, il s'agit dorénavant de trouver des compromis entre impératifs ergonomiques et contraintes économiques [Lanteri *et al.*, 2005 : p. 9]. La France illustre bien les difficultés à convertir les espaces publics en trajets intermodaux favorables à tous : initialement prévue en 2005, l'application de son plan d'égalité des chances qui obligeait les communes à pouvoir accueillir tout public a dû être reportée de dix ans.

A la différence du Luxembourg où les normes d'accessibilité sont préconisées, en France elles sont fixées par des décrets et des arrêtés (cf. tableau III-5). Elles proposent des valeurs maximales et minimales garantissant une accessibilité pour tous aux territoires.

Tableau III-5 : *Normes d'accessibilité de la voirie et des espaces publics*

	France Arrêté du 15 janvier 2007	Luxembourg Guide des normes, 2000
Cheminement	- 1,40 m libre de mobilier, - 1,20 m en l'absence de mur ou d'obstacle sur les côtés, - hauteur de passage 2,20 m, - texture non meuble, - texture non glissante	- texture dur, - non glissante, - sans fente, sans trou, - grillage au sol pour rampe, - largeur min 1,20 m, - si largeur < 1,80 m refuge de 1,80 x 1,80 m tous les 50 m, - largeur minimale le long chantier 90 cm
Etat	- trous et fentes largeur où diamètre est < 2 cm	- trous et fentes largeur où diamètre est < 2 cm
Pente	- si topographie jusqu'à 8 % sur < 2 m, - jusqu'à 12% sur < 0,50 m	
Dévers	- max 2 %	- max 2 %
Rampe	- pente inférieur à 5 % pour franchir une dénivellation, - si pente plus de 4%, paliers de repos en haut et bas et tous les 10 m, - 1,20 x 1,40 m	- largeur plan incliné 1,60 m, - pente max 6 %, - palier de repos tous les 6 m
Garde-corps	- le long de toute rupture de plus de 0,40 m de hauteur, - plus de trois marches	- garde-corps et bordure chasse-roue de 10 cm de hauteur pour rampe, - hauteur 90 cm, - prolongement 30 cm au-delà, - deuxième à 70 cm si possible
Escalier	- largeur minimale 1,20 m sans mur sur les côtés, - 1,30 m un mur sur un côté, - 1,40 m entre deux murs, - hauteur max marche 16 cm, - largeur du giron 28 cm	- annoncer les escaliers
Traversée de chaussée	- bateaux, largeur minimale 1,20 m, - repère podotactile, - contraste visuel pour passage piéton, - traversée éclairée, - dispositif sonore ou tactile	- repère podotactile, - contraste revêtement, - pente max 6 %, - largeur bateau 200 cm, - commande signal 85-110 cm de hauteur
Ressaut	- bords arrondis ou chanfreins, - hauteur max 2 cm ou 4 cm si chanfrein, - distance minimale entre deux : 2,5 m, - plusieurs ressauts successifs « pas-d'âne » (escalier) interdit	- hauteur min et max 3 cm
Mobilier urbain	- bande de 10 cm de couleur contrastée sur 1/3 de la largeur et entre 1,20 et 1,40 m	- obstacles mobiles en ligne avec obstacles fixes
Signalétique	- caractères 1,5 cm hauteur lecture proche, - 15 cm lecture à 4 m, - 20 cm lecture à 6 m	- repère podotactile ligne guidance, - bande de couleur
Sources : Décret n°2006-1658 du 21 décembre 2006 – France ; Info Handicap, 2000 – Luxembourg Auteur : Victor N., 2015		

Ces normes portent sur les propriétés de l'environnement sous formes de mesures (largeur, hauteur), de texture (élasticité, granulométrie, irrégularité) ou encore de visibilité (signalétique, repère podotactile). L'emplacement du mobilier urbain est également normalisé de manière à laisser le passage nécessaire, en largeur et en hauteur, mais aussi à être visible. La pression du bâti ou de la coprésence avec d'autres modes de déplacement ne permet cependant pas toujours des normes optimales de confort pour tous les usagers. Les normes minimales préconisées ont

pour objectif de garantir le passage. Elles ne garantissant néanmoins pas systématiquement un espace de manœuvre nécessaire pour un demi-tour complet ou la possibilité de circuler côte à côte à deux utilisateurs d'aide au déplacement [Grobois, 2010 : p. 14-15]. Par ailleurs, les normes d'accessibilité en extérieur se heurtent régulièrement à la réalité du terrain et à des limites liées aux coûts des installations. Les pourcentages de pente idéaux sont, par exemple, difficiles à respecter lorsque la topographie du terrain est accidentée. Si certains aménagements comme les ascenseurs urbains peuvent être une solution, leurs coûts de construction et d'entretien limitent leur développement. Les normes d'accessibilité doivent donc être abordées par itinéraire de porte-à-porte et intermodalité. Si le tableau III-3 ne liste ici que les normes nécessaires dans les espaces publics urbains extérieurs, il existe également un ensemble de normes garantissant l'accès aux bâtiments et la possibilité d'entrer-sortir de son véhicule ou des transports en commun. Pour finir, lorsque Tim Blackman *et al.* [2003] font le constat que ces normes d'accessibilité aux espaces publics se tournent essentiellement vers la prise en charge des personnes possédant des déficiences physiques mais non mentales, la question de la faisabilité d'une prise en compte de l'ensemble des besoins des usagers piétons au sein d'un même territoire émerge alors.

2.3. Accessibilité universelle et problématiques de conflits d'usages

Au sein d'un même territoire, le guide des normes [Info Handicap, 2000] mais aussi la Classification Internationale du Fonctionnement, du handicap et de la santé (CIF) [OMS, 2001] questionnent également la juxtaposition de toutes ces normes d'accessibilité pouvant entraîner des conflits d'utilisation entre les profils d'usagers. L'environnement peut simultanément apparaître comme obstacle ou facilitateur en fonction des caractéristiques des usagers piétons (cf. tableau III-6). Par exemple, les bateaux de trottoirs sans pavement rainuré facilitent le déplacement d'un usager en fauteuil, mais constituent un obstacle pour une personne malvoyante. La CIF considère que les facteurs environnementaux doivent donc être abordés du point de vue de la personne dont on veut décrire la situation. Les éléments facilitateurs désignent tous les facteurs environnementaux présents dans l'environnement de l'individu qui, par leur présence ou leur absence, améliorent le fonctionnement ou réduisent la limitation d'activité. Les obstacles désignent, quant à eux, tout facteur environnemental situé à proximité d'un individu qui, par sa présence ou son absence, limite le fonctionnement et provoque l'incapacité. Plusieurs raisons expliquent pourquoi un facteur environnemental peut être un facilitateur ou un obstacle. Pour considérer un élément comme facilitateur, il faut garder à l'esprit des facteurs tels que l'accessibilité à une ressource donnée, son caractère fiable ou variable, sa bonne ou sa mauvaise qualité, etc. Pour un obstacle, il peut être utile de savoir combien de fois il se présente comme tel pour une personne donnée, s'il s'agit d'un obstacle majeur ou mineur, s'il est évitable ou non. Il faut aussi penser au fait qu'un facteur environnemental peut se révéler être un obstacle par sa simple existence ou par son absence. Par exemple, si les repères podotactiles sont essentiels à l'orientation des personnes malvoyantes ou non voyantes, leurs présences peuvent également contraindre l'accès aux personnes

utilisant un fauteuil roulant. Le meilleur compromis en matière d'accessibilité est donc de partir des capacités des plus faibles afin de garantir un accès à tous.

Tableau III-6 : *Conflit d'usage potentiel en fonction des propriétés de l'environnement*

Propriétés et aménagements	Texture	Aides à la marche (déambulateur, canne, béquilles, etc.)	Aide au déplacement (fauteuil roulant, landau, etc.)
Gravier, sable	meuble	défavorable	défavorable
	compact	favorable	favorable
Asphalte, ciment	lisse	favorable	favorable
	rugueux	favorable	favorable
Pavage en pierre naturelle	joints larges, creusés	moins favorable	défavorable
Pavage composite	joints larges, creusés	favorable	favorable
Dalle en pierre naturelle	brut	moins favorable	défavorable
Dalle ou revêtement en pierre artificielle	scié ou poli	favorable	favorable
	béton lavé à gros grains	moins favorable	moins favorable
	poncé, béton lavé à petits grains	favorable	favorable
	lissé, poli	favorable	favorable
Caoutchouc ou matière synthétique		favorable	favorable
Repère podotactile		moins favorable	moins favorable

Source : Info Handicap, 2000 | Mise en page : Victor N., 2015

Pour éviter ces conflits d'usages, une solution adaptée consiste à réaliser un revêtement de sol composé de plusieurs matériaux pour créer un revêtement praticable par les premiers au milieu d'un revêtement favorable aux seconds. C'est le cas du dallage de brique ou de béton balayé entouré de gravillons ou encore du parquet de bois posé sur le sable [Grobois, 2010 : p. 76]. Cette solution est d'autant plus fonctionnelle que le contact entre deux matériaux à la texture et aux colorations différentes, comme le pavé aux joints creux et le dallage lisse, constitue un élément de repérage et de signalisation pour les personnes non ou malvoyantes, qui reste esthétique. Le mélange de matériaux doit toutefois garantir une certaine

lisibilité des chemins abordés en évitant la présence de motifs complexes, comme des carreaux de couleurs différentes, des lignes répétitives qui peuvent causer des étourdissements ou de la confusion chez les personnes atteintes de déficiences mentales [Blackman *et al.*, 2003 : p. 364].

Néanmoins, il ne semble pas réaliste de penser que tous les usagers piétons puissent accéder entièrement au réseau piéton urbain. La relation entre les caractéristiques de l'utilisateur et les propriétés et aménagements urbains de l'environnement est à l'origine de situations de handicap qui ne peuvent être complètement solutionnées par une intervention humaine sur l'espace. L'aménagement en fonction de normes d'accessibilité de l'environnement urbain ne peut, en effet, pallier complètement la présence d'obstacles au déplacement comme la topographie ou encore les intempéries (neige, verglas). Puisque la capacité d'un espace à accueillir les usagers piétons varie dans le temps événementiel (mauvaise météorologie, travaux), le niveau d'accessibilité d'une ville passe donc par la capacité de cette dernière à les informer sur les espaces favorables ou défavorables à leur déplacement en fonction de leurs caractéristiques intrinsèques, à un instant *t* [Victor *et al.*, 2015b]. Avec l'utilisation des « nouvelles technologies », d'autres possibilités peuvent offrir des solutions d'accessibilité en complément des aménagements urbains. Les systèmes embarqués tels que les navigateurs GPS ou encore les dispositifs sonores et tactiles pour les personnes non voyantes apportent par exemple un support au déplacement en identifiant et en localisant les espaces accessibles aux piétons en fonction de leurs caractéristiques individuelles [Kammoun, 2013 ; Sobek et Miller, 2006 ; Golledge *et al.*, 1991].

Au final, le milieu urbain contraint ainsi les usagers piétons à parcourir diverses strates en empruntant des chemins qui ne sont pas toujours accessibles à tous et parfois même accompagnés de désagréments conséquents à la présence d'infrastructures de transports. À l'image des individus, l'environnement urbain ne peut donc être totalement compris par la seule utilisation d'une typologie de voies ou d'une classification par normes d'accessibilité. Chaque tronçon de voie possède ses propriétés propres, un cadre législatif associé à un type de voie et à la présence d'infrastructures de transports et pour finir, à des normes d'accessibilité pas toujours appliquées pouvant susciter des conflits en fonction des usagers. Afin de saisir les situations de handicap conséquentes à la relation usager/environnement, nous proposons donc de traiter les tronçons de voie de manière individualisée en cherchant à identifier leur profil en matière de propriétés et d'état, d'aménagements urbains et handicapés mais aussi du type d'infrastructures de transport à proximité. Cependant, pour définir les situations favorables ou défavorables aux déplacements piétons urbains, il est indispensable de tenir compte des critères que les piétons considèrent comme attractifs et qui conduisent à l'utilisation de ce mode.

Conclusion du chapitre III

Les chemins piétonniers dans l'environnement urbain peuvent ainsi être contraints par un certain nombre de barrières réelles ou perçues tirant leur source

des espaces *chorotaxiques*, fonctionnels et cognitifs. L'étude de ces chemins au sein de l'espace chorotaxique a démontré un ensemble d'obstacles et de nuisances dans l'environnement urbain qui peuvent conduire à des contournements et des détours mais aussi un effet rétroactif imposant aux usagers d'adapter leurs déplacements à la présence de modes supposés les faciliter. De plus, la ville est composée de surfaces multiples interconnectées qui peuvent également voir de nouveaux obstacles à l'accessibilité si ces dernières ne répondent pas à un certain nombre de normes garantissant un cheminement piétonnier à tous les usagers.

Aménager l'environnement urbain de manière à accueillir non plus un individu standard moyen mais un ensemble des usagers aux profils variés, questionne sur la capacité d'un même espace à tenir compte des besoins de chacun au même moment. Si des voies piétonnes ont été mises en place pour protéger le piéton et garantir un certain niveau d'accessibilité à travers une législation et des normes, les trajets piétons de porte-à-porte, qu'ils soient exclusifs, intermodaux ou complémentaires à un autre mode de transport, ne sont toujours pas garantis au sein d'un même territoire et encore moins entre les pays. De plus, les aménagements et normes d'accès préconisés pour les uns ne fonctionnent pas systématiquement pour les autres. Si des aménagements innovants offrent différents couloirs de circulation selon les capacités motrices des usagers au sein d'une même voie piétonne, la morphologie urbaine et la présence d'infrastructures de transports ne peuvent toujours garantir des continuités de trajet à tous les usagers.

Les axes facilitant le déplacement des uns ne conviennent donc pas toujours aux autres et les aménagements et législations mis en place pour sécuriser la pratique de la marche ne peuvent entièrement tenir compte de la variété d'usagers piétons. Seule une cartographie précise de l'environnement urbain permet d'appréhender la capacité d'un espace à accueillir une grande diversité d'usagers piétons.

Fin de la première partie

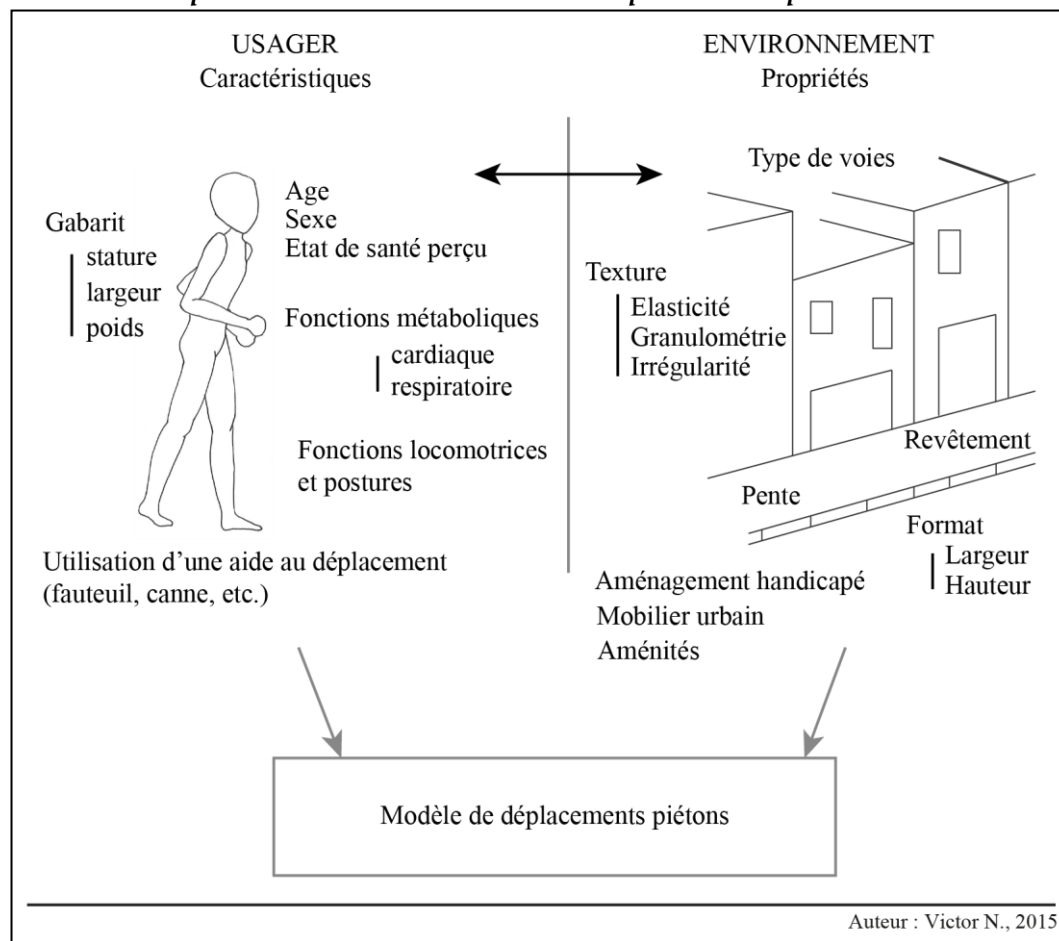
Conclusion

Au final, un état de l'art pluridisciplinaire de la marche, des usagers piétons et de l'environnement dans un contexte urbain et contemporain a permis d'aborder nos trois hypothèses. La marche est un mode de déplacement en soi, intermodal ou complémentaire, mais aussi une pratique individuelle et une façon d'expérimenter le monde qui nous entoure. Complexe, elle est pratiquée par une grande diversité d'usagers aux caractéristiques variées dont l'étude par profils révèlent des comportements spatiaux évoluant selon des variabilités interindividuelles telles que l'âge, le genre et l'adhésion aux stéréotypes de sexe, la catégorie socioprofessionnelle, etc. Une analyse de la santé des usagers et des conséquences sur la marche a ensuite révélé l'existence d'un *continuum* de relations entre les piétons et l'environnement urbain où les usagers ont leurs propres caractéristiques et peuvent utiliser toutes sortes d'aides au déplacement (chaussures, fauteuil roulant, canne, déambulateur, etc.). Enfin, l'étude de l'environnement du point de vue des usagers piétons a permis d'identifier des situations d'inadéquation entre les caractéristiques physiques de l'utilisateur et les propriétés de l'environnement. Cet environnement peut être réaménagé de manière à respecter un certain nombre de normes permettant à tous de se déplacer. Néanmoins, la variété d'usagers questionne sur la capacité d'un même espace à satisfaire chacun. En outre, les effets de certaines coupures urbaines ne peuvent être qu'atténués (dénivelé, présence d'infrastructures de transport, canaux).

La création d'un modèle de déplacements piétons peut alors apporter une solution de support en fournissant non seulement des informations sur les parcours les plus favorables en fonction de l'interrelation usager-environnement mais aussi en autorisant des diagnostics des espaces publics urbains. Le socle théorique constitué dans la première partie permet d'intégrer à ce modèle des problématiques contemporaines liées à la marche telles que l'accessibilité de la voirie à une grande diversité d'usagers ou encore l'identification de configurations favorisant la pratique de ce mode. Une démarche inclusive intégrant divers profils de mobilité pédestre selon les usagers et leurs interrelations avec l'environnement requiert toutefois de faire une série de choix préliminaires. Par exemple, la prise en compte de déficiences cognitives nécessite de collecter des informations spécifiques pouvant requérir le soutien de spécialistes de la santé (médecin, psychologue, ergothérapeute, etc.). Dans le cadre de cette thèse, nous proposons plutôt de mener une analyse de la voirie pédestre pour révéler de potentielles inégalités spatiales en nous concentrant sur les caractéristiques physiques qui peuvent conduire à

d'éventuelles déficiences de motricité. D'autres profils d'usagers piétons pourront être intégrés au modèle dans le cadre de futures recherches ou de collaborations pluridisciplinaires pour le mettre au service de personnes non voyantes, d'individus atteints d'obésité, de déficiences cognitives, de maladies cardiaques ou encore pulmonaires, etc. En attendant, les interrelations usagers–environnement sont abordées selon une sélection de caractéristiques et de propriétés interindividuelles et individuelles^{xxiii} (cf. figure 1-2).

Figure 1-2 : *Eléments de l'interrelation usagers-environnement sélectionnés pour la création du modèle de déplacements piétons*



Les caractéristiques physiques des usagers piétons retenues permettent essentiellement de définir des capacités d'accessibilité au réseau pédestre et le coût moyen nécessaire à leurs déplacements (vitesse, consommation énergétique). Les propriétés de l'environnement choisies contribuent, quant à elles, à identifier des situations potentielles d'inadéquation mais aussi des configurations susceptibles de favoriser la pratique de la marche. Confrontées dans le modèle de déplacement piéton, les variables sélectionnées permettent alors de reproduire des profils de mobilité pédestre selon une grande diversité d'usagers en milieu urbain.

^{xxiii} Rapahaël Lanteri *et al.* [2005 : p. 10] considèrent que l'utilisateur est caractérisé par des variabilités interindividuelles (âge, taille, niveau culturel, etc.) et d'autres intra-individuelles (chacun évolue au cours du temps). Dans cette thèse, cette terminologie a été adaptée à notre problématique et est proposée sous la forme de caractéristiques/propriétés interindividuelles et individuelles.

Deuxième partie

MISE EN PLACE D'UN MODELE DE DEPLACEMENTS PIETONS URBAINS

à l'aide d'un système d'information géographique

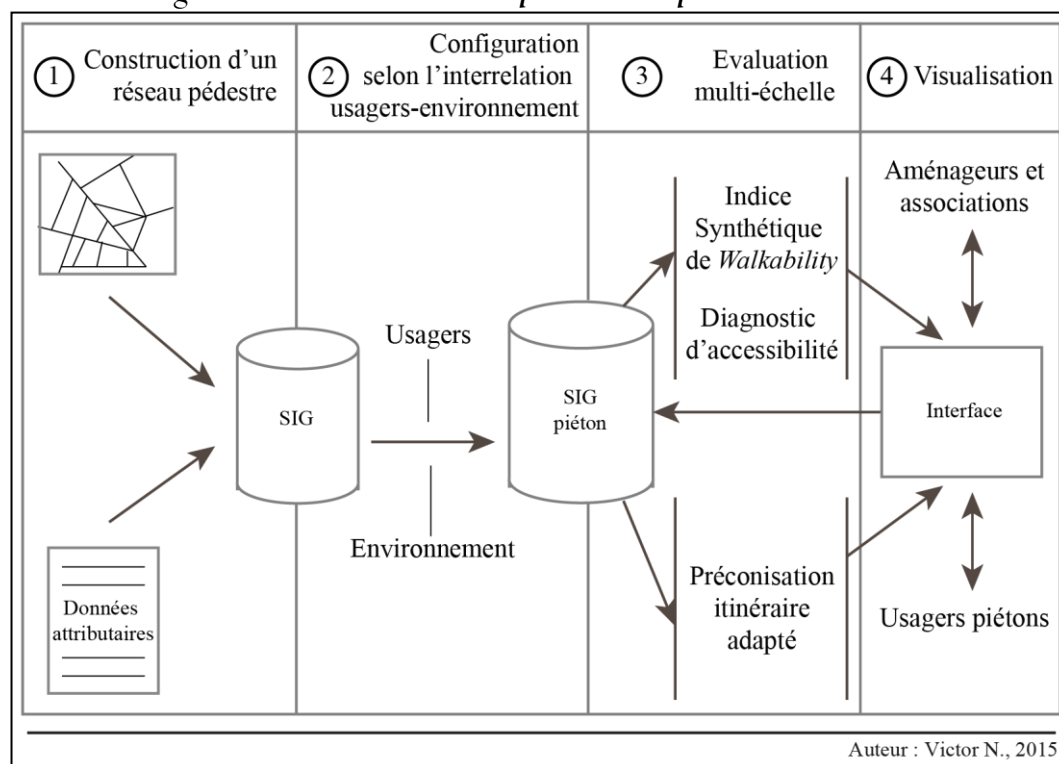
Introduction

La pratique de la marche est conditionnée par la relation qu'établissent les usagers avec l'environnement en fonction de leurs caractéristiques physiques intrinsèques et des propriétés et aménagements de l'espace public. Cette relation varie dans le temps et dans l'espace selon le contexte du déplacement. Cette amplitude de conditions déterminant les déplacements piétons induit que tout usager peut être un jour confronté à une situation de handicap restreignant, voire interdisant, l'accès à certains espaces. Dès lors, garantir une ville propice à la marche, support aux mobilités quotidiennes nécessite de tenir compte des spécificités de chacun et des situations qui peuvent influencer la pratique de ce mode. A cet effet, un modèle numérique de déplacements piétons incluant une grande diversité d'usagers offre la possibilité d'évaluer et de localiser les configurations usager-environnement-temps favorables ou non.

Plusieurs solutions sont envisageables pour modéliser les déplacements piétons : système multi-agents [Banos et Charpentier, 2010 ; Banos *et al.*, 2011], modèle de choix d'itinéraires [Antille, 2002, Church et Marston, 2003, Hoogendoorn et Bovy, 2004], syntaxe spatiale [Hillier et Iida, 2005], etc. Toutefois, la mise en place d'un modèle inclusif sur la marche nécessite de synthétiser des données numériques dans divers formats et à différentes échelles afin de tenir compte des interrelations usager(s)-environnement à la fois dans les déplacements piétons préconisés et dans les diagnostics de la capacité des espaces à favoriser la marche. ***Dans ce but, nous proposons de recourir à la théorie des graphes avec un réseau sous forme d'objets vecteurs dans un Système d'Information Géographique (SIG).*** Ce choix permet d'attribuer différents types d'informations à des objets linéaires et ponctuels représentant les tronçons et les carrefours. L'utilisation d'un SIG permet ensuite la synthèse de sources disparates d'informations spatiales sous la forme de données numériques diverses (couche, tableau *Excel*, image, vidéo, son) en étant à la fois un outil d'inventaire, de gestion, d'analyse et d'aide à la décision [Cowen, 1988 : p. 1554 ; Denegre et Salge, 2004 : p. 5]. ***Le recours à un SIG facilite ainsi l'identification, la localisation et l'analyse des éléments partie prenante de la relation environnement-usagers-temps par ses fonctions, son architecture et les outils qu'il met à disposition.*** De la construction à la visualisation de résultats, nous proposons de mettre en place un modèle de déplacements piétons intégrant les interrelations usagers-environnement en quatre étapes (cf. figure 2-1) : 1) construire un réseau pédestre adapté, 2) configurer le SIG piéton selon les interrelations entre les caractéristiques des usagers et les propriétés de l'environnement, 3) effectuer des analyses multi-

échelles du SIG piéton sous la forme de diagnostics synthétiques de l'espace public pédestre et de préconisations d'itinéraires adaptés et enfin 4) proposer un prototype d'outil d'aide à la décision adressé aux aménageurs/associations et au grand public. Ces étapes seront développées au cours de cette deuxième partie.

Figure 2-1 : *Modéliser les déplacements piétons via un SIG*



Le chapitre IV est, tout d'abord, consacré à un état des lieux de l'existant quant à l'utilisation d'un SIG dans le contexte des déplacements piétons. Après avoir identifié les atouts et contraintes de l'utilisation d'un SIG dans le cadre de l'accessibilité piétonne et de l'identification des configurations spatiales favorisant la marche, la mise en place d'un modèle de déplacement piéton est proposée à partir de deux volets méthodologiques. Premièrement, une méthode de création d'un modèle pédestre générique est développée afin de pouvoir proposer une solution en matière de collecte de données et capable de s'adapter à tous les milieux urbains européens. Deuxièmement, la relation environnement-usager étant individuelle, un modèle générique ne peut entièrement tenir compte des spécificités liées à l'architecture et au design des villes. La relation usagers-environnement étant fondée sur un système attraction-répulsion incitant à emprunter un parcours plutôt qu'un autre, les éléments de l'environnement peuvent en effet alternativement créer des axes facilitateurs au déplacement ou conduire à développer des stratégies d'évitement en fonction du contexte de déplacement et des caractéristiques physiques, mentales et cognitives de l'utilisateur. Afin d'identifier les propriétés et éléments de l'environnement pouvant se révéler défavorables aux déplacements piétons, le second volet se consacre ainsi à particulariser le modèle en fonction d'un espace urbain spécifique. Pour cela, il est nécessaire de passer d'un environnement théorique à un environnement concret en proposant la mise en place d'un audit urbain permettant de collecter des informations détaillées, objectives et spécialisées.

A l'instar de la démarche en deux volets pour construire le réseau pédestre, le chapitre V propose d'intégrer au modèle les caractéristiques physiques qui influencent la pratique de la marche selon deux approches. *Primo*, des configurations de restrictions spatiales sont proposées selon des variables interindividuelles sur la base d'une revue de littérature médicale et de normes d'accessibilité préconisées. Elles permettent de mesurer l'accessibilité d'un réseau pédestre générique selon différentes catégories d'usagers. Des exemples de profils de vitesses et de consommations énergétiques sont également intégrés au modèle selon le genre, l'âge, la motricité ou encore l'utilisation d'une aide au déplacement. *Secundo*, l'interrelation entre l'utilisateur et l'environnement au cours d'un déplacement étant personnelle et modulable dans le temps, la seule prise en compte de variables interindividuelles ne peut retranscrire véritablement l'aspect individuel de cette relation. Afin d'en tenir compte, l'environnement doit être abordé du point de vue de l'utilisateur. A cet effet, les caractéristiques des usagers sont identifiées par l'intermédiaire d'un questionnaire afin de déterminer leur capacité de mobilité et proposer des parcours personnalisés. Dès lors, des configurations de restrictions spatiales selon l'interrelation usager-environnement peuvent être proposées à partir des résultats. En complément, une enquête auprès d'usagers piétons aux caractéristiques diverses est mise en place pour identifier des pratiques pédestres spécifiques à l'environnement urbain étudié. Cette enquête répond à deux objectifs : 1) améliorer le modèle piéton en matière d'accessibilité et 2) évaluer l'importance qu'accordent les usagers piétons aux différentes dimensions de l'environnement intra-urbain.

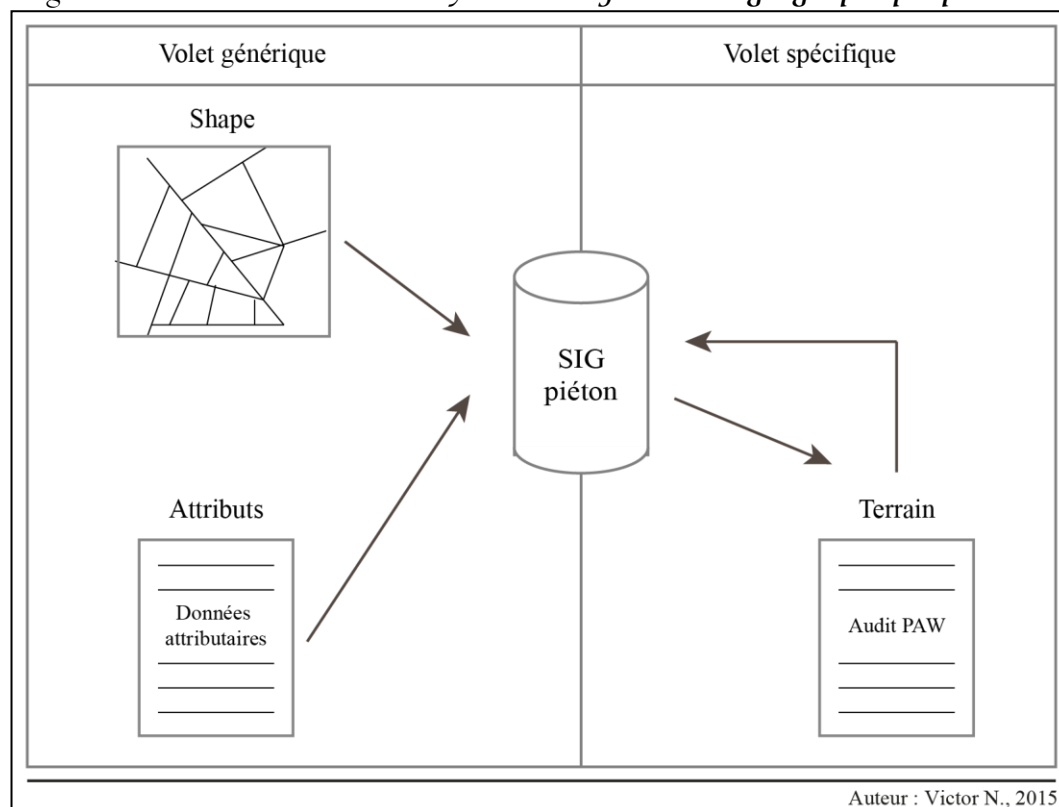
Une fois le modèle de déplacement construit et configuré selon des variables interindividuelles et individuelles qui peuvent influencer la pratique de la marche, le chapitre VI propose un ensemble de méthodes pour effectuer des analyses multi-échelles du réseau pédestre et des configurations spatiales favorables à la marche. Des mesures objectives d'attributs de l'environnement liés à un ensemble de critères métriques, de connectivité, de linéarité, fonctionnels ou encore environnementaux et paysagers permettent ainsi d'aborder un ensemble de critères que les usagers cherchent à satisfaire lorsqu'ils planifient leurs itinéraires (faisabilité, accessibilité, utilité des lieux, etc.). Pour cela, dans un premier temps, les conditions de faisabilité et d'accessibilité au réseau pédestre sont évaluées en fonction des interrelations usagers-environnement afin de révéler la présence de coupures urbaines et d'inégalités d'accès selon les usagers, puis d'analyser la capacité de l'espace à accueillir une grande diversité d'usagers piétons. Dans un deuxième temps, la qualité du réseau pédestre et du design urbain est évaluée de manière à identifier la capacité d'un lieu à être considéré comme utile et attractif. Enfin, dans un troisième temps, des outils d'aide à la décision permettent de mettre en avant des solutions innovantes s'adressant non seulement aux professionnels (aménageur, association, etc.) mais également au grand public avec la création d'un indice inclusif synthétique de *walkability*.

Chapitre IV.

Construction d'un Système d'Information Géographique pédestre

De nombreux services de cartographie en ligne proposent des simulations plurimodales d'itinéraires de moindre coût (Google Maps, Mappy, Via Michelin, Waze, etc.). Initialement développés pour la voiture, la plupart de ces services ont, au fur et à mesure, intégré d'autres modes comme le vélo ou la marche. Néanmoins, ces services ne tiennent pas encore compte des spécificités des modes actifs : les vitesses proposées correspondent à des moyennes fixes basées sur une norme statistique et l'influence des obstacles, tels que la pente, n'est pas prise en compte. Par ailleurs, ces services utilisent un réseau initialement dédié à la voiture qui ne tient donc ni compte de l'existence de voies piétonnes, ni des coupures résultant de la présence des infrastructures de transport. ***Dans une suite logique d'approfondissement de notre démarche, comment dès lors proposer un modèle dédié aux déplacements piétons qui puisse également intégrer une démarche inclusive ?*** Pour commencer, les atouts et inconvénients de l'utilisation de systèmes d'information géographique dans le contexte de la marche sont analysés et discutés à travers une revue de littérature afin de construire une méthodologie adaptée. La construction d'un SIG piéton est ainsi proposée à travers deux volets méthodologiques (cf. figure IV-1).

Figure IV-1 : *Construction d'un système d'information géographique pédestre*



La mise en place d'un *volet générique* tente de résoudre les problématiques conséquentes à la mise en place d'une méthode de construction de réseau pédestre et d'attribution de données spécifiques à la marche reproductible dans différentes villes européennes. Une fois le SIG construit, un *volet spécifique* s'attache à intégrer des données détaillées à une échelle *micro* pour compléter la base de données attributaires en fonction d'un territoire urbain en particulier. Ces deux volets méthodologiques contribuent ainsi à la création d'un SIG piéton proposant des analyses multi-échelles de l'environnement urbain pratiqué par les piétons.

1. Atouts et contraintes des systèmes d'information géographique (SIG) pédestres

Dans le cadre des déplacements piétons, certaines études de mobilité et d'accessibilité proposent de recourir aux SIG pour effectuer des diagnostics de l'espace urbain ou encore proposer des supports de navigation numérique [Yairi et Igi, 2007 ; Mathews *et al.*, 2003 ; Mackett *et al.*, 2008]. ***Toutefois, un système d'information géographique est-il un outil adapté aux spécificités d'une étude sur la marche et des configurations usager-environnement-temps favorables ou défavorables à cette dernière ?*** Une revue de projets intervenants dans les domaines de l'accessibilité piétonne et/ou de l'utilisation de critères de *walkability* (cf. chap. III-1-1.2) propose ici de mettre en lumière les atouts et inconvénients de l'utilisation d'un SIG dans le cadre d'une étude sur la marche. Les projets retenus ont été exécutés dans différents contextes urbains et nationaux (France, Royaume-Uni, Australie, Etats-Unis et Japon). Dans un premier temps, trois projets sont

présentées pour illustrer les possibilités qu'offre l'utilisation d'un SIG dans le cadre de l'accessibilité piétonne. Dans un deuxième temps, trois autres projets sur la *walkability* sont introduits et comparent diverses utilisations du SIG en fonction de l'objectif et de l'échelle d'analyse. Pour finir, dans un troisième temps, une revue de littérature étendue à dix-huit projets utilisant des SIG au service d'études sur l'accessibilité et/ou la *walkability* permet de mettre en avant les fonctions et outils les plus utilisés dans le contexte de la marche.

1.1. Les SIG au service de l'accessibilité pédestre

Dans le cadre de l'analyse de l'accessibilité piétonne, les systèmes d'information géographique ont l'avantage de conserver des informations sous la forme de données numériques diverses (couche, tableau *Excel*, image, vidéo, son). Ils structurent les bases de données non seulement à différentes échelles d'analyse mais aussi d'un point de vue sémantique, en déterminant les critères, les types d'objets qui doivent être considérés pour évaluer l'accessibilité. Il s'agit d'un outil parfaitement adapté à l'évaluation multi-scalaire de l'accessibilité en permettant d'une part, d'identifier ce qui est présent sous nos pieds et d'autre part, d'effectuer des diagnostics à l'échelle d'une ville ou d'un quartier par agrégation d'informations à grande échelle [Amiaud, 2012]. L'agrégation des informations autorise une analyse spatiale de l'accessibilité et révèle non seulement des manques d'application et de réglementations mais aussi des différenciations spatiales entre les quartiers révélateurs de ségrégations fortes et d'espaces d'exclusions [Bodin, 2007 : p. 204]. Elle permet également de hiérarchiser et de prioriser les besoins en tant que support d'aide à la décision.

Par ailleurs, les systèmes d'information géographique donnent la possibilité d'utiliser des fonctions d'analyse de réseaux permettant notamment de calculer des itinéraires, individualisés, en matière d'accessibilité mais aussi de temps, de distance ou de consommation énergétique, basés le plus fréquemment sur l'algorithme de Dijkstra [1959]. Lors de ces calculs de moindre coût, un système de pondération valorise ou pénalise des segments en fonction des variables présentes dans la table attributaire associée. En général, il ressort des modèles d'accessibilité utilisant les SIG, une volonté commune d'aide à la décision s'adressant à la fois aux usagers et aux aménageurs. Toutefois, la complexité de ce type de modèle (difficulté de collecte de données détaillées, taille importante des bases de données, etc.) conduit les concepteurs à faire un choix quant aux usagers cibles. Afin de composer avec des usagers piétons différents, les protocoles de mise en place sont dès lors établis en fonction des usagers concernés comme le démontrent les trois exemples qui suivent :

MAGUS (*Modelling Access with GIS in Urban Systems*) est une solution qui combine système d'information géographique, intelligence artificielle (IA) et techniques d'analyses multicritères. L'objectif est de pouvoir fournir à la fois aux urbanistes et aux personnes handicapées une mise à jour détaillée et des informations personnalisées pour les aider à planifier et gérer leur accès et mobilité dans les zones urbaines. Cette solution doit également être capable de fournir ces informations sous une forme interactive, ce qui renforcerait considérablement l'autonomie et la

qualité de vie des personnes handicapées [Matthews *et al.*, 2003]. Pour cela, les concepteurs utilisent deux approches méthodologiques différentes : une qualitative et une quantitative. Il s'agit, dans un premier temps, d'identifier, mesurer et pondérer les facteurs que les utilisateurs de fauteuil roulant considèrent comme jouant un rôle dans l'accès au réseau d'un milieu urbain. Dans un second temps, les technologies informatiques (SIG, analyse de réseau, IA) traduisent cette information par une évaluation opérationnelle et interactive de l'itinéraire et un logiciel de modélisation. Les créateurs spécifient que MAGUS n'est pas une solution dénonçant l'exclusion sociale mais un dispositif d'information pour les décideurs valides qui met, d'une part, en exergue les multiples façons dont les villes paralysent littéralement leurs populations [Matthews et Vukajovic, 1995] et permet, d'autre part, d'offrir aux utilisateurs de fauteuil roulant une carte individualisée, définie par leurs contributions, pour localiser et quantifier les obstacles les plus discriminatoires de l'environnement bâti à travers le réseau [Beale *et al.*, 2006].

Le *Personal Guidance System for blind and vision-impaired traveller (PGS)* propose un système de navigation en temps réel s'adressant tout particulièrement aux personnes malvoyantes ou non voyantes en s'appuyant 1) sur un SIG en tant que base de données et outil d'analyse et 2) sur un système de guidage personnel (SGP) comme interface avec les utilisateurs. L'objectif est de fournir des informations sur les caractéristiques environnementales et fonctionnalités entourant l'usager pour améliorer son déplacement via un écran acoustique virtuel [Golledge *et al.*, 1991 ; Golledge *et al.*, 1998]. Pour un usager mal ou non voyant, il fournit une description des éléments à proximité ainsi que leur disposition spatiale mais il offre aussi aux usagers voyants une description du quartier et des alentours. Ce modèle d'accessibilité cherche ainsi à compléter les représentations spatiales cognitives des usagers en influant sur leurs capacités à se localiser dans l'espace, à s'orienter et à acquérir un cadre de références. Pour cela, des études ont été menées sur le processus de navigation et les besoins spécifiques des personnes malvoyantes ou non voyantes [Klatzky *et al.*, 1988 ; Loomis *et al.*, 2001]. Le SIG, en lui-même, comprend un fond de carte numérisé et un logiciel de suivi d'itinéraire qui contrôle l'accès dynamique à la carte. Il corrige également les pertes ou erreurs de signal. La base de données en elle-même contient des informations adaptées aux usagers mal ou non voyants comme l'emplacement des arrêts de bus, la présence d'un abribus, la proximité et la direction de l'intersection la plus proche, si l'intersection dispose d'un système de contrôle du trafic, etc. Les attributs les plus utiles pour ce type d'usagers contiennent des informations sur les façades de bâtiment, les caractéristiques de la route telles que la direction de l'écoulement ou de l'existence d'un diviseur central, les parcs ou les zones ouvertes, les pistes cyclables, les parkings ou toute autre occupation du sol [Golledge *et al.*, 1998].

Dernier exemple, le *Mobility Support GIS* proposé, en 2000, par Yairi et Igi [2007] a pour ambition de proposer un support à la navigation universel pour tous piétons, y compris ceux qui sont âgés ou handicapés. Les auteurs partent du postulat que toute personne peut expérimenter des difficultés de déplacement en ayant ses capacités de mobilité provisoirement diminuées par une maladie, une blessure ou de lourdes charges à porter. Un système tenant compte des informations sur le terrain les plus

appropriées aux exigences physiques de l'utilisateur serait ainsi bénéfique à tous. Leur modèle SIG est constitué de trois serveurs : l'un gérant des cartes numériques, l'autre une base de données sur l'accessibilité aux espaces piétons et un dernier qui fournit l'accès internet. L'utilisateur peut ainsi accéder au SIG de la maison ou en déplacement via des terminaux mobiles comme un PC ou encore un *smartphone* pour une variété de services : indications sur l'itinéraire le plus approprié, informations sur les obstacles présents et les zones favorables à l'accessibilité, données de navigation, etc. Leur SIG permet également en disposant de droits d'administration de modifier les données du serveur en utilisant un terminal mobile lorsque des différences entre les données stockées et la réalité sont observées. Les concepteurs considèrent que l'introduction et l'exploitation d'un support SIG à la mobilité peuvent être classées en trois étapes : 1) une enquête-usagers sur les principes de base nécessaires à leurs déplacements, 2) la construction du système et 3) la réponse aux commentaires des utilisateurs. Pour être vraiment utile dans la vie quotidienne, le système doit ainsi répondre en continu aux changements survenant dans la région et à des demandes de fonctions supplémentaires. Pour cela, les auteurs visent à obtenir une application pratique des SIG en impliquant les municipalités mais aussi les résidents (*crowd sourcing*) : les premières introduisant le système et ces derniers le faisant fonctionner en continu.

Les modèles d'accessibilité s'adressant à tous les usagers piétons apparaissent au final comme assez rares car requérant des moyens de mise en place et de gestion importants, voire coûteux. Bien qu'ils s'adressent à des publics différents, ces systèmes partagent des caractéristiques communes que nous retiendrons dans l'élaboration de notre modèle. Premièrement, une collecte détaillée des éléments susceptibles d'influencer les déplacements piétons doit faire ressortir des obstacles invisibles aux personnes valides et néanmoins infranchissables ou fortement contraignants pour les usagers concernés. A cet effet, il est donc nécessaire de tenir compte d'un ensemble d'usagers aux caractéristiques physiques et aux motricités différentes. Deuxièmement, seule la prise en compte du point de vue des usagers permet réellement d'identifier les facteurs de l'environnement qui peuvent leur créer des difficultés. L'utilisation de parcours personnalisés peut, dès lors, être une solution permettant de configurer le modèle au cas par cas. La collecte de données doit alors être complétée par des entretiens avec les usagers piétons afin d'obtenir les principes de base nécessaires au modèle pour proposer des itinéraires optimisés selon leurs capacités de déplacement.

1.2. Les SIG et les mesures de walkability

Au-delà des facteurs influant l'accessibilité des usagers piétons, d'autres critères permettent de diagnostiquer si un espace est favorable ou non à la marche en ville – *métrie, connectivité, géométrie, fonctionnalité, qualités environnementale et paysagère* (cf. chap. 3-1-1.2). Pour qu'un espace soit qualifié de favorable au déplacement piéton, il doit ainsi disposer d'éléments de l'environnement et d'une qualité du design urbain qui procurent aux usagers piétons les meilleures réactions individuelles (sécurité, confort, plaisir des sens, etc.) [Ewing et Handy, 2009]. Il doit également connecter les personnes et les aménités par un réseau au coût

temporel et énergétique raisonnable [Southworth, 2005 : p. 247-248]. Afin de localiser et de mesurer ces critères, les SIG mettent à disposition un ensemble d'outils (analyse spatiale, analyse de réseau, etc.) qui permettent d'établir un indice de *walkability*.

Les indices les plus connus du grand public mesurent un potentiel d'accès à des aménités en agrégeant des critères métriques et fonctionnels :

Le *walkscore*^{XXIVXXV}, proposé depuis 2007 par la compagnie Front Seat Management, propose une méthode à la disposition du public pour calculer le potentiel piétonnier d'un espace en matière d'accès à des aménités aux Etats-Unis, au Canada et en Australie. La compagnie Redfin, qui a racheté en 2014 le concept, utilise également le logiciel à des fins commerciales pour la vente et la location de résidence. L'indice *walkscore* utilise des données accessibles au public pour attribuer un score à un emplacement en fonction de la proximité et de la variété des installations commerciales et publiques présentes – éducation (écoles), commerces de proximité (épiceries, pharmacies, librairies), alimentation (restaurants), loisirs (parcs, gymnases) et divertissement (salles de cinéma, théâtres). Un algorithme calcule alors la distance la plus proche de chacune des cinq installations, en utilisant des distances en ligne droite^{XXVI}. Il peut également proposer une combinaison linéaire de ces distances, pondérées à la fois par un type prioritaire d'établissement et par une fonction de distance décroissante. Enfin, le résultat est normalisé pour s'adapter à une échelle de 0 à 100, 0 étant le plus bas (report modal préconisé) et 100 le plus élevé (très praticable à pied) [Duncan *et al.*, 2011]. Afin d'explorer la fiabilité et la validité de l'indice *walkscore* en tant que mesure d'accès aux aménités, Lucas Carr *et al.* [2010] ou encore Duncan *et al.* [2011] proposent de le comparer à des mesures objectives à travers un SIG. Dans les deux études, cet indice se révèle tout à fait pertinent en tant que mesure de la concentration d'équipements encourageant la pratique de la marche au niveau d'un quartier envisagé globalement. Cependant, les critères utilisés par l'indice *walkscore* se basent sur une mesure de la distance à vol d'oiseau qui ne tient pas compte des spécificités du réseau pédestre et des coupures urbaines le contraignant. En réaction à ce constat, un autre indice tente de solutionner cette limite en proposant un modèle calculant des distances sur une grille plus fine d'une centaine de milliers de cellules sur toute la ville, pondérées par des coefficients ajustables.

Le projet *Walkshed*^{XXVII}, à Philadelphie et New York, propose de prendre en compte les coupures urbaines (autoroutes, rivières) et les connectivités du réseau (cul-de-sac, carrefour) [Ogle, 2010]. Un ensemble d'aménités (bars, magasins, librairies, postes, pharmacies, parcs, etc.) peut également être favorisé ou pénalisé selon les besoins de l'utilisateur. Les données utilisées sont, pour cela, extraites de diverses bases de données administratives, Bing, InfoUSA et NYC Data Mine. De la sorte, Walkshed est capable de proposer un indice qui peut rendre compte de façon

XXIV

XXV <https://www.walkscore.com/>, vu le 23/04/2015.

XXVI Notons qu'à notre connaissance, les détails de l'algorithme ont toujours été tenus secrets.

XXVII <http://walkshed.org/>, vu le 23/04/2015

dynamique des préférences de chacun en donnant un poids relatif à chaque facteur avant de combiner les données en utilisant un moteur de calcul basé sur un arbre de décision (Azalea). Somme toute, ce critère proposé a l'avantage de tenir compte de la forme du réseau en plus de l'accessibilité à un certain nombre d'aménités.

Ces premiers indices que sont le *walkscore* ou le *walkshed* offrent des mesures globales dont l'échelle d'analyse (*méso* puis *macro* par agrégation) facilite l'utilisation sur n'importe quel terrain. Toutefois, les critères utilisés ne permettent pas de décrire la qualité du déplacement et encore moins la possibilité d'accueillir tous les publics.

Il existe d'autres propositions d'indices de *walkability* à ces échelles qui intègrent plus de critères caractérisant les spécificités du réseau dans le but d'identifier la qualité de vie d'un quartier ou encore les aires de déplacement piéton potentiel dans un espace résidentiel [Frank *et al.*, 2009 ; Leslie *et al.*, 2007 ; Klein *et al.*, 2015a]. Ces indices se basent sur des valeurs objectives dont l'échelle d'analyse donne l'avantage de la reproductibilité.

Le modèle NQLS (*Neighborhood Quality of Life Study*) utilise, par exemple, un indice de *walkability* basé sur la densité résidentielle nette, le ratio de bâtiments avec vitrines, la connectivité du réseau et l'occupation mixte du sol sur les villes de Seattle et Washington [Frank *et al.*, 2009]. Les variables individuelles sont additionnées en se basant sur l'idée que leur combinaison représente le potentiel piétonnier et explique les comportements de déplacements (trottoirs, apaisement de la circulation et caractéristiques d'intersection). Ce modèle met ainsi l'accent sur de multiples niveaux d'influences, non seulement sur le comportement, mais aussi l'environnement physique. Il intègre des concepts et méthodes d'aménagement, de santé publique ou encore de sciences du comportement.

Pour finir, dans ces indices de *walkability*, l'accessibilité physique est uniquement prise en compte en amont sous la forme de catégories d'utilisateurs (âge, genre, motricité, etc.). Les indices intégrant un critère d'*accessibilité spatiale favorable aux usagers piétons* se révèlent assez rares. En effet, seule une collecte détaillée d'informations à une échelle *micro* peut offrir les données nécessaires à une prise en compte de tous les usagers piétons et il s'agit d'un processus assez lourd à mettre en place pouvant se révéler coûteux en temps et en moyens.

Le projet AMELIA (*A Methodology for Enhancing Life by Increasing Accessibility*), au Royaume-Uni, propose un indice mesurant le potentiel d'un espace à faciliter l'accès à un certain nombre de services (restauration, activité, magasin, santé, culture, etc.) en fonction des usagers lorsque tout obstacle est supprimé. Initialement, le projet AMELIA proposait un outil logiciel permettant aux aménageurs et urbanistes de tester l'efficacité de leurs politiques de transports pour accroître l'inclusion sociale [Mackett *et al.*, 2008 ; Titheridge *et al.*, 2009]. AMELIA est partiellement basé sur des modèles d'accessibilité existants et inclut la disponibilité des modes de déplacement (voiture, vélo, marche, transport en commun), l'objectif de déplacement, une différenciation socio-économique, le temps de trajet et son coût. L'interface avec les utilisateurs est conçue à travers un SIG. Cet outil est destiné à évaluer le nombre d'utilisateurs piétons (personnes âgées,

utilisateurs de fauteuil roulant, etc.) qui peuvent atteindre leurs destinations à la suite d'une série d'aménagements pour l'accessibilité par les pouvoirs publics [Mackett *et al.*, 2008 : p. 83]. Ce projet s'intéressant aux questions de transports et à l'accessibilité des trajets en porte-à-porte, l'approche adoptée se penche essentiellement sur les aspects physiques de l'exclusion sociale – obstacles sur les trottoirs, changements de niveau, véhicules accessibles, tarifs élevés des transports publics [Titheridge *et al.*, 2009 : p. 35]. Ainsi, pour Roger Mackett *et al.* [2008 : p. 8], sur une population cible, si certains usagers sont capables de se rendre en ville à pied, d'autres devront utiliser un transport motorisé (individuel ou collectif) en raison de la présence d'obstacles au déplacement. Pour ce faire, trois sortes d'obstacles sont prises en compte : les traversées de chaussée sans bateau, les trottoirs de moins d'un mètre de largeur, les inclinaisons de trottoir de plus de 5 %. Suite à cela, un indice de *walkability* est développé pour mesurer le potentiel d'un espace à faciliter l'accès à un certain nombre de services (restauration, activité, magasin, santé, culture, etc.) en fonction des usagers lorsque tout obstacle est supprimé. Par exemple, dans le centre-ville de Saint-Alban, ce sont les infrastructures d'hébergement et les magasins de vêtements et d'accessoires qui sont les plus accessibles avec environ la moitié des bâtiments à moins de 50 mètres d'un parking lorsque les obstacles sont supprimés [Mackett *et al.*, 2008 : p. 90]. Ce critère d'accessibilité est ainsi intégré en amont de l'indice de *walkability* en excluant les tronçons comportant des obstacles par l'utilisation des outils proposés par les SIG.

En fin de compte, les indices de *walkability* diffèrent en fonction de l'objectif des projets : concentration d'aménités, qualité de vie, parcours préconisé. Pour évaluer mais aussi comparer plusieurs espaces, l'utilisation de plusieurs indices peut s'avérer nécessaire afin de saisir entièrement le potentiel piétonnier d'un espace à encourager la marche vers diverses destinations [Manaugh et El-Geneidy, 2011 : p. 315]. Selon les indices, ce potentiel peut, en effet, être abordé sous différentes échelles (*macro*, *méso*, *micro*) et sous divers angles – potentiel d'accès à des aménités, qualité de vie d'un quartier ou encore la facilité de déplacement dans un quartier ou une ville. L'utilisation d'un système d'information géographique facilite alors le processus en offrant la possibilité de traiter et de visualiser des données non seulement multi-scalaires mais aussi de formats différents (raster ou vecteur). Nous retiendrons également l'importance d'intégrer un critère *d'accessibilité spatiale favorable aux usagers piétons* à une échelle *micro* afin de tenir compte de l'ensemble des usagers piétons.

1.3. Fonctions des SIG utiles à l'analyse de la marche urbaine

En complément des projets présentés précédemment, une revue de littérature étendue à dix-huit articles citant des systèmes d'information géographique (SIG) au service d'études sur la marche (accessibilité, *walkability* et/ou sécurité piétonne). Ces derniers ont été sélectionnés de manière à mettre en avant les fonctions les plus utilisées dans ce contexte (cf. tableau IV-2) et de souligner les atouts et inconvénients de l'utilisation d'un système d'information géographique

pour modéliser les déplacements piétons. Cette revue doit ainsi permettre de réaliser un certain nombre de choix quant aux méthodes et outils à privilégier pour effectuer des analyses spécifiques comme l'accessibilité pédestre ou encore la capacité d'un espace à favoriser la marche. En parcourant les différents articles, seize fonctionnalités proposées par les SIG ont pu être identifiées comme utiles allant d'options classiquement accessibles dans ces systèmes (gestion de données, association de données attributaire) à d'autres plus spécifiques aux études de mobilité et d'accessibilité (évaluation d'itinéraires de moindre coût, impédance de coût additionnel suivant attributs). Un tableau permet ensuite d'identifier lesquelles sont le plus souvent citées en tant qu'atout par les auteurs selon l'objet d'étude.

Tableau IV-1 : *Fonctions des SIG considérées utiles à l'analyse de la marche*

Fonctionnalités mises en avant Objets des articles	Gestion de données (Créer, stocker, modifier et combiner)	Association de données attributaires	Visualisation et cartographie (visuelle, sonore)	Interrogation de bases de données avec des requêtes attributaires	Analyse spatiale (connectivité, voisinage, flux)	Manipulation de données multi-scalaires	Évaluation d'itinéraire de moindre coût	Combinaison avec d'autres interfaces ou scripts	Impédance de coût additionnel suivant attributs (restrictions)	Hierarchisation et classification par attributs (typologie)	Géolocalisation (géocodage, topographie, 3D)	Personnalisation par profil usager	Gestion de données vecteur ET raster	Participation collective de gestion de données (crowd sourcing)	Orientation des objets	Simulations (passées, prévisionnelles)
<i>Personal Guidance System</i>	X	X	X	X	X	X		X								
<i>MoBIC</i>	X	X	X	X		X	X	X	X			X				
<i>Desktop tools for isochrone</i>	X	X	X	X	X		X	X	X		X					X
<i>Modelling Access with GIS in Urban System</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
<i>Walking, bicycling and urban landscapes</i>	X	X	X	X		X	X		X		X					
<i>Environment and Physical Activity GIS protocol</i>	X	X	X	X	X	X	X	X		X			X			
<i>Mobility Support GIS</i>	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X		X		
<i>Physical Activity in Localities and Community Environments</i>	X	X	X	X	X	X				X	X		X			
<i>A Methodology for Enhancing Life by Increasing Accessibility</i>	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X		
<i>GIS facilities database</i>	X	X		X	X		X				X					
<i>SIG de comportements piétons</i>	X	X	X	X	X					X						X
<i>Pedestrian Infrastructure Management System</i>	X	X	X	X	X			X		X				X		
<i>Measuring non-motorized accessibility</i>	X		X	X		X	X		X				X		X	
<i>Walkscore validation</i>	X	X	X	X	X	X		X								
<i>Eco-friendly Walkscore Calculator</i>	X	X	X		X	X	X	X								
<i>Walkscore validation</i>	X	X	X	X	X	X		X					X			
<i>Diagnostic d'accessibilité</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X			
<i>Navigation Assisted by artificial Vision and GNSS</i>	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X		X	X	
<i>U-access</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X
Sources : PGS [Golledge et al., 1991], MoBIC [Petrie et al., 1996], Desktop tools for Isochrone [O'Sullivan et al., 2000], MAGUS [Matthews et al., 2003], Walking, bicycling and urban landscape [Cervero et Duncan, 2003], EPA GIS protocol [Forsyth et al., 2006], Mobility Support GIS [Yairi et Igi, 2007], PLACE [Leslie et al., 2007], AMELIA [Mackett et al., 2008], GIS Facilities database [Boone et al., 2008], SIG de comportement piéton [Bonnet et Lassarre, 2008], PIMS [Hasting et Mc Entee, 2009], Measuring non-motorized accessibility [Iacono et al., 2010], Walkscore validation [Carr et al., 2010], Eco-friendly Walkscore Calculator [Lwin et Muramaya, 2011], Walkscore validation [Duncan et al., 2011], Diagnostic d'accessibilité [Amiaud, 2012], NAVIG [Kammoun, 2013], U-access [Sobek et Miller, 2006]																Auteur : Victor N., 2015

Dans cette revue de littérature, un tronc commun ressort. La fonctionnalité d'un SIG la plus citée dans le cadre d'une étude sur la marche correspond à la *gestion de données*. Elle permet de créer, stocker, modifier et/ou combiner des couches de données numériques localisées. Il s'agit d'une des fonctions de base que proposent les systèmes d'information géographique. Les trois autres fonctions les plus citées après celle-ci correspondent à : l'*association de données attributaires*, la *visualisation et la cartographie* et enfin l'*interrogation de bases de données avec des requêtes attributaires*. Les fonctionnalités citées en tant qu'atout par les auteurs diffèrent ensuite selon les objets de recherche des articles. Dans les études d'accessibilité, ce sont avant tout les fonctions d'*évaluation d'itinéraires de moindre coût* et d'*impédance de coûts additionnels suivant attributs* qui sont privilégiées. A l'opposé, dans les études de *walkability*, les outils d'analyse spatiale sont prioritaires.

La revue de littérature effectuée permet également d'identifier un certain nombre de limites à l'utilisation des SIG dans le cadre des recherches sur l'accessibilité et les critères suscitant la marche. Les contraintes les plus récurrentes citées tournent autour de la collecte de données et de la complexité d'utilisation des SIG. Tout d'abord, une collecte de données peut nécessiter un très grand nombre de variables et requérir un coût élevé (économique, temporel). Ensuite, la nature politique de l'établissement de jeux de données peut parfois en réduire l'accès (droit d'auteurs, protection des données sensibles). Enfin, l'échange de données peut également être contrôlé (réticence d'acteurs à diffuser les données) ou parfois transmis sous une forme inutilisable [Albert *et al.*, 2000 : p. 42]. Dans le cadre des études sur l'accessibilité, un certain nombre de données peuvent également s'avérer incomplètes ou inexistantes et nécessiter des collectes sur le terrain [Victor *et al.*, 2014 ; Yairi et Igi, 2007 ; Sobek et Miller, 2006 ; Golledge *et al.*, 1998]. La masse de données collectées peut aussi créer des difficultés de mise à jour [Carr *et al.*, 2010]. Pour finir, bien que l'ergonomie des logiciels se soit considérablement améliorée, l'utilisation des SIG nécessite encore un certain niveau de formation pour pouvoir utiliser l'ensemble des fonctions qu'ils proposent [Duncan *et al.*, 2011].

Dans l'idée de proposer un modèle offrant une solution de support au déplacement piéton en apportant des informations sur les parcours les plus favorables en fonction de la relation usager-environnement mais aussi un outil de diagnostic des espaces publics urbains, les systèmes d'information géographique semblent une solution adaptée puisqu'ils permettent d'intégrer le point de vue des usagers sur les facteurs de l'environnement qui peuvent leur créer des difficultés et de collecter, gérer et analyser ces facteurs. A cet effet, l'utilisation d'un réseau d'*objets vecteurs* est retenue afin d'effectuer une étude multi-scalaire et de pouvoir attribuer un ensemble d'informations relatives à la marche à chaque tronçon. Cette solution a le mérite d'offrir une plus grande flexibilité d'analyse à l'échelle d'un tronçon de rue (lien), d'un carrefour (nœud) mais aussi d'un quartier ou de la ville, par agrégation. La mise en place d'un réseau spécifique au déplacement piéton offre alors de nombreux avantages comme 1) mesurer un certain nombre de coupures urbaines liées à la présence d'autres types de modes de déplacement dans l'environnement urbain, 2) identifier des situations de handicap qui peuvent

contraindre l'accessibilité ou encore (3) utiliser des indices de *walkability* pour évaluer le potentiel d'un espace à favoriser les déplacements piétons.

2. Construction d'un réseau pédestre à l'aide d'un SIG

La construction d'un modèle de déplacement piéton nécessite en premier la création d'un réseau pédestre (topologie, gestion des espaces ouverts, topographie, etc.) et le respect des problématiques spécifiques à la marche (accessibilité, faisabilité, rationalisation de trajet, etc.). A cet effet, le réseau doit tenir compte de la morphologie des voies piétonnes mais aussi de leur nature (typologie). *Dès lors, comment établir un réseau dont la méthodologie puisse être reproduite dans divers contextes urbains tout en tenant compte des spécificités et des problématiques de la marche ?* La solution retenue ici pour créer et analyser un réseau pédestre s'appuie sur les principes de la théorie des graphes. Les avantages et limites de l'utilisation de cette théorie sont explorés, puis des solutions sont apportées pour permettre la création d'un réseau pédestre.

2.1. Modélisation d'un réseau pédestre selon la théorie des graphes

Analyser les conditions favorables aux déplacements piétons nécessite de tenir compte d'une relation usager-environnement complexe, contextuelle et multi-scalaire. Pour cela, la mise en place d'un réseau pédestre doit pouvoir illustrer les différentes problématiques des déplacements piétons telles que la sensibilité des usagers aux coupures et aux obstacles, leur volonté de rationaliser leurs parcours ou encore de remplir un certain nombre de critères lorsqu'ils choisissent leurs itinéraires, etc. Dès lors, un réseau adapté permettra d'effectuer un certain nombre de mesures locales et globales, intra- et interurbaines du réseau illustrant les facteurs métriques, topologiques et géométriques, fonctionnels, environnementaux et paysagers qui influencent les mouvements piétons. Dans cette optique, le réseau est créé en utilisant les concepts issus de la *théorie des graphes*^{xxviii}.

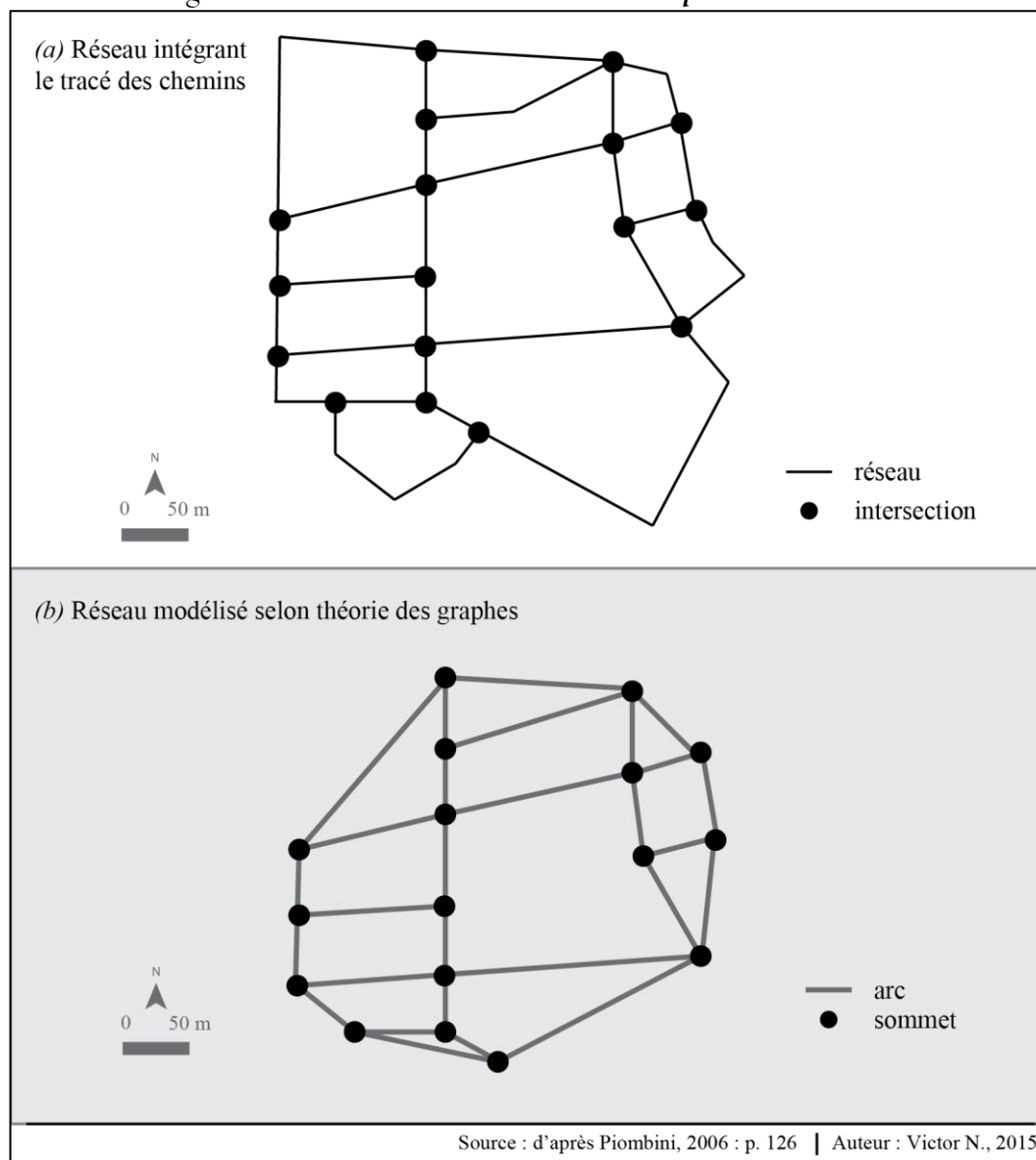
Par définition, un graphe peut se définir comme un réseau modélisé composé de *sommets* reliés par des *arcs* (ou arêtes) dont la complexité est diminuée pour faciliter et multiplier les possibilités de calcul. La théorie des graphes porte ainsi essentiellement sur l'existence des relations entre les sommets. Leur localisation dans le graphe est indifférente, sauf spécification contraire, et seule compte l'existence d'une relation entre deux sommets [Mathis, 2003 : p. 21]. Formellement, le graphe $G = (V, E)$ est un couple constitué :

- d'un ensemble $V = \{1, 2, \dots, n\}$;
- d'un ensemble E d'arcs ;
- d'une fonction f de E dans $\{\{u, v\} \mid u, v \in V, u \neq v\}$

^{xxviii} Le raisonnement à l'origine de la *théorie des graphes* remonte à 1736 lorsqu'Euler étudiait la possibilité de parcourir la ville de Königsberg en utilisant une seule fois seulement chacun de ses sept ponts [Berge, 2000 : p. 135]. Ce même raisonnement a été appliqué, par la suite, au XX^e siècle à des problèmes allant de l'existence de séquences de nombres en arithmétique à la recherche opérationnelle sur les transports et leurs réseaux [Haggett et Chorlay, 1969 ; Mathis, 2003].

Si les arcs sont orientés, on parlera de *graphe orienté* ou de *digraphe* (*directed graph*). Il est défini par la donnée d'un ensemble de sommets V et d'un ensemble d'arcs A où chaque arc est un couple de sommets. Par exemple, si a et b sont des sommets, les couples (a, b) et (b, a) peuvent être des arcs du graphe G . Si les arcs ne sont pas orientés, on sera en présence d'un *graphe simple*. Dans le contexte de la marche à pied, l'influence de l'orientation de la pente (montée, descente) sur la capacité de déplacement de certains usagers piétons laisse présager une utilisation préférentielle pour les *graphes orientés*. Pour modéliser un réseau adapté à la marche selon la théorie des graphes, Arnaud Piombini [2006 : p. 125] propose de considérer qu'un sommet correspond à tout point du réseau qui se trouve à l'intersection d'au moins deux tronçons de rue (cf. figure IV-2). Les arcs sont alors des portions de rue assimilables à des « tunnels à ciel ouvert » puisqu'il n'est pas possible d'en sortir sans passer par un sommet. Le graphe peut alors être étudié sous la forme d'une *matrice booléenne d'adjacence* dans laquelle chaque sommet est répertorié en ligne et en colonne. Lorsque deux sommets sont connectés par un arc et un seul (dans le cas de la connectivité de premier ordre), alors cette relation est matérialisée par la valeur 1. Dans tous les autres cas et même si deux sommets sont très proches d'un point de vue euclidien ou réticulaire, la relation entre les deux sommets est considérée comme nulle (valeur 0).

Figure IV-2 : *Modélisations d'un réseau pour la marche*



Toutefois, l'analyse d'un réseau pédestre nécessite de tenir compte de la forme du chemin, aussi bien que du « coût » de déplacement. En réponse, les sommets entre les arcs peuvent être géoréférencés – conformément à la géométrie et à l'échelle du réseau – et les arêtes valuées, c'est-à-dire que des valeurs (distance, distance-temps, coût énergétique, etc.) leur sont affectées. Les relevés de valeurs peuvent alors être aisément retranscrits sous la forme d'une nouvelle *matrice d'adjacence* qui offre la possibilité d'user de nombreux algorithmes et indices globaux ou locaux pour analyser la forme du réseau [Dijkstra, 1959 ; Mathis, 2003 ; Kansky et Danscoine, 1989 ; Beguin et Thomas, 1997, Cauvin, 1998].

L'application de la théorie des graphes pour créer un réseau pédestre a ainsi le mérite de faciliter l'analyse de la forme et du coût de déplacement sur un réseau par l'utilisation de mesures et d'algorithmes. Néanmoins, son application telle quelle interroge les contraintes modernes de ressemblance des cartes représentant des réseaux. Pour Philippe Mathis [2003 : p. 41], ces dernières doivent, en effet,

donner une impression de ressemblance immédiate, permettant une compréhension instantanée. Or, la théorie des graphes ne se préoccupe absolument pas de la représentation au sens de réalisation graphique d'un graphe. Par exemple, toutes les réalisations (représentations) se valent à partir d'une définition matricielle du graphe. Cette absence de règles de réalisation des graphes est une difficulté importante pour la représentation des réseaux modélisés alors qu'il existe une sémiologie graphique pour la cartographie des réseaux [p. 43]. En réponse, P. Mathis propose de considérer que « les règles de la réalisation matérielle, effective, d'une représentation font partie intégrante de la théorie des graphes et que les conditions nécessaires et suffisantes pour que cette réalisation soit reproductible et vérifiable doivent être établies » [Mathis, 2003 : p. 43].

Pour cela, la création d'un réseau sous la forme d'une continuité d'objets vecteurs linéaires (tronçons) et ponctuels (carrefours) est une solution qui offre de nombreux avantages. Elle permet de gérer la superposition de liens non connectés, d'attribuer à un même objet plusieurs types de données qui pourront influencer le coût des liens en fonction de requêtes attributaires et, pour finir, d'intégrer des informations topographiques au sein du réseau de manière à mesurer des distances « réelles » et le dénivelé du terrain. Enfin, la mise en place d'un réseau pédestre à partir de la théorie des graphes nécessite de différencier les types de voies piétonnes de manière à proposer un découpage à l'intersection d'au moins deux tronçons de voie. L'utilisation d'un réseau en *objets vecteurs* permet alors d'allouer des valeurs et autres informations aux sommets et arêtes, tout en respectant la sémiologie graphique de cartographie des réseaux. La constitution du réseau pédestre, par lui-même, soulève ensuite des questions de digitalisation et de gestion spatiale des tronçons.

2.2. Des problématiques de digitalisation adaptées aux spécificités d'un réseau pédestre

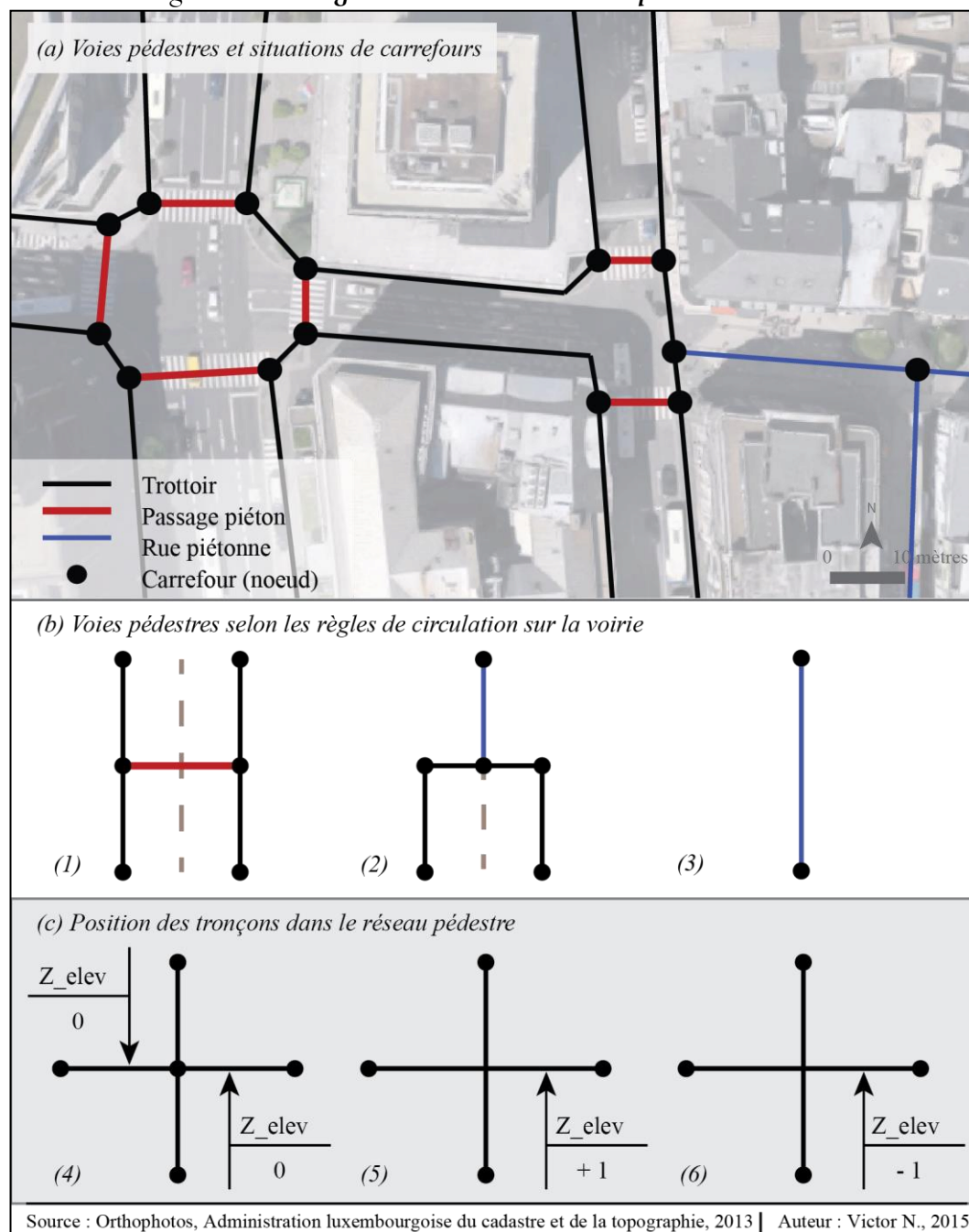
Afin de construire un réseau pédestre, il faut avant tout identifier certaines problématiques liées à la gestion de la topologie du réseau, de la digitalisation des espaces ouverts (place, pelouse, etc.) ou encore de l'intégration de la topographie.

Un réseau au contact d'infrastructures de transport : gestion de la topologie

Une première difficulté dans la création d'un réseau pédestre consiste à tenir compte de certaines particularités conséquentes aux aménagements mis en place pour sécuriser les usagers piétons lorsque d'autres modes de déplacement partagent le même espace (voiture, vélo, transport en commun). Dans un premier temps, pour constituer le réseau pédestre de PAWLux, un processus de collecte de données administratives a ainsi permis de constituer une première base de données (cf. annexe 2). Composées de bâtiments, de voies de communications routières et ferroviaires, du réseau hydrographique et de la topographie, les données acquises ont dû être adaptées de manière à correspondre aux infrastructures utilisées par les usagers piétons. Dans un second temps, certaines données ont dû être digitalisées *ex nihilo* en s'appuyant sur la morphologie du bâti et la présence de coupures

urbaines (infrastructures de transport, rivières, etc.) qui forment déjà un ensemble réticulaire (cf. figure IV-3).

Figure IV-3 : *Digitalisation d'un réseau pédestre vecteur*

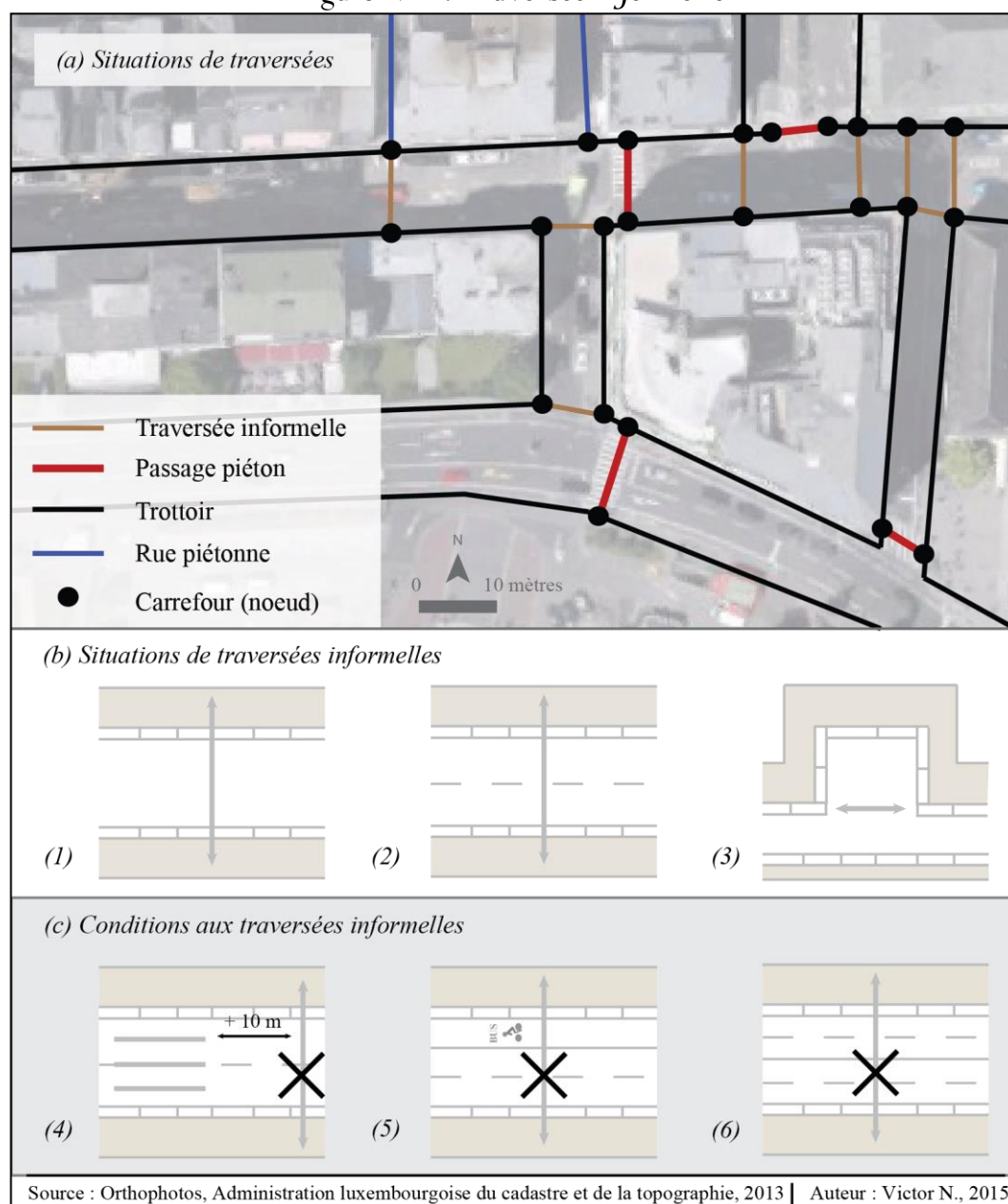


Lors de la digitalisation, le réseau est ainsi dédoublé en présence de coupures urbaines (réseau routier, voie ferrée) de manière à modéliser les situations de traversées à l'instar du terrain – figure IV-3 (b-1), puis redevient unique lorsque l'espace est à nouveau consacré aux déplacements piétons en exclusivité – figure IV-3 (b-1) et (b-3). Ensuite, pour gérer les cas de superposition, un attribut (Z_{elev}) renseigne la position du tronçon dans le réseau (-1 = tronçon en dessous ; 0 = tronçon à niveau ; $+1$ = tronçon au-dessus). Enfin, de manière à former un graphe,

le réseau pédestre est construit selon un ensemble de liens connectés par les sommets pour chaque intersection de types de voie.

Une nouvelle difficulté consiste alors à gérer le fait que certains usagers peuvent utiliser des infrastructures qui ne leur sont pas dédiées, parfois au mépris de leur sécurité, pour simplifier leur trajet ou raccourcir une distance à parcourir [Bergeron *et al.*, 2008]. Les traversées de chaussées « à la sauvage » ou informelles, c'est-à-dire en dehors des passages piétons, illustrent bien ce phénomène. Les négliger amputerait, par ailleurs, le réseau d'un nombre important de connections. Les traversées informelles sont donc digitalisées en respectant la sensibilité des usagers piétons aux détours, à la linéarité et aux itinéraires complexes [Augoyard, 1979 ; Hérin, 2011 ; Conroy-Dalton, 2003] (cf. figure IV-4).

Figure IV-4 : *Traversée informelle*



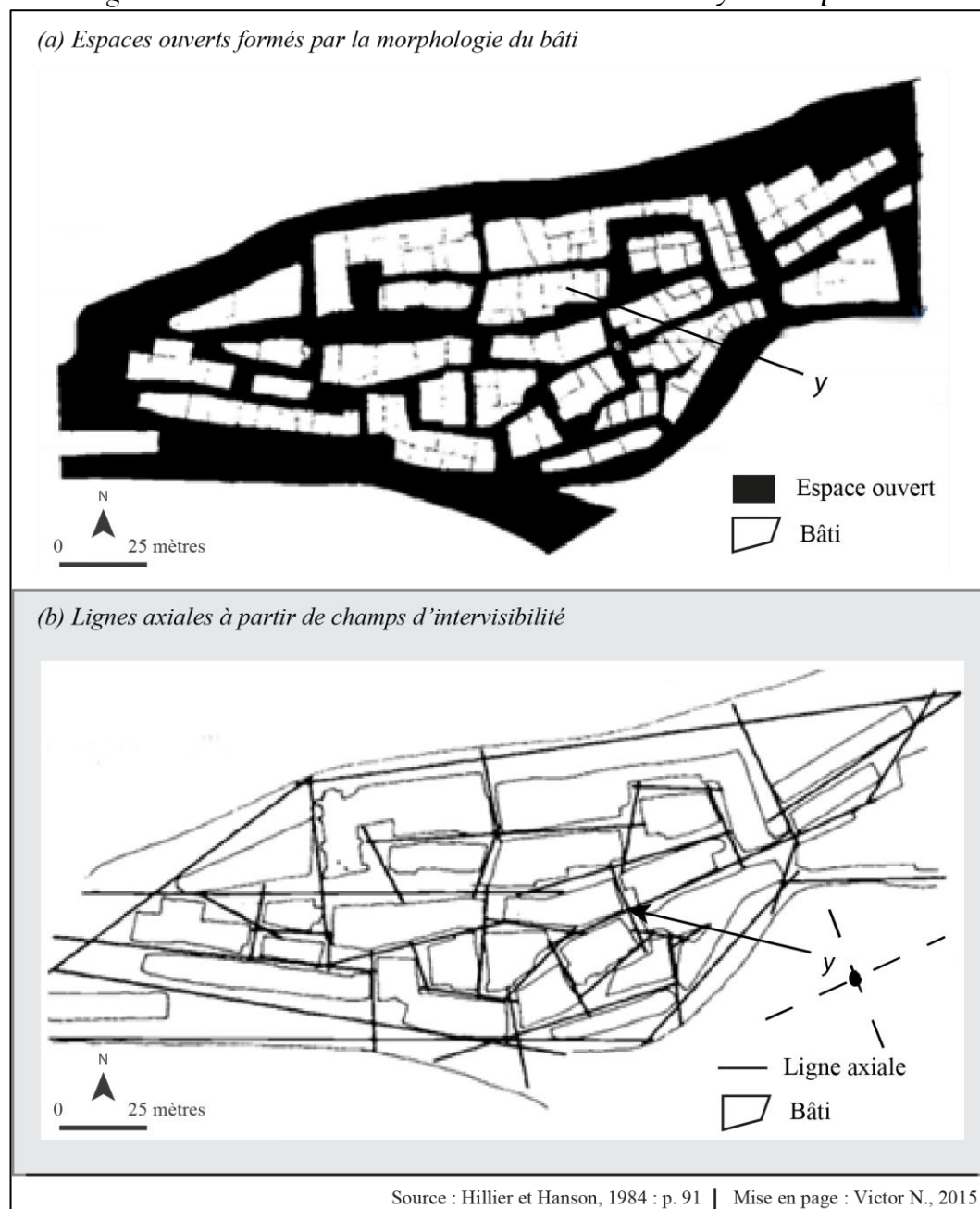
Il est ainsi possible de traverser une rue à sens unique (figure IV-4 b1) ou à deux voies (figure IV-4 b2) à condition qu'un passage piéton ne soit pas situé à moins de 10 mètres (figure IV-24 c4). Ces règles ont été créées en s'appuyant sur des témoignages recueillis sur le terrain lors de notre enquête usagers (cf. chap. VII). Les traversées informelles servent uniquement à simuler des raccourcis favorisant la linéarité du trajet, si cela ne met pas le piéton en danger (figure IV-4 b3). Par conséquent, les traversées non protégées pour les rues à plus de trois voies (figures IV-4 c5 et c6) ne sont pas modélisées, le modèle visant à préconiser des itinéraires et non à modéliser les comportements à risque de certains usagers piétons. Par ailleurs, il va de soi que l'utilisation de ces raccourcis est conditionnée par la capacité de déplacement de l'utilisateur. Le réseau pédestre peut, au final, être doté d'un nombre de connections supplémentaires et inévitables dans le cadre des déplacements piétons.

Méthode de conversion d'espaces ouverts en réseau linéaire

Un dernier type d'espace urbain pose néanmoins question : les espaces ouverts (place, pelouse, etc.) qui offrent une certaine liberté de mouvement aux usagers piétons et nécessitent un traitement différencié pour être intégrés sous forme réticulaire. Une démarche spécifique est mise en place pour effectuer une transformation d'une implantation surfacique à linéaire. Pour cela, la démarche part du fait que les trajectoires des piétons sont liées à trois postulats pour la conversion d'espaces ouverts en système réticulaire (cf. chap. III-1.1-1) : 1) les usagers piétons tendent à effectuer un parcours le plus linéaire possible pour rejoindre leur destination même lorsqu'ils sont libres de leur mouvement, 2) leurs perceptions visuelles leur permettent d'effectuer cette trajectoire linéaire en utilisant des points de repères spatiaux pour se diriger dans la direction souhaitée, 3) lorsque le repère n'est pas visible directement, les usagers s'orientent vers la direction qu'ils se représentent spatialement en privilégiant au maximum une trajectoire aux angles les plus ouverts. En ce sens, la conversion des espaces ouverts en système réticulaire pédestre propose de générer des aires visuelles – ou *isovists* – à partir des points d'entrée-sortie des espaces ouverts dans un premier temps, puis de digitaliser les traversées piétonnes sous la forme d'axes d'intervisibilité, dans un second. Proposé à l'origine par Michael Benedikt [1979 : p. 47], les *isovists* correspondent à des formes géométriques contenant un ensemble de points visibles dans un espace urbain ouvert à partir d'un point de vue prédéterminé (*centro-isovist*). On commence pour cela à considérer les volumes visibles d'un espace depuis un endroit, puis on simplifie leurs représentations par une coupe horizontale à travers des « *isovists* polyèdres » (cf. figure IV-5). En conséquence, il est alors possible d'analyser les *isovists* en fonction de leurs aires et périmètres. Toutefois, comme le soulignent Alsdair Turner *et al.* [2001, p.104], l'application des *isovists* se limite à une échelle locale et n'intègre pas la relation entre l'utilisateur depuis son point d'observation et l'ensemble de l'environnement qui l'entoure. Dans le but de proposer des traversées d'espaces ouverts, le concept doit donc être élargi de manière à intégrer des situations où l'objectif à atteindre n'est pas directement visible depuis le point d'entrée.

En proposant une approche conceptuelle analysant la configuration du bâti, la syntaxe spatiale (ou *space syntax*), les architectes Bill Hillier et Julienne Hanson [1984 : p. 91] abordent les relations de visibilité au sein d'un réseau à travers l'utilisation de *lignes axiales*. La syntaxe spatiale considère ainsi que la morphologie urbaine crée par défaut un système d'espaces ouverts qui structure la ville en un réseau d'espaces continus. Ce courant s'appuie sur la conviction que la disposition et la structure d'un espace influencent les comportements de déplacements en milieu urbain. En réponse, le processus de création de lignes axiales se base sur une approche linéaire où tout point dans la structure de l'espace peut être considéré comme part d'un espace linéaire étendu, indiqué par les lignes en pointillés passant par *y* dans la figure IV-5 qui représentent l'extension maximale de ce point dans une ligne droite. Les lignes axiales correspondent aux plus grandes lignes de visibilité possibles tant que les angles entre les tronçons ne dépassent pas un certain seuil, déterminé à l'avance.

Figure IV-5 : *Cartes axiales selon les théories de la syntaxe spatiale*

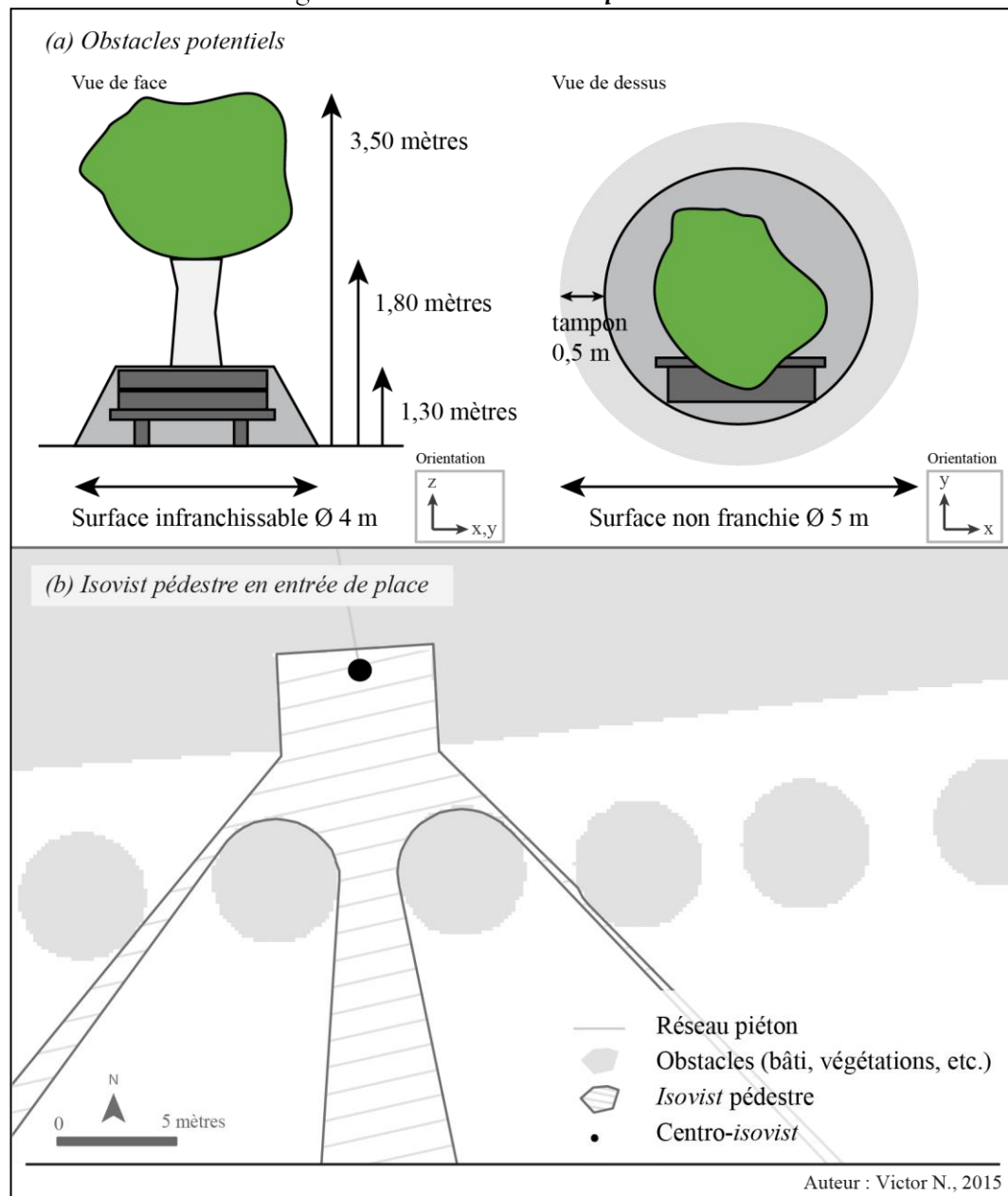


Néanmoins, l'utilisation potentielle de lignes axiales comme réseau pédestre pose deux problèmes majeurs. 1) La création des lignes axiales étant laissée à l'intuition et à la dextérité du concepteur, cette méthode interroge la généricité des données [Batty et Rana, 2004 ; Dessylas et Duxbury, 2001]. En réponse, une solution proposée par Michael Batty et Sanjay Rana [2004] utilise la stabilité des *isovists* pour créer des lignes axiales. Un algorithme générique trie ces derniers selon leurs diamètres maximaux et génère ensuite des cartes axiales de manière à ce qu'ils se chevauchent et soient accessibles les uns aux autres. 2) L'objectif de la syntaxe spatiale est principalement d'étudier l'influence du bâti sur les flux piétons et non les chemins piétonniers à travers le bâti à proprement parler. Cette différence est cruciale puisque les cartes axiales biaisent toute information topologique (mesures

métriques, temporelles, etc.) et ne tiennent pas compte de l'occupation du sol [Ratti, 2004]. En effet, si l'on veut représenter le système axial comme un réseau topologique, une grande partie des spécificités du système est perdue [Hillier et Hanson, 1984 : p. 89]. L'utilisation de lignes axiales ne peut donc être intégrée directement au réseau pédestre mais le concept d'intervisibilité est toutefois retenu dans l'élaboration de notre méthodologie.

Fondamentalement, notre méthodologie d'intégration des espaces ouverts au réseau pédestre de PAWLux s'appuie donc sur l'utilisation d'aires visuelles lors du déplacement de manière à préconiser des chemins piétonniers tenant compte d'éventuels obstacles visuels. En tout premier lieu, le bâti et les obstacles visuels présents dans les espaces ouverts sont modélisés en partant du principe que, si un usager peut voir à travers un obstacle pour se diriger vers une destination, il devra tout de même contourner l'objet pour passer physiquement. En conséquence, le volume des bâtiments et des obstacles visuels potentiels est converti en représentation à deux dimensions de façon à modéliser les comportements d'évitement des usagers (cf. figure IV-6).

Figure IV-6 : Les « *isovists pédestres* »

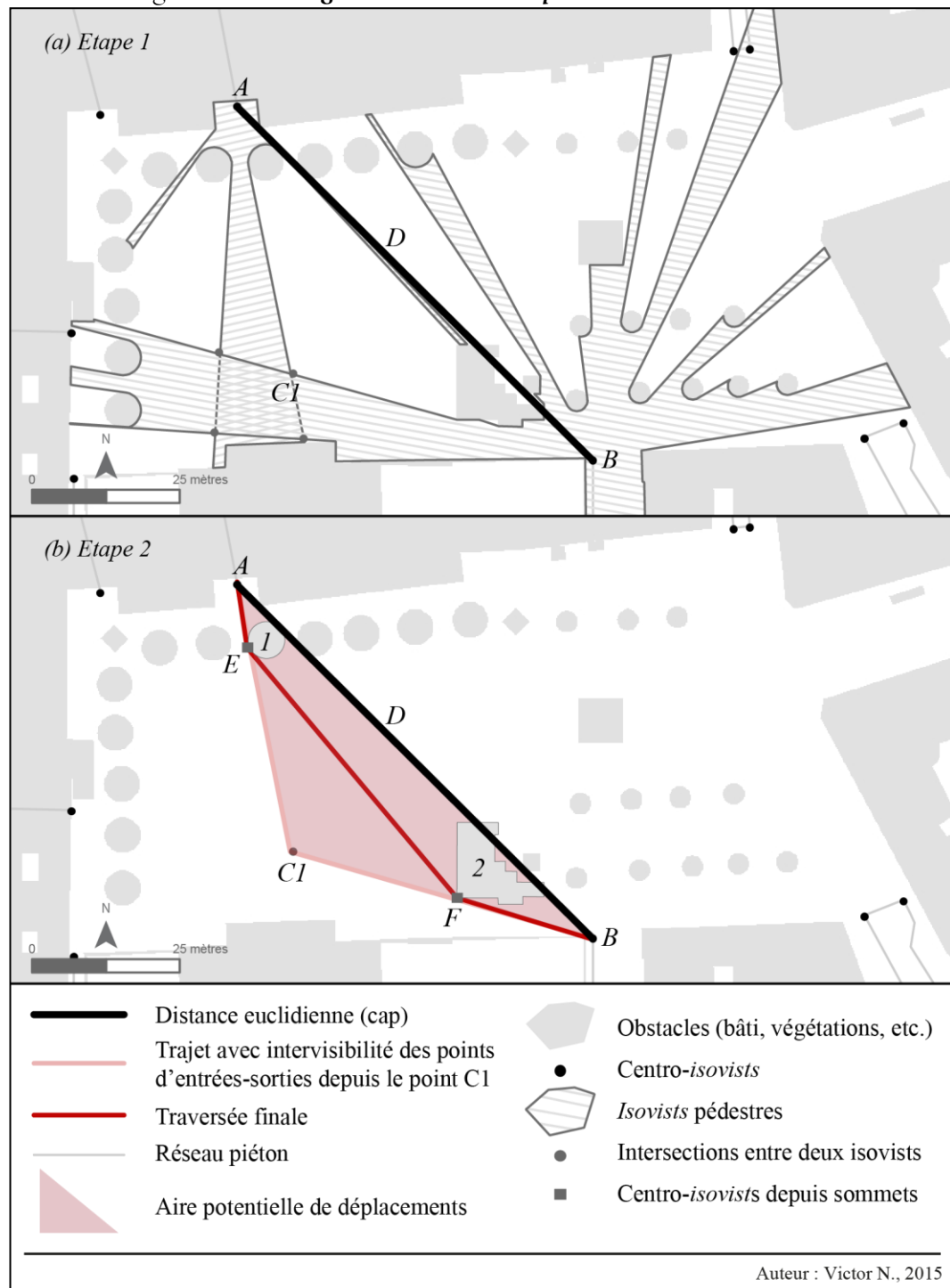


Pour cela, l'implantation au sol prime sur l'envergure de l'objet et la transparence des objets (végétation, vitrage) n'est pas prise en compte. Un espace tampon entre l'objet et l'aire potentielle de passage est également intégré au processus – défini à 0,45 m pour le bâti et 0,1 m pour le mobilier urbain [Willis *et al.*, 2004 : p. 807]. Une fois les espaces ouverts retraduits sous forme polygonale, chaque entrée dans l'espace ouvert – soit la fin du réseau pédestre déjà existant – est considérée comme un centro-*isovist* potentiel, à l'emplacement où se situe l'observateur. En fin de compte, l'application d'un filtre d'accessibilité permet de proposer des *isovists pédestres*, c'est-à-dire des formes géométriques contenant un ensemble de points visibles et franchissables par les usagers piétons dans un espace urbain ouvert à partir d'un point de vue prédéterminé.

Dans la littérature, il existe différentes méthodes pour générer des *isovists* de manière automatisée. Par exemple, Sanjay Rana [2006] propose une méthode par lancement de rayons. Le principe consiste à lancer n rayons dans toutes les directions autour de l'observateur avec un angle entre deux rayons consécutifs, égal à $360^\circ/n$. L'ensemble des points d'intersection les plus proches des objets de l'espace qui font obstacle au regard sont ensuite sélectionnés et définissent le polygone de visibilité. La résolution de ce calcul dépend ainsi du nombre des rayons lancés. Une autre méthode est développée, par Alasdair Turner *et al.* [2001], à partir de calcul d'intervisibilité. L'idée est de générer un maillage régulier de points dans l'espace. L'intervisibilité avec l'observateur est ensuite testée pour chaque point du maillage en vérifiant si la ligne entre le point de l'observateur et le point de maillage a une intersection avec les objets de l'espace. Mais c'est au final, celle développée par Wassim Suleiman *et al.* [2012 : p. 7] qui est retenue pour notre propre méthodologie. Elle propose un algorithme fondé sur l'hypothèse que l'espace 2D peut être envisagé comme un ensemble de segments sans intersection, hormis leurs connexions aux extrémités. Les polygones du modèle original de données sont alors décomposés en segments 2D de manière à rechercher ceux qui bloquent la vue, c'est-à-dire tous les segments qui limitent l'*isovist*. Cet algorithme est mis en application dans le logiciel ISOVIST, développé par Wassim Suleiman, qui permet d'importer et d'exporter des couches sous format *shape*. Il est alors possible d'intégrer une couche surfacique (polygones) représentant les obstacles visuels potentiels et une autre, ponctuelle, pour les centro-*isovists*.

Concrètement, la conversion des espaces ouverts au réseau pédestre se déroule alors selon deux scénarii. 1) L'espace ouvert ne présente pas d'obstacles visuels. Des droites (liens) sont alors créées entre les centro-*isovists*. L'utilisation de lignes droites garantit ainsi une minimalisation de la complexité du trajet et un repère spatial visuel tout au long du déplacement. 2) L'espace ouvert est composé de potentiels obstacles visuels (statue, arbre, panneau d'affichage) qui peuvent restreindre l'utilisation d'un repère spatial visuel pour traverser la place. L'utilisateur piéton utilise alors des repères spatiaux cognitifs pour se diriger vers la destination voulue jusqu'à retrouver un repère spatial visuel *in situ*. En contournant les obstacles, ce dernier tente néanmoins d'effectuer un trajet le plus linéaire possible et privilégie donc une trajectoire avec un angle ouvert. Ce deuxième scénario nécessite plusieurs étapes de modélisation (cf. figure IV-7).

Figure IV-7 : *Digitalisation d'une place à l'aide d'isovists*



Dans un premier temps, si les usagers piétons lorsqu'ils se déplacent tendent à utiliser le chemin le plus linéaire possible, la présence d'obstacles visuels peut les forcer à effectuer des contournements. Puisqu'ils se déplacent *in situ* en utilisant la perception visuelle, une solution possible est de proposer la trajectoire la plus rapide en utilisant les *isovists pédestres* de manière à ce que les usagers obtiennent un visuel de leur destination le plus rapidement possible.

- Une ligne droite est donc tracée pour représenter « le cap » mental que cherche à maintenir l'utilisateur en fonction de la direction qu'il veut atteindre. Elle représente la distance euclidienne entre les entrées-sorties de l'espace ouvert.

ex. Soit la droite D entre les centro-isovists A et B.

- Des isovists pédestres sont ensuite créés pour chaque centro-isovist de manière à identifier les points d'intersections entre couple d'isovists pédestres. Il arrive toutefois que le procédé ne génère pas de couple d'isovists pédestres se chevauchant. Une étape intermédiaire décrite en annexe 3) est alors ajoutée.

ex. Soit les isovists pédestres créés à partir des centro-isovists A et B, respectivement nommés A et B.

- Pour garantir le trajet se rapprochant le plus de la distance euclidienne, le point d'intersection entre les deux isovists pédestres le plus proche de la droite représentant le cap est alors sélectionné.

ex. Soit C1 le point plus proche de la droite D.

- La polyligne passant par ce point d'intersection garantit ainsi la trajectoire la plus simple où les points d'entrées-sorties sont intervisibles puisqu'elle ne requiert qu'un virage avec un angle ouvert.

ex. Soit AC1B la polyligne garantissant une intervisibilité entre les points A et B à partir du point C1.

Dans un second temps, en fonction des isovists pédestres formés, ce « trajet avec intervisibilité des points d'entrées-sorties depuis le point C1 » peut toutefois demander à un usager piéton un détour relativement important par rapport à la distance euclidienne qu'il se représente spatialement. Un affinement du processus est possible en identifiant une trajectoire qui se situerait entre le « trajet avec intervisibilité des points d'entrées-sorties depuis le point C1 » et la distance euclidienne (cap). Cette trajectoire proposerait l'itinéraire le plus court entre les deux points d'entrées-sorties de l'espace ouvert où la destination serait visible le plus rapidement possible tout en contournant les obstacles visuels. Cette démarche induit un réseau dédoublé en fonction du sens de la traversée qui peut être relativement lourd. Pour simplifier le réseau pédestre, la solution proposée est de s'appuyer sur le trajet où les centro-isovists sont intervisibles dans un premier temps pour déterminer la trajectoire initiale, puis de déterminer un seuil où l'utilisateur se réorientera visuellement *in situ*.

- Une aire potentielle de déplacement est donc identifiée à partir de la distance euclidienne (cap) et du « trajet avec intervisibilité des points d'entrées-sorties depuis le point C1 ».

ex. Soit le triangle AC1B.

- Les obstacles visuels situés dans l'aire potentielle de déplacement sont ensuite sélectionnés lorsque ces derniers sont intersectés par le « trajet avec intervisibilité des points d'entrées-sorties depuis le point C1 » de manière à identifier l'endroit où les usagers piétons se réorienteront visuellement *in situ*.

ex. Soit les polygones 1 et 2 situés dans le triangle AC1B, intersectés par la polyligne AC1B.

- La trajectoire modélisée part ainsi du principe que le piéton va contourner un premier obstacle pour espérer obtenir un visuel de sa destination et s'orienter *in situ* à ce moment-là. Si d'autres obstacles se situent dans la zone, une étape intermédiaire est alors ajoutée comme précisé en annexe 4.

ex. Soit le sommet E, point d'intersection entre le polygone 1 et la polyligne AC1B, et le sommet F, point d'intersection entre le polygone 2 et la polyligne AC1B.

- L'utilisateur piéton va alors suivre la destination qu'il doit rejoindre tout en intégrant à l'avance le détour nécessaire pour le prochain obstacle de manière à obtenir la trajectoire la plus linéaire avec des angles ouverts. En d'autres termes, les deux points d'observation nouvellement définis forment des points virtuels d'entrées-sorties de l'espace ouvert. La trajectoire digitalisée est ainsi à double sens et peut être intégrée au réseau pédestre de PAWLux et contourne les obstacles, le plus linéairement possible avec un minimum d'angles ouverts.

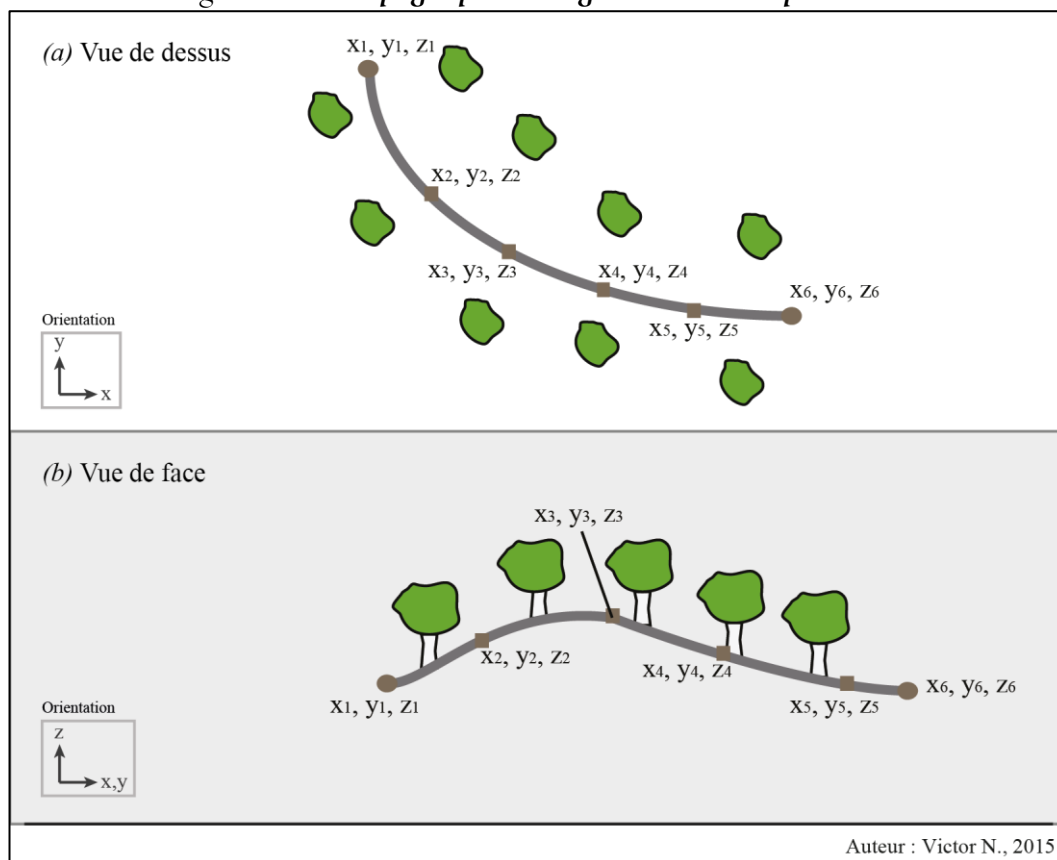
ex. Soit la polyligne AEFB.

Ainsi, cette méthodologie de conversion des espaces ouverts en système réticulaire pédestre offre l'intérêt d'être reproductible dans n'importe quel espace urbain et tient compte des obstacles visuels qui peuvent contraindre le déplacement piéton. Par ailleurs, à la différence des lignes axiales, les trajectoires créées peuvent être intégrées à un réseau topologique. Précisons, à nouveau, que cette méthodologie ne vise pas à simuler des flux piétons dans un espace ouvert mais bien à préconiser des itinéraires où les usagers piétons peuvent traverser le plus linéairement possible tout en évitant des obstacles à la fois visuels et physiques.

D'un réseau bidimensionnel à tridimensionnel : gestion de la topographie

Une fois le réseau pédestre digitalisé, il est possible d'y intégrer un certain nombre d'informations autres que celles déjà citées comme le coût de franchissement des liens ou l'emplacement des tronçons les uns par rapport aux autres. Due à la relation perméable entre les usagers et l'environnement, la topographie du terrain s'avère un élément indispensable à la constitution d'un réseau pédestre. En effet, afin de tenir compte de l'influence de la verticalité des villes sur la capacité de déplacement des usagers piétons, le réseau pédestre ne peut se contenter d'être bidimensionnel. Pour cela, l'utilisation d'*objets vecteurs* pour digitaliser les liens du réseau a l'avantage de pouvoir intégrer la topographie directement au cœur des tronçons (cf. figure 8).

Figure IV-8 : *Topographie intégrée au réseau pédestre*



Sous la forme *vecteur*, les tronçons sont ainsi représentés par des polygones constituées de sommets. Chacun de ces sommets contient une information topographique soit la longitude (x), la latitude (y) et l'altitude (z). L'utilisation des coordonnées x, y permet non seulement de géolocaliser chaque sommet mais aussi de mesurer la longueur corrigée par la pente d'un segment. L'altitude intégrée à chaque sommet permet, quant à elle, de mesurer la pente d'un tronçon, de simuler l'orientation de la pente (montée, descente) et, enfin, de gérer une topographie variée au sein d'un même tronçon (montée et descente). La dimension « z » rend ainsi possible la modélisation d'un espace tridimensionnel sous la forme d'un réseau pédestre orienté.

Dans PAWLux, ces valeurs sont extraites d'un *Modèle Numérique de Terrain* créé à partir de données topographiques fournies par l'Administration du cadastre et de la topographie du Grand-Duché du Luxembourg (ACT) – points cotés et courbes maîtresses, normales, intercalaires et de cuvettes – ce qui permet d'obtenir une précision à l'échelle d'environ un mètre. Enfin, afin de déterminer des vitesses en fonction de la pente, les valeurs des sommets sont agrégées de manière à proposer une moyenne pondérée en fonction de la topographie et sont intégrées aux tronçons sous forme attributaire.

$$\text{Pente (en } ^\circ) = \frac{\bar{z} \text{ montée} \times l \text{ montée} + \bar{z} \text{ descente} \times l \text{ descente}}{L \text{ tronçon}}$$

où

- $\bar{z}$ équivaut à la moyenne des valeurs z en montée ou en descente,
- l équivaut à la longueur totale du segment en montée ou en descente,
- L équivaut à la longueur totale « réelle » du tronçon.

Une classification de pente moyenne peut, dès lors, être proposée de manière à intégrer des vitesses moyennes [Kawamura *et al.*, 1991] ou coûts énergétiques [Minetti *et al.*, 2002] différenciés en fonction du pourcentage de pente et de l'orientation (montée, descente). Les limites de classes ont été sélectionnées en fonction de la littérature mesurant des vitesses moyennes en fonction du dénivelé, soit 5 classes – [0-5] ; [5-10] ; [10-16], [16-21], [21 et ∞] (cf. Chap. V-1.1.1).

Parallèlement, une seconde classification est utilisée à partir de normes d'accessibilité préconisées afin de modéliser les difficultés de certains usagers piétons à franchir des dénivelés (cf. tableau IV-2). Cette classification est utilisée pour établir des restrictions selon des variables interindividuelles (cf. Chap. V-1.1.2).

Tableau IV-2 : *Dénivellation tolérée en fonction de la pente et de la distance à parcourir en milieu urbain*

	Exigé	Toléré	
Pente	5 %	8 %	12 %
Distance	< 10 m	Distance courte	

Sources : Grobois, L.-P., 2010 : p. 82 | Mise en page : Victor N., 2015

Ainsi, si le « coût » de déplacement en fonction du dénivelé fait ressortir des obstacles liés à la topographie de la ville (tridimensionnalité), l'utilisation de cette classification met aussi en lumière des inégalités entre les usagers piétons en fonction de leur capacité de déplacement et de leur état de santé.

En fin de compte, la méthode de création d'un réseau pédestre doit pouvoir intégrer les spécificités de la relation environnement-usagers lors d'un déplacement piéton. Pour cela, l'utilisation d'un réseau fait d'*objets vecteurs* a permis de résoudre trois problématiques : les questions de topologie en rapport avec la présence de coupures urbaines, la conversion d'espaces surfaciques en réseau linéaire et, enfin, la prise en compte de la topographie dans le réseau. Une fois le réseau pédestre construit, l'approche par *objets vecteurs* offre également la possibilité d'attribuer à un même objet un ensemble d'informations relatives à la marche (type de voies, propriétés et éléments présents dans l'environnement, vitesse suivant le dénivelé, etc.) qui pourront influencer le coût des liens (métrique, temporel, énergétique) en fonction de requêtes attributaires.

3. Attribution au réseau pédestre d'informations relatives à la marche

La revue de littérature effectuée dans le chapitre IV-1^{XXIX} a permis de soulever certaines contraintes quant à la collecte de données et, par conséquent, de reproductibilité du modèle piéton. La solution proposée ici consiste à l'utilisation de deux registres d'informations dans le SIG. Le premier se base sur une approche générique du modèle de déplacement piéton pour proposer une solution en matière de collecte de données et capable de s'adapter à tout milieu urbain européen. Le second registre consiste en une approche empirique, afin d'adapter le modèle à un espace urbain spécifique. Pour cela, le modèle doit dépasser un cadre théorique décrivant l'environnement en le complétant par les spécificités du terrain. **Dès lors, comment effectuer cette transition de manière à intégrer les informations nécessaires à l'identification de configurations susceptibles de favoriser ou défavoriser les déplacements piétons ?** Dans sa version générique, le réseau pédestre est découpé en fonction d'une typologie qui apporte une structure théorique, à une échelle *méso*, en s'appuyant sur des définitions communes aux espaces urbains européens. Ensuite, à partir des définitions de chaque type de voies qui offrent un support pour la mise en place d'une démarche empirique, une collecte détaillée (*audit urbain*), à une échelle *micro*, permet de répertorier des propriétés et des éléments potentiellement présents dans un environnement urbain.

3.1. Typologie des voies pédestres urbaines : des informations génériques

Sur un plan législatif et urbanistique, un certain nombre de règles et de normes assure le bon déroulement de la fréquentation de la voie publique par différents modes de déplacement. Si les normes peuvent varier en fonction des pays, il existe un consensus quant à la législation répartissant les espaces consacrés à chaque mode. De cette façon, tous les usagers sont à même de reconnaître les espaces où ils peuvent se déplacer en toute sécurité dans n'importe quel pays. Si la terminologie des types de voies varie en fonction des langues et cultures, une typologie générique peut néanmoins être mise en place. Elle différencie les voies *en site propre* qui sont au contact avec des infrastructures de transport, les voies *dédiées* où les usagers piétons sont libres de mouvements sur l'ensemble de la voirie et enfin les voies *de rencontre* alliant contact avec d'autres modes de transport et liberté de mouvement.

Pour caractériser le réseau pédestre, une typologie de voies plus précise est proposée pour les villes européennes en s'appuyant sur des éléments de législation [Code de la route luxembourgeois, 2013 ; Code de la route français, 2015] et d'ouvrages d'urbanisme et de géographie [Merlin et Choay, 1998 ; Pumain *et al.*, 2006 ; Desse *et al.*, 2008 ; George, 1970 ; Brunet *et al.*, 1992]. Une synthèse

^{XXIX} Pour rappel, la revue de littérature se concentre sur des études relatives aux déplacements piétons ou à la *marchabilité* utilisant des systèmes d'informations géographiques.

permet de proposer une première structure de base de données reproductible dans la plupart des pays européens. Une étude sur les différences urbanistiques et architecturales suivant les pays du monde pourrait permettre ensuite de valider la reproductibilité de cette typologie dans d'autres villes. A partir de ce consensus, nous proposons dix voies différentes pour les voies dédiées, six pour les voies en site propre et une dernière représentant les voies de rencontre (cf. tableau IV-3).

Tableau IV-3: *Typologie de voies selon la présence d'infrastructures de transport*

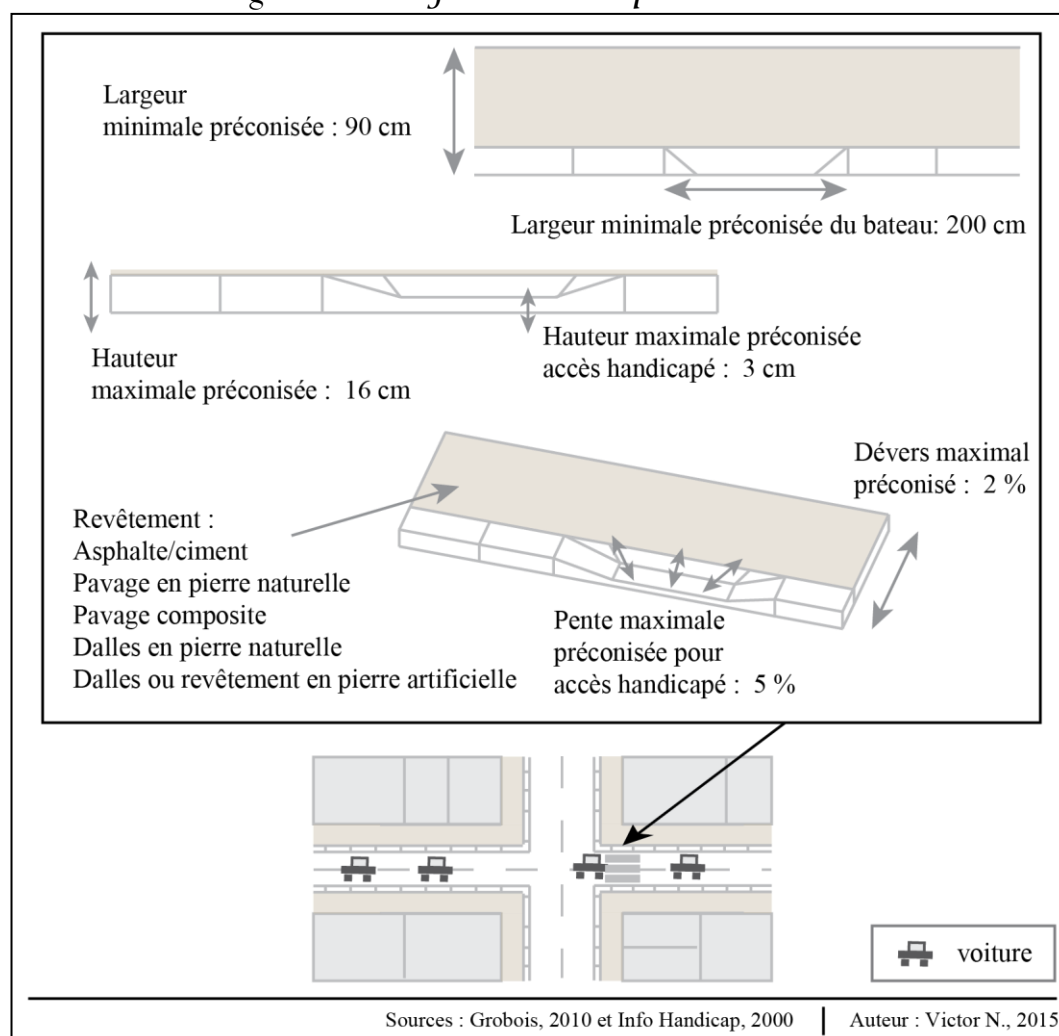
	Particularités	Types de voies	Illustrations (non exhaustives)
Voie dédié	- Usagers piétons prioritaires sur les autres modes (coprésence parfois autorisée à certains horaires), - Liberté de mouvement sur l'ensemble de l'espace, - Normes d'accessibilité non systématiques, - Absence de nuisances directes conséquentes à la présence d'infrastructures de transport (insécurité, bruit)	Rue piétonne	
		Place	
		Traverse	
		Passerelle	
		Allée	
		Chemin	
		Sentier	
		Ascenseur	
		Escalier	
		Pelouse	
Voie en site propre	- Coprésence d'infrastructures de transport, - Espace normé attribué aux usagers piétons, - Normes d'accessibilité quasi systématiques (exception pour traversée informelle)	Trottoir	
		Passage piéton	
		Traversée informelle	
		Accotement	
		Pont	
		Parking	
Voie de rencontre	- Coprésence d'autres modes de transport limités à 20 km/h, - Liberté de mouvement sur l'ensemble de l'espace s'il n'y a pas de gêne pour les véhicules	Chaussée mixte	

Auteur : Victor N., 2015

Les définitions associées à chaque type de voies permettent ensuite d'établir une description générique de ces espaces de manière à proposer des normes d'accessibilité générale. Il s'agit d'un premier niveau de description de la capacité des espaces à favoriser les déplacements piétons. Tout d'abord, le fait d'appartenir à la famille des voies dédiées, en site propre ou à celle des voies de rencontre implique une certaine capacité de mouvements sur la voirie ainsi que la présence de nuisances directes liées à la présence d'infrastructures de transport. Ensuite, les définitions de chaque type de voies proposent un panel de propriétés récurrentes (textures, largeur, pente) qui offrent un premier indice de la capacité de l'espace à accueillir tous les publics.

Dans la famille des voies *en site propre*, les trottoirs, par exemple, impliquent systématiquement la coprésence avec des infrastructures de transports motorisés (cf. figure IV-9).

Figure IV-9 : *Définition théorique d'un trottoir*

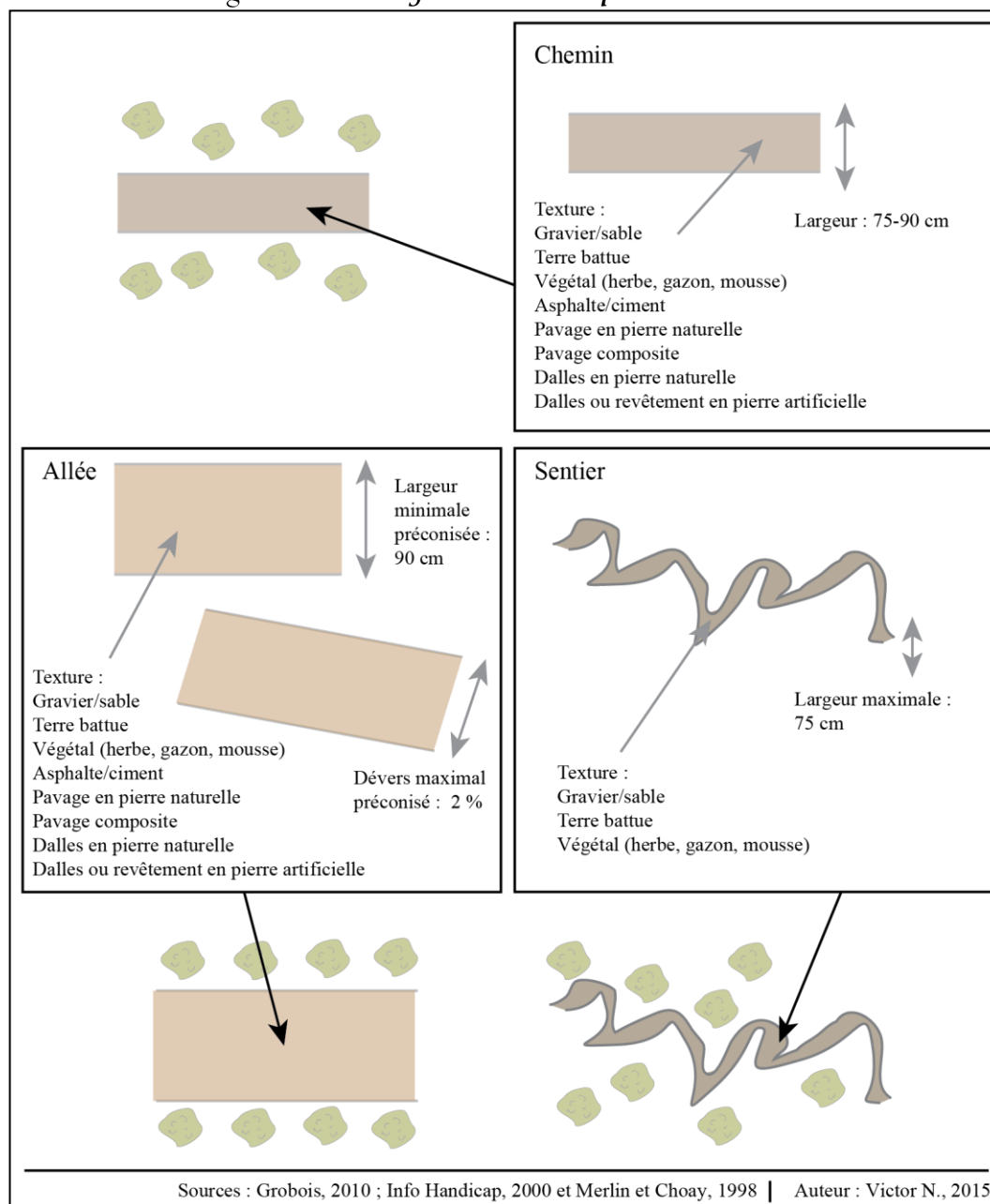


Si, dans la réalité, les trottoirs possèdent des dimensions variables, nous proposons de fixer des valeurs par défaut correspondantes à des préconisations d'accessibilité pour tous les usagers piétons [Info Handicap, 2000 ; Grosbois, 2010]. Dans les situations de carrefours, la présence d'aménagements handicapés (bateaux, repère

podotactile) est également considérée comme systématique. De cette manière, le modèle considère que les trottoirs sont accessibles à tous.

Parmi les voies dédiées, les usagers piétons disposent d'une liberté de mouvement sur l'ensemble de la voirie. S'il arrive que d'autres modes soient exceptionnellement autorisés (camion de livraison, vélo), la circulation des usagers piétons demeure prioritaire. Les chemins, par exemple, sont accessibles aux modes actifs (vélo, rollers, skateboard) (cf. figure IV-10).

Figure IV-10 : *Définition théorique des chemins*

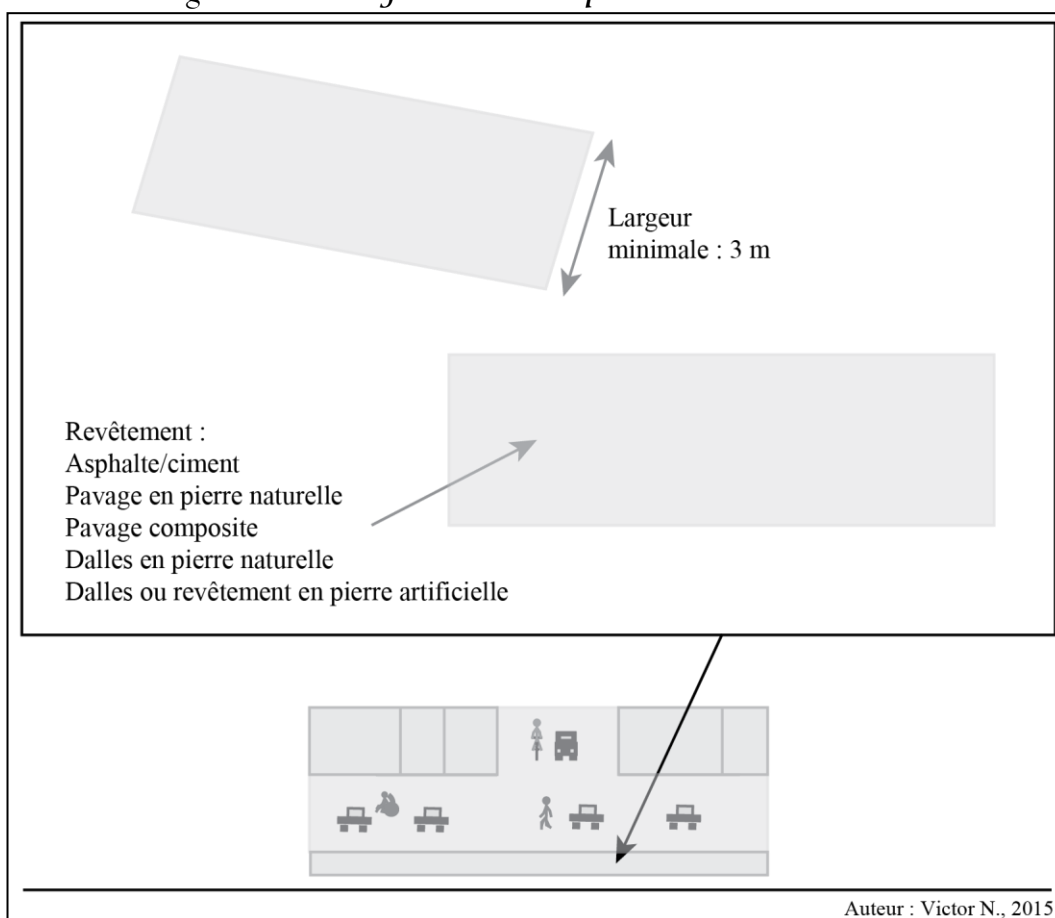


Les chemins sont répertoriés selon trois catégories en fonction de leur capacité à accueillir les usagers piétons. La largeur est utilisée comme indicateur principal d'accessibilité. Par défaut, le chemin mesure ainsi entre 75 et 90 cm. Les allées ont une largeur minimale de 90 cm, bien que, dans les faits, elles soient suffisamment

larges pour permettre de se déplacer côte à côte. Enfin les sentiers ont une largeur maximale de 75 cm. Si les allées peuvent accueillir tous les publics, la largeur mais aussi occasionnellement la texture (irrégularité, élasticité, rugosité) des chemins et des sentiers peuvent contraindre le déplacement de certains usagers.

Enfin, les voies *de rencontre* correspondent à des *chaussées mixtes* situées dans des espaces résidentiels/et ou commerciaux qui accueillent à la fois des piétons et d'autres modes de déplacement (voiture, bus, vélo) à condition que la vitesse de circulation soit limitée à 20 km/h.

Figure IV-11 : *Définition théorique de la chaussée mixte*



La largeur des voies est de 3,50 m pour les routes principales neuves mais peuvent être réduite à 3 m en cas de contrainte de site et lorsque le volume de circulation est faible. Les *chaussées mixtes* appartenant aux voies de rencontre sont dotées d'un seul couloir à faible volume de circulation routière et peuvent être à sens unique ou à double sens. La texture du sol peut varier mais le revêtement doit toujours être carrossable et ainsi permettre à tous types d'usagers de circuler.

La typologie de voies pédestres proposée permet donc d'établir une première mesure de la capacité des espaces à accueillir tous les publics. Pour cela, les espaces sont classés en fonction de définitions génériques les décrivant mais aussi de normes préconisées d'accessibilité. Cette première étape structure le réseau pédestre au-delà de sa forme, par un ensemble d'informations induites par chaque type de voies. Le niveau de détail de ces informations peut se révéler toutefois

insuffisant pour proposer des diagnostics de l'espace en fonction de la capacité d'un espace à induire des chemins piétonniers mais aussi des itinéraires adaptés à l'usager. Par conséquent, un protocole de collecte de données détaillées est proposé pour mieux caractériser chaque tronçon en relevant divers attributs comme le revêtement, la texture, les dimensions, etc.

3.2. Un audit urbain pour compléter la base de données en fonction du terrain

Dans le but d'enrichir les données relatives au réseau pédestre avec un niveau de détails très élevé, un protocole d'acquisition de données localisées, dénommé *audit PAW (Pedestrian Accessibility and Walkability)*, est mis en place [Victor *et al.*, 2016]. En soi, un audit est un processus systématique et précisément documenté permettant de recueillir des informations objectives et spatialisées afin de réaliser des diagnostics morpho-fonctionnels [Negron-Poblete et Lord, 2014 : p. 238]. Les audits consacrés à la marche sont très nombreux dans la recherche en santé et en urbanisme [Negron-Poblete et Lord, 2014 ; Brownson *et al.*, 2004 ; Cain *et al.*, 2014 ; Day *et al.*, 2006 ; Clifton *et al.*, 2007 ; Cunningham *et al.*, 2005 ; Chaudhury *et al.*, 2011 ; Gullon *et al.*, 2015]. A notre connaissance, un des premiers audits de *walkability* est le *Systematic Pedestrian and Cycling Environmental Scan* (SPACES) développé par Pikora *et al.* [2002], pour la région de Perth, en Australie. Avec 37 variables, il permet d'évaluer dans quelle mesure les segments de rue contiennent des éléments qui favorisent les déplacements à pied et à vélo.

Sébastien Lord et Paola Negron-Poblete [2014] préconisent, quant à eux, cet outil dans le cadre d'une étude liée à l'influence de la forme urbaine et des aménagements sur les comportements de marche chez les personnes vieillissantes et âgées [Lord et Negron-Poblete, 2014 ; Negron-Poblete et Lord, 2014]. L'audit MAPPA (Marchabilité Pour les Personnes Agées) consiste non seulement à caractériser de manière systématique les environnements immédiats des résidences pour personnes âgées mais aussi à proposer une typologie de segments de rue plus ou moins favorables à la marche dans un contexte de vieillissement. S'agissant d'une démarche exhaustive très liée au cadre environnemental, cet audit urbain créé pour une ville d'Amérique du Nord a dû être réadapté au contexte urbain européen – morphologie urbaine (normes), aménagement urbain, types de commerce et d'aménités – et complété pour tenir compte, non seulement des personnes âgées, mais de l'ensemble des usagers piétons aux capacités variables.

Afin de tenir compte de l'ensemble des usagers, la méthodologie de l'audit PAW propose ainsi un relevé qualitatif systématique visant à tenir compte de toutes les situations potentielles de handicap. Pour cela, les propriétés et éléments à relever ont été sélectionnés à partir de normes d'accessibilité luxembourgeoises [Info handicap, 2000] et française [Grobois, 2010], complétées par des normes européennes [norme ISO/FDIS 21542:2011], ainsi que des résultats de recherches menées auprès de publics spécifiques [Lanteri *et al.*, 2005 ; Matthews *et al.*, 2003 ; Yairi et Igi, 2007 ; Golledge *et al.*, 1991]. L'audit urbain PAW permet également de relever la présence d'aménagements et d'aménités pouvant susciter le déplacement

piéton en s'appuyant sur l'expérience de l'audit MAPPA (aménités, aménagements de zones tampons, densité du trafic, etc.) [Lord et Negrón-Poblete, 2014]. Une grille d'enquête recense ainsi toutes les caractéristiques propres à chaque segment du réseau pouvant potentiellement influencer le déplacement piéton (figure IV-12).

Figure IV-12 : Grille de collecte de données de l'audit urbain PAW

Nom rue :			ID :			Date et		
Nom rue début :			Côté rue :			Heure :		
Nom rue fin :			Météo :					
Type de tronçon : Trottoir (1), Passage piéton (2), Traversée informelle (3), Allée (4), Chemin (5), Sentier (6), Accotement (7), Rue piétonne (8), Place (9), Pelouse (10), Parking (11), Traverse (12), Escalier (13), Ascenseur (14), Pont (15), Passerelle (16), Chaussée mixte (17)								

Propriétés et état du segment			Aménagement handicapé (0; 1)						
Revêtement du segment? (0 ; 1)			Palier repos/ascenseur	Profondeur - 1,4 m	0	Palier largeur - 1,5 m	0		
Asphalte/ciment			0	Rampe murale	simple	0	Rampe double	0	
Gravier			0	Bateau		0	Bateau largeur - 2 m	0	
Terre battue			0	Repère podotactile		0			
Pavage en pierre naturelle			0	Intersections, trafic et chaussée					
Dalle ou revêtement en pierre			0	Nombre de voies		0	Sens unique (0 ; 1)	0	
Caoutchouc ou mat. synthétique			0	Présence d'aide aux piétons?(0 ; 1)					
Bois			0	Feu tricolore		0	Céder le passage	0	
Végétal (herbe-gazon-mousse)			0	Stop		0	Ralentisseur	0	
Texture du segment ? (0 ; 1)				Feu tricolore piéton		0	Feu sonore	0	
Compact			0	Bouton d'appel		0	Passage surélevé	0	
Meuble			0	Durée d'attente au feu piéton (en seconde)?					
Lisse/poli			0	Durée pour passer au vert qd bouton appuyé		0	Durée feu rouge	0	
Granuleux/rugueux			0	Caractéristiques de la chaussée? (0 ; 1)					
Rainuré/bosselé			0	Limitation de vitesse à 50 km/h		0	Zone 30	0	
Fissuré/troué			0	Zone 20 (mixte piéton-voiture)		0	Autres, précisez		
Disjoint			0	Piste cyclable? Types ? (0 ; 1)					
Etat du segment? Quantifiez (0 ; 1 ; 2 ; 3)				Bande cyclable (chaussée)		0	Voie partagée	0	
Déchet et déjections diverses			0	Piste cyclable (trottoir)		0			
Débris minéral (cailloux, boue)			0	Présence de zone tampon entre le segment et la rue?(0 ; 1)				0	
Débris végétal (feuilles, bois)			0	Caractéristiques dominantes de la zone tampon? (hiérarchisez)					
Graffiti			0	Arbre/arbuste		0	Gazon	0	
Format du segment?(0 ; 1)				Voiture stationnée		0	Piste cyclable	0	
Largeur	moins de 0,7 m	0	Barrières		0				
	moins de 0,9 m	0							
Hauteur	plus de 1,50 m	0	Eléments urbains sur le segment						
	moins de 3 cm	0	Présence d'éléments urbain? Comptez						
	plus de 16 cm	0	Banc			Abrisbus			
Dénivelé du segment ? (0 ; 1)			Enseigne publicitaire-information			Lampadaire			
Pente ? (0 ; 1)	Plate ou douce	0	Poubelle fixe			Oeuvre d'art			
	Modérée	0	Arbre isolé/buisson/plante			Sortie de garage			
	Forte	0	Bouche d'égout-grille partielle			Station Vel'Oh!			
Orientation ? (0 ; 1)	Montée	0	Parking vélo/moto			Fontaine			
	Descente	0	Eléments sur la totalité du segment? (0 ; 1)						
Dévers? (0 ; 1)	Plat ou doux	0	Grille sur la largeur, plus de 20 mm espacement barreaux			0			
	Modéré	0	Aménités sur place ou le plus proche (0 ; 1)						
	Fort	0	Restaurant/café/bar		0	Terrasse		0	
	Vers droite	0	Bâtiment administratif/ bibliothèque		0	Magasin		0	
	Vers gauche	0	Banque		0	Distributeur		0	
	Les deux	0	Boulangerie/boucherie/primeur/spiritueux		0	Supérette		0	
Forme? (0 ; 1)	Concave	0	Centre de soin/clinique		0	Pharmacie		0	
	Convexe	0	Coiffeur/toiletage/esthétique		0	Laverie		0	
Si escalier (0 ; 1)			Espace vert/square		0	Jeu pour enfant		0	
Nombre de marches			0	Etablissement scolaire		0	Toilette publique		0
Palier de repos (nb)			0	Centre de sport		0			
Si ascenseur (0 ; 1)			(0 ; 1 : présence; absence)						
Durée appel (s)			0	(0 ; 1 ; 2 ; 3 : absence; un peu, moyennement; beaucoup)					
Durée trajet (en s)			0	Commentaires :					
Nombre étages ascenseur			0						

Auteur : Victor N., 2014

L'audit permet de recueillir de plus amples informations sur les propriétés et l'état du sol, l'existence d'aménagements handicapés ou urbains, la chaussée et le trafic

environnant ou encore la présence d'aménités jugées comme vecteurs de déplacements piétons dans la littérature [Lord et Negron-Poblete, 2014 ; Mackett *et al.*, 2008 ; Metha, 2008 ; Frank *et al.*, 2009 ; etc.]. De la sorte, chaque segment du réseau piéton est ici abordé de manière individuelle avec des propriétés relevées qui lui sont spécifiques.

Pour que la démarche soit bien formalisée et que chaque propriété à relever soit détaillée le plus clairement possible et sans aucune ambiguïté, un protocole d'enquête détaillé accompagne cette grille. Sous forme d'un livret explicatif, il définit les propriétés et les éléments à relever et offre quelques exemples visuels de manière à assurer une bonne collecte de données (cf. figure IV-13).

Figure IV-13 : *Extrait du protocole d'enquête : qualification de la texture des tronçons*

Relevez les différentes textures sur le segment

Texture : ensemble des caractéristiques définissant l'agencement et les relations volumiques et spatiales des composants du sol : soit l'élasticité, la granulométrie et les irrégularités.

Parmi les 6 textures proposées, cochez les cas présents sur le segment en fonction...

- de l'élasticité :	- de la granulométrie :	- des irrégularités :
Compacte ☐	Lisse/polie ☐	Rainurée/bosselée ☐
Meuble ☐	Granuleuse/rugueuse ☐	Fissurée/trouée ☐
		Absence ☐

- Pour l'élasticité, cochez l'une ou l'autre réponse.
 - Pour la granulométrie, cochez l'une ou l'autre réponse.
 - En cas d'ambiguïté, relevez le cas le plus contraignant pour l'accessibilité.
 Exemple : si la boue/argile sèche peut être compacte, elle peut devenir meuble selon les conditions météorologiques et devenir défavorable à l'accessibilité. Il faut donc la relever en «meuble» systématiquement.

Elasticité

Compacte

Elasticité

Elasticité

Meuble

Elasticité

Granulométrie

Lisse/polie

Granulométrie

Granulométrie

Granuleuse/rugueuse

Granulométrie

Irrégularité

Rainurée/bosselée

Irrégularité

Irrégularité

Fissurée/trouée

Irrégularité

Auteur : Victor N., 2014

L'extrait présenté a pour but de guider le relevé des textures – irrégularité, élasticité, granulométrie. L'utilisation de photographies permet d'illustrer la diversité de textures présentes en milieu urbain. Les règles énoncées ont pour

objectif de dissiper toute ambiguïté notamment lorsque plusieurs réponses sont possibles selon les conditions météorologiques.

Pour compléter une grille relative à un tronçon, environ huit minutes sont nécessaires. Un enquêteur peut donc en moyenne relever quotidiennement une cinquantaine de tronçons. Lorsque les fiches sont complétées, tous les critères sont rassemblés sous la forme de variables au sein d'un tableau attributaire pouvant être joint au réseau constitué dans le SIG grâce à un identifiant commun. Néanmoins, le nombre d'éléments à relever sur le terrain engendre un temps relativement long de collecte. Afin de créer une plate-forme pour différentes recherches autour de la marche urbaine, l'utilisation d'échantillons du réseau est une solution envisageable qui offre un premier laboratoire expérimental sur cette thématique. Cette approche permet de soulager la collecte de données tout en analysant différents environnements plus ou moins susceptibles de susciter les déplacements piétons. Cependant, afin de renseigner entièrement le réseau ou pour des villes de taille importante, un procédé de simplification de la collecte ou de généralisation des données est à envisager. Une solution consiste à utiliser un audit virtuel pour collecter des données à partir de sites internet tels que *Google Earth*, *Google Street View* ou encore *Microsoft Visual Earth* [Pikora *et al.*, 2003 ; Gullon *et al.*, 2015 ; Badland *et al.*, 2010 ; Bethlehem *et al.*, 2014]. Par exemple, l'audit urbain M-SPACES (*Madrid Systematic Pedestrian and Cycling Environment Scan*) est un outil permettant de représenter les environnements urbains physiques qui peuvent favoriser ou inhiber la marche ou le vélo en s'appuyant sur des données digitales issues de *Google Street View* [Gullon *et al.*, 2015]. Il permet en particulier de collecter des données sur la perméabilité des infrastructures pédestres des quartiers, la sécurité routière et l'esthétique paysagère des rues^{xxx}. A ce jour, ce type d'audits nécessite toutefois de recourir à des bases de données spatiales secondaires pour recueillir des informations sur la capacité des voies pédestres à accueillir tous les types d'utilisateurs. Une autre possibilité pour compléter les données ou encore les mettre à jour est la mise en place d'une action collaborative à l'instar de plateformes collaboratives (*crowdsourcing*) comme *I wheel Share*^{xxxi} ou *OpenStreetMap*^{xxxii} [Goodchild, 2007a et 2007b].

Bien que ces possibilités ouvrent sur de nombreuses perspectives, l'utilisation de sous-échantillons est ici retenue de manière à obtenir des informations détaillées du territoire à une échelle *micro*. Une fois les données collectées sur le terrain intégrées au réseau pédestre, la capacité d'un territoire à accueillir tous les types d'utilisateurs piétons mais également à susciter la marche peut alors être analysée.

^{xxx} Cette méthode n'a pas été testée sur le terrain luxembourgeois car *Google Street View* n'a mis que tardivement en ligne ses clichés du Luxembourg (fin 2014), suite à un conflit avec la CNPD (Commission nationale pour la Protection des Données). Article dans *Luxembourg Wort*, consulté le 26/01/16 : <http://www.wort.lu/fr/panorama/c-etait-comment-en-2009-street-view-debarque-au-luxembourg-5448b126b9b398870807debd> et dans *Les frontaliers*, consulté le 26/01/16 : <http://www.lesfrontaliers.lu/societe/le-luxembourg-enfin-disponible-sur-google-street-view>

^{xxxi} Site *I wheel share*, consulté le 08/01/16 : <http://www.iwheelshare.com/>

^{xxxii} Site *OpenStreetMap*, consulté le 08/01/16 : <https://www.openstreetmap.org/#map=5/51.500/-0.100>

Conclusion du chapitre IV

La création d'un réseau pédestre permet de proposer un modèle spécifique à l'analyse des déplacements piétons. Pour ce faire, l'utilité d'un système d'information a été démontrée avec des fonctionnalités de manipulation et d'analyse multi-scalaire de données, d'attribution d'informations à chaque objet, de visualisation d'informations directes et indirectes sous forme de cartes numériques et encore de possibilité d'effectuer des requêtes attributaires. Une revue de littérature portant sur la prise en compte de l'accessibilité dans les modèles de déplacements piétons a permis de constater la rareté des démarches inclusives (concernant tous les usagers) car requérant des moyens de mise en place et de gestion importants, voire coûteux. Bien que ces démarches s'adressaient à des publics différents, cette revue a toutefois permis d'établir des points communs aux différents modèles : intégration du point de vue des usagers sur les facteurs de l'environnement qui peuvent leur créer des difficultés, collecte détaillée de ces facteurs, souci de faire ressortir des situations non perçues par les personnes valides et pourtant insolubles ou fortement contraignantes pour les usagers concernés. Un second état de l'art portant sur l'utilisation d'indices de *walkability* visant à identifier le potentiel d'un espace à susciter le déplacement révèle que les indicateurs utilisés pour les générer diffèrent en fonction de l'objectif des projets (concentration d'aménités, qualité de vie, parcours préconisé). *Les Systèmes d'Information Géographique offrent donc des solutions répondant aux critères spécifiques de la marche et d'une démarche inclusive. Pour cela, la mise en place d'un réseau pédestre fait d'objets vecteurs, construit selon les concepts développés par la théorie des graphes permet d'intégrer les codes spécifiques de la relation environnement-usagers lors d'un déplacement piéton.*

Trois problèmes ont dû être résolus : les questions de topologie en rapport avec la présence de coupures urbaines, la conversion d'un espace surfacique en réseau linéaire et la prise en compte de la topographie dans le réseau. Enfin, deux registres de données ont été intégrés au réseau pédestre pour concilier reproductibilité du modèle de déplacements piétons et nécessité d'une approche multi-scalaire de la marche pour envisager les interrelations usagers-environnement. Le premier, à une échelle *méso*, propose une typologie basée sur des définitions théoriques des voies pédestres. Le second, à une échelle *micro*, spécifie le modèle en fonction d'un milieu urbain particulier par une collecte de données détaillées sur la capacité de l'environnement à être accessible à tous les usagers et à susciter la marche.

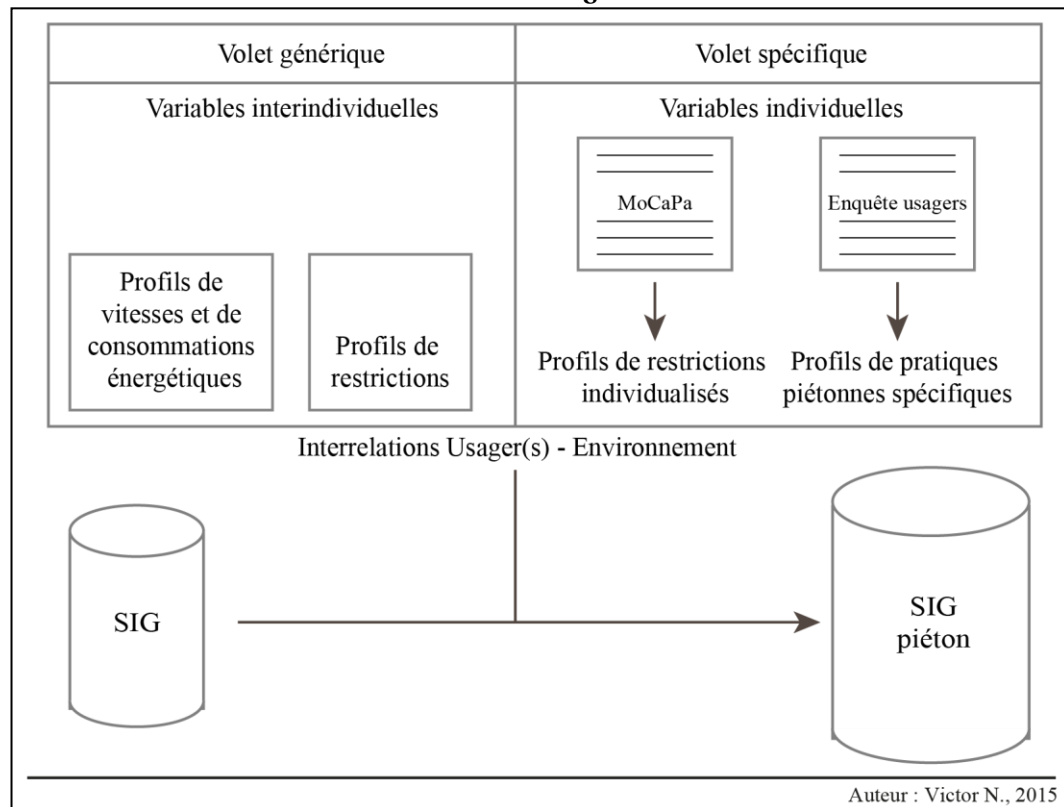
Le premier volet du processus de création du modèle de déplacement permet ainsi de mettre en place un réseau pédestre intégrant des informations multi-scalaires sur les caractéristiques de l'environnement pouvant influencer la pratique de la marche. Néanmoins, le modèle doit offrir un traitement individualisé de l'espace, mais aussi de la personne, pour modéliser entièrement l'interrelation environnement-usagers. Le second volet intègre donc les capacités de déplacement des usagers mais aussi le point de vue de l'utilisateur sur l'environnement.

Chapitre V.

Configuration d'un SIG piéton selon l'interrelation usagers-environnement

Le détail des données obtenues suite à la mise en place d'un audit urbain permet d'effectuer des analyses de l'environnement en tenant compte d'une grande diversité d'utilisateurs piétons. Toutefois, leurs capacités de mobilité pédestre ainsi que certaines de leurs réactions individuelles ne peuvent être proprement représentées sans la prise en compte de variables interindividuelles (entre les individus au sein d'un groupe) et individuelles (pour un même individu dans des situations ou contextes différents). De surcroît, un contexte extérieur comme l'accompagnement d'une personne ou d'un animal, le port d'une charge (sac, bébé, colis) ou encore de certains types de vêtements (chaussures de ville ou à talons, costume) peuvent également conditionner la capacité de déplacement d'un utilisateur. Tout utilisateur peut ainsi se retrouver un jour en situation d'inadéquation avec l'environnement qui l'entoure. ***Dès lors, comment configurer le réseau pédestre de manière à intégrer les capacités de mobilité pédestre des utilisateurs ainsi que certaines de leurs réactions individuelles ?*** À l'instar de l'attribution de données spatiales au réseau pédestre, deux volets méthodologiques sont proposés pour intégrer au SIG des données caractérisant les utilisateurs.

Figure V-1 : *Construction d'un Système d'Information Géographique piéton selon les interrelations Usagers-Environnement*



Dans le *volet générique*, la prise en compte de variables interindividuelles permet d'attribuer des coûts de déplacement à la base de données du SIG en établissant des profils de vitesses et de consommations énergétiques à partir d'une revue de littérature en médecine. D'autres variables interindividuelles théoriques, établies à partir de normes préconisées d'accessibilité, contribuent à configurer le système de restrictions mis à disposition par les fonctions de calcul d'itinéraires optimisés dans le SIG pour la version générique du modèle. Dans le *volet spécifique*, l'ajout de variables individuelles aux fonctions de configuration du calculateur offre la possibilité de proposer des parcours individualisés selon l'état de santé d'un usager, ses capacités motrices et les conditions météorologiques. Pour finir, afin de poursuivre l'intégration de l'interrelation usagers-environnement au modèle de déplacement piéton, une méthode d'enquête-usagers est proposée afin de configurer le SIG selon les spécificités comportementales des usagers et leurs points de vue sur le terrain.

1. Intégration de variables interindividuelles au SIG

Le premier registre de données spatiales du modèle de déplacement piéton a pour but de garantir une certaine reproductibilité de la méthodologie à d'autres contextes urbains en Europe. Toutefois, ce registre *générique* ne modélise qu'un pendant de la relation usagers-environnement. *Comment tenir compte des usagers piétons et de leurs capacités de déplacement quelle que soit la ville modélisée ?* Pour y remédier, l'utilisation de variables interindividuelles permet de représenter des comportements de mobilités pédestres généraux pour conserver

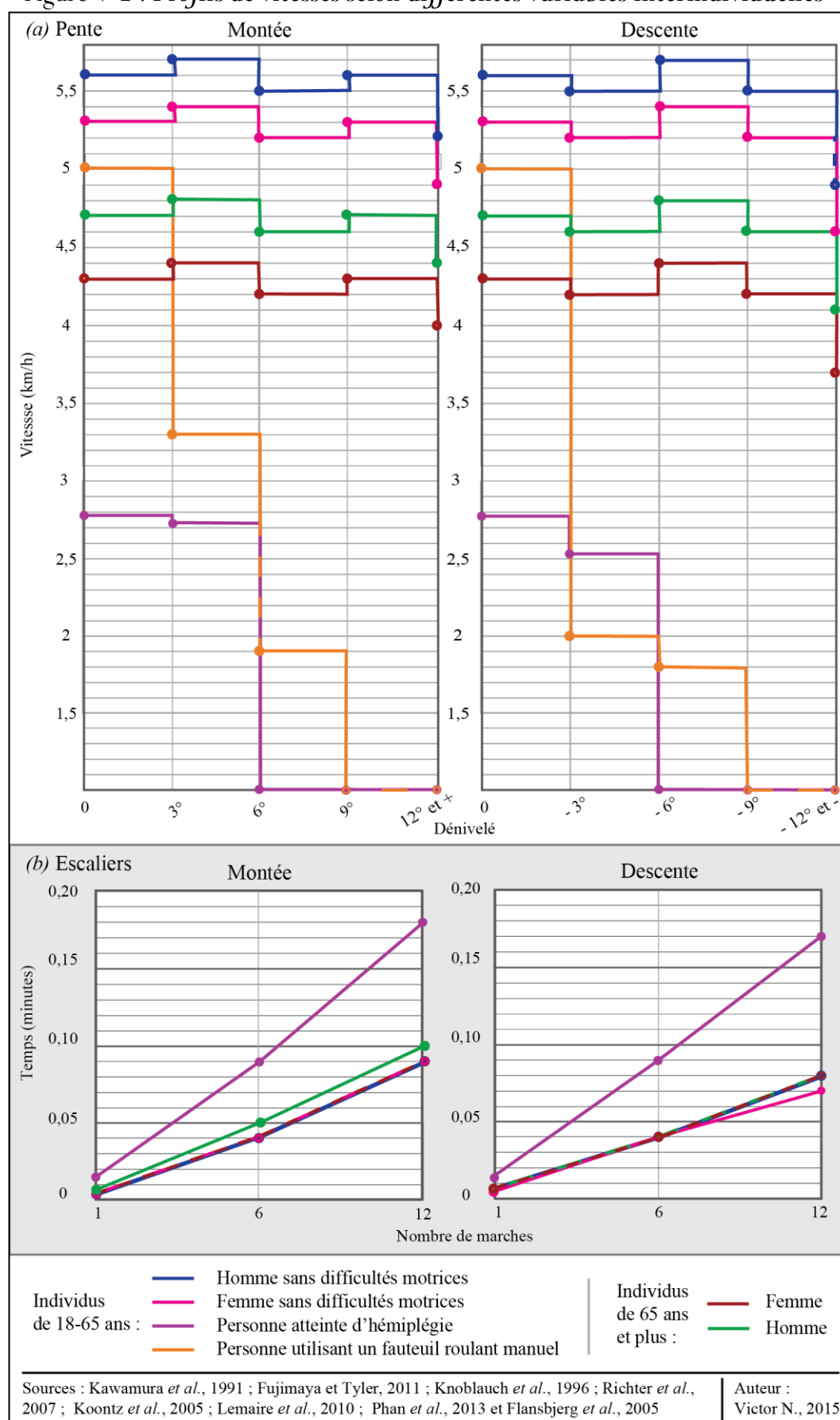
cette généralité, tout en intégrant l'influence des caractéristiques physiques au modèle. Si la marche est une pratique déterminée par les caractéristiques physiques intrinsèques des usagers, les études de mobilités piétonnes montrent en effet des comportements communs en fonction de catégories d'individus (cf. chap. II-1-1.2). Au sein du groupe *usagers piétons*, les individus sont ainsi comparés selon des caractéristiques communes comme l'âge, le genre, la motricité ou encore l'utilisation d'une aide au déplacement (fauteuil, béquille, etc.). Dans un premier temps, des profils de vitesses et de consommations énergétiques par variables interindividuelles sont ainsi proposés à partir d'études sur la marche en médecine. Ces profils permettent d'intégrer à la base de données du SIG des coûts de déplacement en fonction des longueurs et du dénivelé pour chaque tronçon. Dans un second temps, des définitions théoriques sur la capacité de déplacement des usagers piétons, élaborées à partir de normes préconisées d'accessibilité, permettent de configurer le calculateur d'itinéraires selon un ensemble de restrictions spatiales.

1.1. Profils de vitesses et consommations énergétiques nécessaires à la marche

Une revue de littérature en médecine permet d'estimer la vitesse et les consommations énergétiques dans les situations de montée et de descente des pentes et des escaliers [Kawamura *et al.*, 1991 ; Liu *et al.*, 2014 ; Fujiyama et Tyler, 2011 ; Oberg *et al.*, 1993, Minetti *et al.*, 2002, Browning *et al.*, 2005 ; Jones *et al.*, 2009 ; Knoblauch *et al.*, 1996 ; Waters et Mulroy, 1999]. La plupart de ces mesures sont effectuées selon les protocoles médicaux habituels, en intérieur, sur un tapis roulant, selon les vitesses de confort des usagers. Elles ont ainsi le mérite d'identifier, voire d'isoler, l'influence de certains facteurs environnementaux particulièrement contraignants telle la pente, la présence de marches mais aussi celle de caractéristiques des usagers comme l'âge ou le genre. Cependant, d'autres références bibliographiques [Julien et Carré, 2003 : p. 90 ; Paysant *et al.*, 2006 ; Virkler, 1998] et les résultats de notre enquête-usagers montrent que les valeurs de vitesses et de consommations énergétiques apparaissent en général plus élevées lorsque les collectes s'effectuent en extérieur. Ainsi, afin d'intégrer l'ensemble des facteurs qui influent sur ces dernières, des estimations sont proposées à partir de mesures en intérieur auxquelles sont ajoutés des coefficients pour simuler les déplacements en extérieur dans un second temps (cf. annexe 2).

A ce jour, le modèle propose un exemple de cinq profils de vitesse (cf. figure V-2) et deux de consommation énergétique, en montée et en descente, dans les pentes et les escaliers (cf. figure V-3). Ces profils permettent d'évaluer des temps de déplacement ou encore l'énergie nécessaire pour se rendre d'une origine à une destination en testant l'influence de variables interindividuelles ou encore de l'utilisation d'une aide au déplacement.

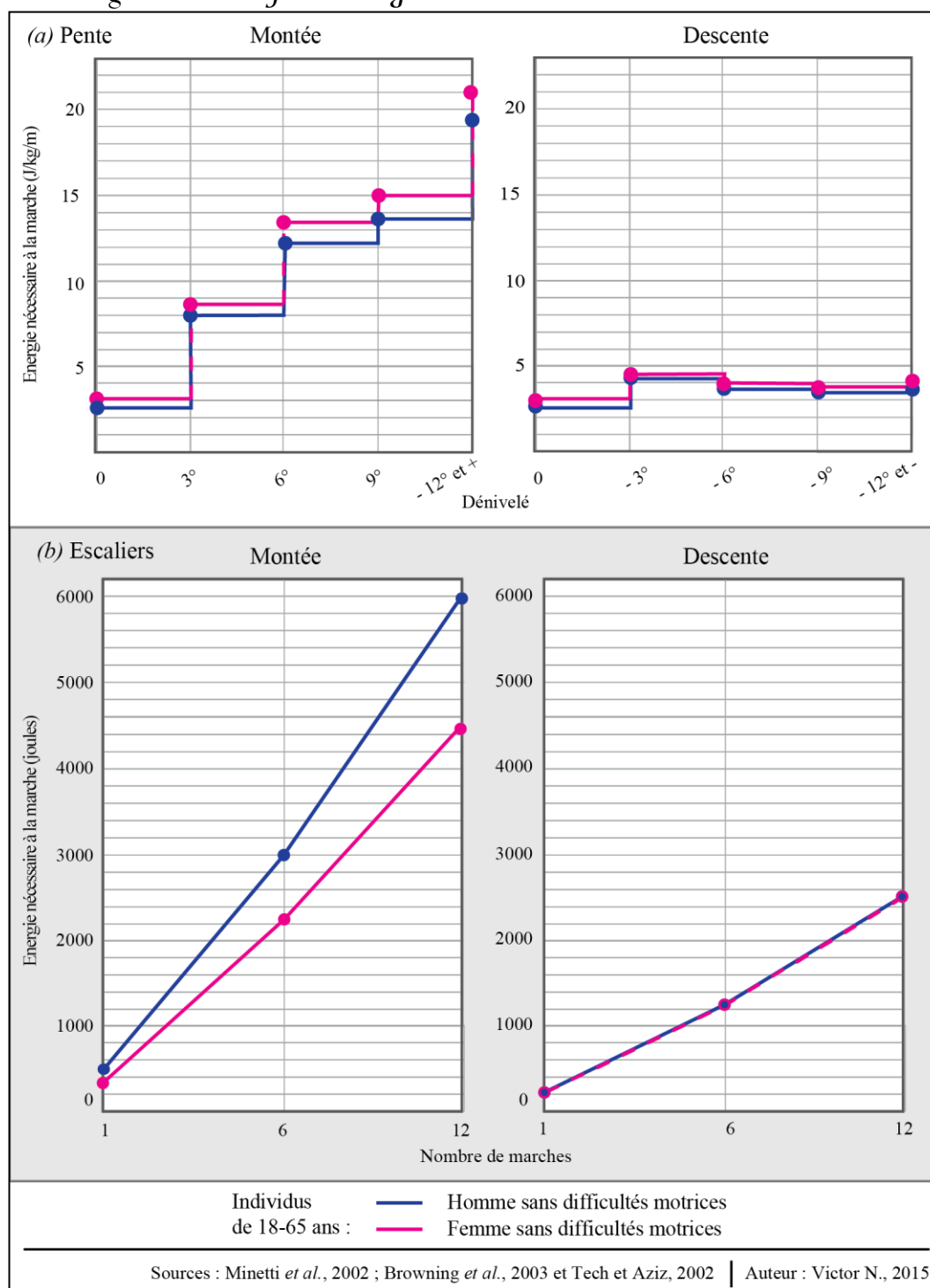
Figure V-2 : *Profils de vitesses selon différentes variables interindividuelles*



Les profils de vitesses de la figure V-2 proposent des exemples en fonction du genre, de deux classes d'âge (18-65 ans et plus de 65 ans) mais aussi de la motricité (hémiplegie) ou encore de l'utilisation d'un fauteuil roulant. Les valeurs de la figure (a) représentent des vitesses de déplacement en minute/mètre^{xxxiii} alors que celles de la figure (b) expriment un temps de déplacement, en minute, nécessaire pour franchir un escalier^{xxxiv}. Cette différenciation provient de la nature du terrain à traverser : surface contre élévation. En outre, les courbes de vitesse en montée des individus sans difficulté motrice peuvent sembler surprenantes. Ces dernières augmentent jusqu'à 3° de dénivelé, diminuent légèrement entre 3 et 6°, puis augmentent à nouveau à partir de plus de 6°. Cet effet correspond aux valeurs mesurées, en salle, dans l'étude Kenji Kawamura *et al.* [1991] pour des adultes masculins de 18-65 ans. Une collaboration avec des experts médicaux pour obtenir des mesures représentatives dans un environnement extérieur pourra sans doute affiner ces résultats, par la suite. Enfin, les profils de *personne atteinte d'hémiplegie ou utilisant un fauteuil roulant* sont les plus influencés par les degrés de pente. Au-delà d'un certain degré, l'inertie provoquée par le dénivelé peut même se révéler dangereuse et donc déconseillée à ce type d'usagers [Grobois, 2010 : p. 82]. Les temps de déplacement mesurés dans les escaliers indiquent également des écarts de valeurs selon la motricité.

^{xxxiii} 1 mètre/minute équivaut à 0.06 kilomètre/heure.

^{xxxiv} La formule utilisée pour définir un temps de déplacement dans un escalier s'exprime en minute/marche.

Figure V-3 : *Profils d'énergie nécessaire à la marche selon le sexe*


Les exemples de consommations énergétiques nécessaires à la marche dans la figure V-3 varient selon le genre. Les femmes tendent ainsi globalement à consommer plus d'énergie que les hommes dans les pentes ^{xxxv}. Globalement, si descendre une pente ne demande qu'une dépense énergétique limitée, une montée requiert *a contrario* un coût qui peut augmenter fortement en

^{xxxv} Il existe un consensus général sur le fait que les paramètres physiologiques standardisés tels que la puissance maximale aérobie, la puissance anaérobie ou encore la force musculaire et l'endurance sont significativement plus

fonction du dénivelé. Toutefois, la consommation énergétique nécessaire pour franchir des escaliers^{xxxvi} (mesurée en joule) se révèle moins élevée chez les femmes que chez les hommes en montée. Kong Chuan Tech et Abdul Rachid Aziz [2002 : p. 697] expliquent ce phénomène par une corrélation positive entre la consommation d'oxygène et la masse corporelle qui suggère qu'une personne plus lourde effectue un effort physique plus important pour monter des escaliers.

A partir des profils de vitesses et de consommations énergétiques estimés, des coûts de déplacement (temps, énergie) peuvent ainsi être calculés pour chaque tronçon, suivant la typologie (voies, escaliers), la pente (classes de pente) et l'individu (classes d'âge, genre, motricité).

Temps de déplacement :

$$T = \frac{D}{V_i}$$

où

D équivaut à la distance

V_i équivaut à la vitesse en fonction du pourcentage de pente et de l'usager (âge, sexe)

Energie consommée nécessaire pour marcher :

$$E = J \times M \times D$$

où

J équivaut aux joules moyennes consommées par l'action de marcher

M équivaut au poids (en kg) de l'individu

D équivaut à la distance (en mètres)

Des surcoûts sont ensuite appliqués afin de simuler les situations d'attente lors d'une traversée de rue ou d'un recours à un ascenseur. Les temps de traversée variant en fonction de la largeur de chaussée et de la densité du trafic, une moyenne est proposée à partir de temps relevés lors de l'audit urbain. Il en va de même pour les ascenseurs urbains où une moyenne par étage a été estimée. De surcroît, pour tenir compte des contraintes liées à l'attente lors des chemins les plus courts ou moins fatigants, une conversion des temps d'attente supplémentaire est proposée en mètres et joules. Par exemple, une attente moyenne de 40 secondes est estimée pour une traversée dotée d'un feu tricolore et d'un bouton d'appel. Pour un homme – 70 kg –, marchant à 1,26 m/s [Kawamura *et al.*, 1991] et consommant pour se déplacer 1,64 J/kg/m [Minetti *et al.*, 2002], le surcoût lié à l'attente correspondra alors à un équivalent de 51 mètres et 5 890 joules. Si ces valeurs peuvent paraître quelque peu surestimées, elles ont le mérite de mettre en valeur l'effet coupure de ce type d'infrastructures sur les itinéraires piétons et l'attente qu'elles suscitent.

faibles chez les femmes que chez les hommes. Cela est vrai même si les valeurs sont exprimées en valeur absolue ou si elles sont exprimées par rapport à la masse corporelle [Bhambani et Maikla, 2000 : p. 76].

^{xxxvi} La formule utilisée pour définir l'énergie nécessaire pour marcher s'exprime en joule/marche.

L'utilisation de divers profils de vitesses ainsi que de surcoût pour simuler des contraintes autorise une première prise en compte de l'influence de la relation usager-environnement dans le SIG. Afin d'intégrer les spécificités du terrain et des usagers, un système de poids associés aux éléments présents sur le réseau permet ensuite de configurer le calculateur d'itinéraires.

1.2. Restrictions d'un réseau pédestre générique selon des variables interindividuelles

L'utilisation d'un réseau d'*objets vecteurs* dans un Système d'Information Géographique permet d'utiliser une fonction de calcul d'itinéraires de moindre coût selon l'algorithme de Dijkstra [1959]. Cette fonction propose également une option permettant d'appliquer des coefficients de pondération aux tronçons et ainsi de les pénaliser selon les informations qu'ils contiennent (cf. tableau V-1). Le recours à une approche multicritère (méthodes ELECTRE, MELCHIOR, etc.) a le mérite de mettre en valeur des propriétés souhaitables. Il s'agit néanmoins d'une question de recherche en soi qui soulève plusieurs défis tels que l'analyse axiomatique, le passage à l'échelle ou encore l'élicitation des paramètres [Maystre *et al.*, 1994 ; Roy, 1985 ; Roy et Bouyssou, 1993 ; Bana E Costa, 1990]. Nous proposons dans cette thèse de hiérarchiser les coefficients selon des niveaux de restrictions. Cette démarche pourra être affinée à l'avenir par une réflexion sur la mise en place d'une méthode multicritère et par l'utilisation d'une enquête médicale sur les profils de mobilité pédestre en extérieur. A cet effet, une collaboration pluridisciplinaire apportera une expertise pour traiter ces questions.

Tableau V-1 : *Coefficients représentant un poids de restriction équivalent à un surcoût sur le tronçon*

Restriction	Niveau de restriction	Coefficient
absente	0	1
faible	1	1,3
moyenne	2	2
forte	3	5
accès impossible	4	-1

Source : Victor *et al.*, 2015 | Mise en page : Victor N., 2015

Lorsqu'une contrainte est présente sur le tronçon, un coefficient en fonction de l'influence de l'obstacle sur le déplacement est ainsi appliqué à la valeur initiale du segment (temporelle, métrique, énergétique). Ceux qui correspondent à une valeur supérieure à 1 permettent de créer un surcoût. Ceux entre 0 et 1 symbolisent la présence d'éléments favorisant la marche sur le tronçon (aménités, aménagements handicapés). L'utilisation d'un coefficient d'une valeur négative permet d'exclure un tronçon du calcul d'itinéraire de manière à en interdire l'accès. Ces surcoûts agissent temporairement lors de la sélection de tronçons aux valeurs moindres pour proposer des itinéraires optimisés et ne sont donc pas intégrés aux estimations de coût des trajets.

Une revue de littérature sur les normes d'accessibilité préconisées en fonction de catégories d'utilisateurs [Grobois, 2010 ; Info Handicap, 2000, Hays, 1998, Norme ISO/FDIS 21542:2011] contribue ensuite à l'élaboration de profils de restrictions selon des variables interindividuelles telles que la motricité ou encore l'utilisation d'une aide au déplacement.

Tableau V-2 : *Profils de restrictions au réseau pédestre selon des variables interindividuelles*

		Personnes atteintes d'hémiplégie	Personnes utilisant un fauteuil roulant manuel
Escalier		3	4
Traversée informelle		4	4
Chemin		4	4
Sentier		4	4
Accotement		3	4
Pente	5-8 %	4	3
	8-10 %	4	4
	10-12 %	4	4
	plus de 12 %	4	4
Restrictions :		3 forte	4 accès impossible
Sources : Grobois, 2010 ; Info Handicap, 2000 ; Hays, 1998 et Norme ISO/FDIS 21542:2011			Mise en page : Victor N., 2015

L'affectation de profils théoriques perpétue ainsi la volonté de reproductibilité du modèle de déplacement piéton à diverses villes en Europe tout en tenant compte de la relation usagers-environnement. L'utilisation de catégories d'utilisateurs est par ailleurs pertinente en matière d'aide à la décision pour les aménageurs et associations en facilitant l'analyse du réseau pédestre à une échelle *méso* et *macro*. Par exemple, des diagnostics d'espaces peuvent être réalisés pour révéler des inégalités d'accès dans certaines zones du réseau pédestre (quartier, voisinage, etc.). Des itinéraires alternatifs en cas de travaux ou de dysfonctionnement d'aménagements urbains (ascenseur) peuvent également être calculés et cartographiés.

Néanmoins, à l'heure où les espaces publics doivent être organisés de manière à permettre une accessibilité totale aux personnes handicapées (cf. chap. III-2-2.2), les mesures proposées pour améliorer la mobilité des usagers semblent dorénavant devoir tenir compte des spécificités de chaque personne et non se contenter de moyenne ou toute autre normalisation statistique. Si l'audit urbain permet de spécifier le modèle de déplacements piétons selon un terrain, l'utilisation de variables individuelles ouvre un champ des possibles quant à un service personnalisé et à la proposition de parcours individualisés.

2. Intégration de variables individuelles au SIG

Pour modéliser entièrement la relation entre propriétés et éléments présents dans l'environnement ainsi que les caractéristiques des usagers, le modèle doit pouvoir offrir un traitement individualisé de l'espace et de la personne. Si l'audit PAW permet de collecter des informations détaillées spécifiques à l'environnement

étudié, une approche individualisée nécessite de collecter les caractéristiques individuelles de l'utilisateur impliquées dans la marche. *Toutefois, comment acquérir ces informations et les intégrer au Système d'Information Géographique de manière à proposer des itinéraires accessibles à chacun ?* A cet effet, un protocole d'enquête offre un test standardisé permettant de mesurer l'influence de l'état de santé perçue par le répondant sur sa mobilité pédestre *via* un questionnaire. Un protocole médical intégré à ce dernier, le RAND-36 HSI (*Health Status Inventory*) [Hays, 1998 ; Hays et Morales, 2001], permet alors de déterminer un score et d'établir des restrictions d'accès au réseau individualisées.

2.1. Evaluation de la capacité de mobilité pédestre d'une personne au quotidien

Le questionnaire MoCaPA (*Mobility's Capacity of a Person Assessment*) a été créé dans le but de configurer le modèle et de proposer des itinéraires personnalisés. Pour cela, il établit le profil d'un usager selon ses caractéristiques physiques et motrices en se décomposant en trois volets : 1) évaluation de la capacité motrice du piéton et utilisation d'une aide à la marche, 2) définition d'un état de santé général, 3) recueil d'informations complémentaires (mensurations, genre, âge).

Capacité motrice du piéton et utilisation d'une aide à la marche

Les questions pour qualifier la capacité motrice d'un piéton ne peuvent en aucun cas être considérées comme un diagnostic médical (cf. annexe 5). Leur seul objectif est de déterminer un profil de mobilité pour pouvoir configurer le modèle SIG (restrictions). Dans une démarche inclusive, le questionnaire a été créé de manière à être complété par tous les usagers. Ce parti pris permet d'éviter les stéréotypes de mobilité associés à certaines catégories d'usagers. Pour résumer, les questions sur la capacité motrice d'un piéton et l'utilisation d'une aide à la marche visent à identifier l'autonomie de déplacement d'un piéton d'une part, ainsi que d'éventuels obstacles au déplacement, d'autre part. Pour finir, certaines questions ont un double emploi et apportent des éléments de réponses à différents volets de manière à alléger la longueur du questionnaire.

Figure V-4 : *Extrait du questionnaire MoCaPA : Qualifier la capacité motrice d'un piéton et l'utilisation d'une aide au déplacement*

2. Avez-vous besoin d'une personne pour vous accompagner dans vos déplacements ?
Trois réponses possibles : Non, jamais ; Oui, parfois ; Oui, toujours

3. En général, quand vous vous déplacez en dehors du domicile, avez-vous besoin d'une aide technique ?
Deux réponses possibles : Non ; Oui, précisez (chaussures orthopédiques, prothèse, orthèse, canne ou béquille, deux béquilles, cadre de marche, déambulateur, fauteuil roulant, canne blanche, chien guide)

4. Les questions suivantes portent sur les activités que vous pourriez avoir à faire au cours d'une journée normale. Etes-vous limité par votre état de santé dans les activités suivantes ?

a. Activités intenses : soulever des objets lourds, faire du sport.

b. Activités modérées : déplacer une table, passer l'aspirateur.

c. Soulever et transporter les achats d'alimentation.

d. Monter plusieurs étages à la suite (escalier ou rampe).

e. Monter un seul étage (escalier ou rampe).

f. Vous agenouiller, vous accroupir ou vous pencher très bas.

g. Se déplacer sur plus d'un kilomètre (plus de 20 minutes en moyenne).

h. Se déplacer sur 500 mètres (environ 5-10 minutes en moyenne).

i. Se déplacer sur 100 mètres (environ 1-2 minutes moyenne).

j. Prendre un bain, une douche ou vous habiller.

Trois réponses possibles : Oui, très limité ; Oui, plutôt limité ; Pas limité du tout

5. Les questions suivantes portent sur les déplacements que vous pourriez avoir à faire au cours d'une journée normale. Votre état de santé actuel vous limite-t-il dans ces déplacements ? Si oui, dans quelle mesure ?

a. Avez-vous des difficultés à monter ou descendre une pente forte (pente à plus de 10 % environ) ?

b. Avez-vous des difficultés à monter ou descendre une pente forte (pente entre 5 et 10 % environ) ?

c. Avez-vous des difficultés à monter ou descendre une pente faible (pente à moins de 5 % environ) ?

d. Avez-vous des difficultés à vous déplacer sur de l'herbe ou de la pelouse ?

e. Avez-vous des difficultés à vous déplacer sur des graviers ou du sable ?

f. Avez-vous des difficultés à vous déplacer sur des pavés : lorsqu'ils ont des joints ? Lorsque les joints sont creusés ?

Cinq réponses possibles : Aucune difficulté ; Difficulté légère ; Difficulté modérée ; Grande difficulté ; Impossibilité

Source : Questionnaire MoCaPA (Mobility's Capacity of a Person Assessment), p. 1-3 | Auteur : Victor N., 2015

Tout d'abord, déterminer l'autonomie de déplacement d'une personne (question 2) permet de prévoir si les préconisations d'itinéraires doivent tenir compte d'au moins deux personnes aux capacités de mobilité différentes. Un déplacement accompagné peut, par exemple, impliquer une largeur de voie minimale pour se déplacer côte à côte. En outre, si certains obstacles peuvent être tolérés quand une

aide extérieure contribue à les franchir, la configuration du modèle n'en tient pas compte pour proposer l'itinéraire le plus confortable aux deux usagers. Ensuite, les questions sur la capacité motrice d'un piéton (questions 3, 4 et 5) ont pour but d'identifier la tolérance de l'enquêteur face à certains obstacles. Elles permettent d'obtenir des limites au déplacement individuel tout en évitant d'utiliser des stéréotypes de mobilité selon des catégories d'usagers. La question 3 permet également d'évaluer des règles d'accessibilité fondamentales conséquentes à l'utilisation d'un certain type d'aide à la marche [Grobois, 2010 ; Info handicap, 2000]. La question 4 permet d'évaluer une tolérance générale de l'utilisateur à l'effort (monter un étage, se déplacer sur plusieurs mètres, etc.). Enfin, la question 5 identifie les éléments de l'environnement que l'utilisateur considère comme obstacles au déplacement et évalue en quelle proportion. Pour cela, cinq réponses sont proposées à l'image des cinq niveaux de restrictions proposés dans le calculateur d'itinéraire du modèle (cf. tableau V-3).

Tableau V-3 : *Evaluation personnelle de limites au déplacement et niveaux de restrictions dans le SIG*

	Franchissement de l'obstacle	Restrictions dans le modèle
Niveaux	aucune difficulté	absente
	difficulté légère	faible
	difficulté modérée	moyenne
	grande difficulté	forte
	impossibilité	accès impossible

Auteur : Victor N., 2015

Cette première série de questions contribue à rendre compte de la relation usagers/environnement en qualifiant l'influence de l'environnement sur l'individu (franchissement d'obstacles) puis, à configurer en partie le niveau de restrictions dans le modèle.

Etat de santé général et influence sur le quotidien

Toutefois, au-delà de la motricité, la tolérance aux obstacles peut évoluer en fonction de l'état de santé d'une personne. Afin de considérer son importance sur les déplacements au quotidien, le questionnaire s'appuie sur des questions développées dans un protocole médical, le RAND-36 HSI (*Health Status Inventory*) [Hays, 1998 ; Hays et Morales, 2001]. Il s'agit d'un dérivé d'une enquête, développée par la société RAND, sur la qualité de vie liée à la santé (*HRQOL : Health-Related Quality Of Life*). Une autre version dérivée de l'enquête HRQOL, connue sous le nom de SF-36, est également largement utilisée dans la recherche [Ware, 2004 ; Sydall *et al.*, 2009]. Le RAND-36 HSI est composé des mêmes 36 éléments que le SF-36 mais intègre en plus une méthodologie de pondération basée sur une théorie de réponses aux éléments (*IRT : Item Response Theory*), de scores composites et de normes nationales échantillonnées par âge, genre, ethnie, niveau d'éducation, origine géographique et données de recensement [Hays, 1998 : p. 1]. Le RAND-36 HSI ne fournit donc pas un diagnostic médical mais évalue l'influence de l'état de santé physique et psychologique d'un individu sur sa vie

quotidienne. Parmi les 36 questions du protocole, seules celles portant sur les traits physiques ont été retenues dans le questionnaire MoCaPA. Ce choix s'explique par la nature même des questions à caractère psychologique qui n'apportent pas de renseignements sur un potentiel de mobilité mais cherchent à caractériser l'influence de l'état d'esprit de la personne sur sa vie quotidienne. Six questions ont ainsi été retenues, composées de 21 variables à compléter (cf. figure V-5).

Figure V-5 : *Extrait du questionnaire MoCaPA : Evaluer un état de santé physique et son influence sur la mobilité pédestre*

1. En général, diriez-vous que votre santé est...
Cinq réponses possibles : Excellente ; Très bonne ; Bonne ; Passable ; Mauvaise

4. Les questions suivantes portent sur les activités que vous pourriez avoir à faire au cours d'une journée normale. Etes-vous limité par votre état de santé dans les activités suivantes ?

- a. Activités intenses : soulever des objets lourds, faire du sport.
- b. Activités modérées : déplacer une table, passer l'aspirateur.
- c. Soulever et transporter les achats d'alimentation.
- d. Monter plusieurs étages à la suite (escalier ou rampe).
- e. Monter un seul étage (escalier ou rampe).
- f. Vous agenouiller, vous accroupir ou vous pencher très bas.
- g. Se déplacer sur plus d'un kilomètre (plus de 20 minutes en moyenne).
- h. Se déplacer sur 500 mètres (environ 5-10 minutes en moyenne).
- i. Se déplacer sur 100 mètres (environ 1-2 minutes moyenne).
- j. Prendre un bain, une douche ou vous habiller.

Trois réponses possibles : Oui, très limité ; Oui, plutôt limité ; Pas limité du tout

6. Les questions suivantes se réfèrent au travail ou à vos activités quotidiennes accomplies ces quatre dernières semaines :

- a. Votre santé physique a-t-elle limité votre temps passé au travail ou à d'autres activités ?
- b. Avez-vous fait moins de choses que vous ne l'auriez voulu à cause de votre santé physique ?
- c. Avez-vous été limité(e) dans la nature de vos tâches et activités par votre santé physique ?
- d. Avez-vous réussi à tout faire, mais au prix d'un effort ?

Deux réponses possibles : Oui ; Non

7. Au cours des quatre dernières semaines, avez-vous enduré des souffrances physiques ?
Six réponses possibles : Aucune ; Très légèrement ; Légèrement ; Moyen ; Intense ; Très intense

8. Au cours des quatre dernières semaines, la douleur a-t-elle gêné votre travail ou vos activités habituelles ?
Six réponses possibles : Aucune ; Très légèrement ; Légèrement ; Moyen ; Intense ; Très intense

9. Dans quelle mesure chacun des énoncés suivants est-il VRAI ou FAUX dans votre cas ?

- a. Il me semble que je tombe malade un peu plus facilement que les autres.
- b. Je suis en aussi bonne santé que les gens que je connais.
- c. Je m'attends à ce que ma santé se détériore.
- d. Ma santé est excellente.

Cinq réponses possibles : Tout-à-fait vrai ; Assez vrai ; Ne sais pas ; Plutôt faux ; Tout à fait faux

Source : Questionnaire MoCaPA (Mobility's Capacity of a Person Assessment), p. 1-5 | Auteur : Victor N., 2015

L'intégration en l'état du protocole dans le questionnaire permet de calculer des scores selon quatre thématiques : Perception générale de la santé (GHP : *General Health Perception*) ; Fonctionnement physique (PF : *Physical Functioning*) ; Rôle des limitations dues à des problèmes de santé (RLP : *Role limitation Health Problem*) et

Douleur (*PA : Pain*). Comme son nom l'indique, la *perception générale de la santé d'un individu* vise à mesurer la façon dont l'individu perçoit son état de santé, c'est-à-dire s'il se sent bien portant ou malade (questions 1 et 9). Le score de *fonctionnement physique* identifie les limitations, conséquentes à la santé de l'individu, dans sa pratique d'activités physiques du quotidien (question 4). Si certains aspects de la question 4 ne touchent pas directement au déplacement, ils offrent une vue d'ensemble de la capacité motrice d'un individu. Le *rôle des limitations dues à des problèmes de santé* permet de saisir la part de problème émotionnel pouvant interférer dans le travail ou dans la pratique d'activités quotidiennes (question 6). Enfin, l'échelle de *douleur* détermine la fréquence de ressenti et en quelle mesure cette dernière peut interférer sur le quotidien (questions 7 et 8). En fonction des réponses aux questions, un score est déterminé pour chaque thématique [Hays, 1998 : p. 56]. Chaque score peut alors être comparé à une population de référence (selon le genre ou l'âge) pour obtenir un *T-Score*, c'est-à-dire une valeur normative [Hays, 1998 : p. 64]. Toutefois, à ce jour et à notre connaissance, il n'existe que très peu de cohortes de référence pour le RAND-36 HSI [Etats-Unis : Hays, 1998 ; Arabie Saoudite : Coons *et al.*, 1998]. Celle d'origine et aussi la plus importante^{xxxvii} est américaine et a donc été retenue présentement.

A partir de ces T-scores, un composite de santé physique (*PHC : Physical Health Composite*) peut alors être calculé. Il évalue si une personne est, en moyenne, plus ou moins susceptible d'avoir des problèmes de santé physique qui peuvent entraver sa vie quotidienne. Pour cela, les thématiques sont pondérées [Hays, 1998 : p. 62] :

$$PHC = (0,2712 \times PF + 0,3487 \times RLP + 0,2755 \times PA + 0,2931 \times GHP)$$

où

- PF** équivaut au T-score du Fonctionnement physique (*Physical Functioning*)
- RLP** équivaut au T-score du Rôle des limitations dues à des problèmes de santé (*Role Limitation health Problem*)
- PA** équivaut au T-score de la Douleur (*Pain*)
- GHP** équivaut au T-score de la Perception générale de la santé (*General Health Perception*)

Le résultat obtenu peut lui-même être comparé à une population de référence pour obtenir un T-score de PHC, que nous dénommerons PHC dans le reste de la thèse par commodité. Ce PHC permet d'identifier trois niveaux d'influence de la santé physique sur la vie quotidienne (cf. tableau V-4).

^{xxxvii} Echantillon de population basée sur 800 Américains adultes, de 18 à 89 ans [Hays, 1998 : p. 7].

Tableau V-4 : *Niveaux d'influence de la santé physique sur la vie quotidienne*

	PHC (<i>Physical health Composite</i>)	Gêne dans la vie quotidienne
Niveaux	42 et moins	forte
	entre 43 et 52	faible
	53 et plus	absente

Source : Hays, 1998 : p. 48 | Mise en page : Victor N., 2015

Les limites de classes ont été définies à partir de la cohorte américaine en s'appuyant sur les seuils qui différencient de façon optimale les groupes de répondants qui ont obtenu les résultats de PHC les plus faibles et les plus élevés [Hays, 1998 : p. 48]. Au final, le groupe à faible PHC (42 et moins) se révèle composé des répondants qui ont le plus déclarés de symptômes ou de déficiences physiques. A l'inverse, les répondants du groupe à PHC élevé (53 et plus) correspondent à ceux qui ont le moins déclaré de problèmes de santé.

Ces trois niveaux de classes permettent ainsi de différencier les usagers qui perçoivent leur santé physique comme une gêne – forte, faible ou absente – dans leur vie quotidienne et offrent ainsi une mesure du point de vue d'un individu sur sa santé et l'influence qu'elle a sur ses déplacements quotidiens. Ce point de vue pourra être implémenté par la suite dans un calculateur d'itinéraires à travers des poids de restrictions.

Informations complémentaires (mensurations, genre et âge) : profil de vitesses et consommations énergétiques nécessaire au déplacement piéton

Le troisième volet est, quant à lui, composé de quatre questions visant à compléter le profil de l'individu (cf. figure V-6)

Figure V-6 : *Extrait du questionnaire MoCaPA : Informations complémentaires*

10. Quelle est votre taille, en centimètres ? Remplir les pointillés

11. Vous êtes de sexe ?
Deux réponses possibles : masculin, féminin

12. Quel est votre poids, en kilogrammes ? Remplir les pointillés

13. En quelle année êtes-vous né(e)? Remplir les pointillés

Source : Questionnaire MoCaPA (Mobility's Capacity of a Person Assessment), p. 5 | Auteur : Victor N., 2015

Les réponses à ces questions permettent d'attribuer un profil de vitesse suivant l'âge, le genre de la personne et son indice de masse corporel (IMC) d'une part, et de faire une estimation de la consommation énergétique qui lui est nécessaire pour se déplacer, d'autre part.

Ainsi, dans un premier volet, le questionnaire permet d'identifier les éléments de l'environnement restreignant l'accès au réseau piéton dans le calculateur d'itinéraires et en quelle mesure ils se révèlent comme obstacles au déplacement de l'individu – absente, faible, moyenne, forte, accès impossible. Puis,

dans le deuxième volet, la manière dont l'individu perçoit l'influence de son état de santé sur sa capacité de déplacement est intégrée sous la forme de poids supplémentaires dans le calculateur d'itinéraires. Enfin, le troisième volet a pour objectif d'identifier les caractéristiques de l'individu telles que ses mensurations, son sexe ou encore son âge. En complément, à l'image des critères environnementaux, nous supposons que les comportements piétons varient en fonction du terrain. Une enquête auprès des usagers parcourant au quotidien le milieu étudié peut donc apporter des compléments d'informations et permettre d'affiner la configuration du modèle en fonction.

2.2. Principes de restrictions individualisées : calcul des plus courts chemins avec des poids multicritères dans un système d'information géographique

A l'issue de la collection d'informations par l'audit PAW et le questionnaire MoCaPa, un ensemble de restrictions peut être mis en place pour articuler la relation individuelle qui s'établit entre l'environnement et l'utilisateur lors d'un déplacement. Elles sont abordées sous la forme d'un questionnement. L'individu, dans cette situation momentanée et selon ses caractéristiques physiques, est-il incapable de franchir l'obstacle ou doit-il poursuivre son chemin au prix d'un temps et/ou d'un effort supplémentaire ? Afin de déterminer le degré d'accessibilité d'un espace pour un usager, un certain nombre de caractéristiques physiques impliquées dans le déplacement piéton (motricité, endurance, posture, etc.) sont sélectionnées pour déterminer le potentiel à franchir ou non des obstacles. L'influence de l'environnement sur ces caractéristiques et leurs conséquences sur l'accessibilité sont à nouveau déterminées à l'aide d'une revue de littérature [Grobois, 2010 ; Info handicap, 2000 ; Norme ISO/FDIS 21542:2011]. Puis, l'évaluation de l'influence des caractéristiques physiques et de l'état de santé des usagers sur leurs capacités de déplacement en fonction des éléments de l'environnement à travers MoCaPa permet d'établir des limites de restrictions aux tronçons.

Pour cela, un tableau (tableau V-5) permet de faire évoluer les restrictions pondérées en fonction de l'aide à la marche utilisée, de l'état de santé de l'utilisateur, des propriétés et aménagements présents sur le réseau et des conditions météorologiques. Le tableau V-5 est un exemple considérant la capacité de déplacement d'utilisateurs de manière autonome avec une aide à la marche dotée de roues (fauteuil roulant, déambulateur).

Tableau V-5 : *Profils de restrictions potentielles avec l'utilisation d'une aide au déplacement de type fauteuil roulant ou déambulateur*

Propriété de la voie		Soleil / nuageux			Pluie/gel-neige		
		Santé de l'utilisateur					
		Excellente	Bonne	Fragile	Excellente	Bonne	Fragile
Revêtement	pavage en pierre naturelle	1	1	1	1	1	1
	gravier/sable	2	2	3	3	3	4
	terre battue	0	0	1	4	4	4
	bois	0	0	0	0	0	1
	végétal (herbe-gazon-mousse)	0	0	1	4	4	4
	matière synthétique	0	0	0	0	0	0
Texture	meuble	4	4	4	4	4	4
	lissé/poli	1	1	1	2	2	2
	bosselé/troué	1	2	2	2	3	4
	disjoints	4	4	4	4	4	4
Largeur	moins de 90 cm	0	0	0	0	0	0
	moins de 70 cm	4	4	4	4	4	4
Hauteur à franchir	[3-16] cm	3	4	4	3	4	4
	plus de 16 cm	4	4	4	4	4	4
Pente	5-8 %	2	2	3	3	3	4
	8-10 %	4	4	4	4	4	4
	10-12 %	4	4	4	4	4	4
	plus de 12 %	4	4	4	4	4	4
Ascenseur	palier largeur moins de 1,5 m	4	4	4	4	4	4
	profondeur moins de 1,4 m	4	4	4	4	4	4
Escalier	moins de 6 marches	4	4	4	4	4	4
	6-12 marches	4	4	4	4	4	4
	plus de 12 marches	4	4	4	4	4	4
Absence main courante	simple	0	0	0	0	0	0
	double	0	0	0	0	0	0
Absence bateaux		4	4	4	4	4	4
Traversées informelles		4	4	4	4	4	4
Absence feu sonore		0	0	0	0	0	0
Absence repère podotactile		0	0	0	0	0	0
Restrictions :		0 absente	1 faible	2 moyenne	3 forte	4 accès impossible	
Sources : Victor N. <i>et al.</i> , 2015 ; Grobois J-L., 2010 ; Info Handicap, 2000 ; Hays R., 1998 et Norme ISO/FDIS 21542:2011							Auteur : Victor N., 2015

L'accessibilité au réseau est abordée selon trois dimensions : *l'utilisateur et son niveau de santé perçue*, les *éléments de l'environnement* et enfin les *conditions météorologiques*.

Première perspective, l'influence de la santé de l'utilisateur sur sa vie quotidienne est mesurée par le questionnaire MoCaPA. Une santé *excellente* signifie que les individus ont moins tendance à considérer que leur santé physique influence leur vie quotidienne, une *bonne* santé indique une certaine neutralité quant au sujet et une santé *fragile* indique que les individus perçoivent leur santé physique comme une contrainte dans la vie de tous les jours.

Deuxième perspective, les restrictions d'accès aux tronçons sont déclinées en quatre classes : accès *impossible*, accès avec restrictions *forte*, *moyenne* et *faible*. Elles reflètent la capacité de traversée d'un tronçon mais également anticipent des situations potentiellement dangereuses pour les usagers piétons. Le niveau de restriction *faible* est ainsi synonyme d'un manque de confort pour traverser le tronçon. Les obstacles présents peuvent nécessiter un léger effort supplémentaire pour être franchis mais le segment demeure traversable et *a priori* sans risque, comme le fait d'éviter dans la mesure du possible les revêtements pavés par temps de pluie ou en marchant avec des talons pour une personne n'utilisant pas d'aide à la marche. Une restriction *moyenne* représente un manque de confort mais induit également un certain risque de chute ou de déséquilibre qui nécessite l'attention de l'usager. Une restriction *forte*, quant à elle, reflète un espace traversable mais au prix d'un effort supplémentaire important et d'un risque de chute élevé. Ce niveau de restriction sous-entend également que l'accès au tronçon nécessite des distances courtes à franchir ou la présence d'une tierce personne. Enfin, un accès *impossible* au tronçon indique des situations où l'environnement est complètement en inadéquation avec les capacités de déplacements de l'usager.

Pour finir, la troisième et dernière perspective porte sur les conditions météorologiques qui peuvent modifier la texture du sol en matière d'élasticité (meuble/dur) ou de stabilité (sol glissant sur surface polie/lisse, mouillée ou gelée) et, dès lors, la capacité d'accéder à un espace.

Une fois les restrictions renseignées, il est alors possible de calculer des itinéraires à la fois de moindre coût (métrique, temporelle ou énergétique) et les plus accessibles à partir des caractéristiques physiques de chaque usager et de conditions météorologiques variables. Le questionnaire MoCaPa offre ainsi la possibilité de configurer le calculateur d'itinéraires en matière d'accessibilité au réseau pédestre. Toutefois, les interrelations usagers-environnement dépendent également de réactions individuelles et de comportement de mobilité pédestre qui ne sont pas encore intégrées au SIG, à ce stade.

3. Intégration de réactions individuelles quant à l'interrelation usagers-environnement

L'utilisation de mesures objectives de l'environnement à travers des critères métriques, de connectivité, de linéarité, fonctionnels ou encore environnementaux et paysagers permet d'évaluer la capacité d'un espace urbain à inciter les déplacements piétons (cf. chap. III-1-1.2). Toutefois, ces mesures ne permettent pas toujours d'articuler correctement les éléments de l'environnement et les comportements piétons. L'interrelation usager-environnement possède, en effet, une part de subjectif et de réactions individuelles (sens du confort, sentiment de sécurité, plaisir des sens, propreté, etc.) spécifiques à un territoire. ***Dès lors, comment mesurer objectivement des qualités apparemment subjectives de l'environnement piéton ?*** Les réactions individuelles ne pouvant être réellement estimées par des observateurs extérieurs, l'utilisation de parcours accompagnés en ville et d'entretiens semi-directifs apportent des éléments de réponses afin d'examiner le rôle des perceptions et la façon dont elles interviennent sur la relation

entre caractéristiques de l'environnement et comportements piétons dans un territoire. A cet effet, un protocole d'enquête permet d'obtenir des informations sur le point de vue des usagers sur le milieu intra-urbain qu'ils pratiquent au quotidien. Les observations effectuées lors des parcours accompagnés permettent d'effectuer un retour sur le modèle quant aux propositions de profils de vitesses/consommations énergétiques et de restrictions. Les entretiens semi-directifs permettent ensuite de relever des témoignages de réactions individuelles mais aussi leurs sentiments quant à la présence d'éléments et d'aménagements de l'environnement ayant été identifiés comme susceptibles de favoriser la marche à travers une revue de littérature (cf. chap. III-1).

3.1. Spécification de comportements piétons dans un territoire et retour sur le modèle de déplacement piéton

Un protocole d'enquête est développé de manière à observer les comportements piétons d'usagers différents lorsqu'ils sont confrontés à l'environnement urbain et donc à de potentielles barrières au déplacement en fonction de leurs caractéristiques individuelles. Une partie de l'entretien semi-directif permet ensuite de revenir avec les enquêtés sur leurs réactions et leurs points de vue sur la source de ces dernières. Le procédé se divise en trois volets à partir d'un *questionnaire*, d'un *parcours piéton urbain* accompagné d'un observateur et d'*entretiens* offrant un retour d'expériences sur le déplacement effectué.

Questionnaire de l'enquête usager : MoCaPA-Lux

A l'instar du questionnaire MoCaPA, le questionnaire MoCaPa-Lux vise à obtenir des informations sur l'influence de la santé perçue d'un usager sur sa vie quotidienne mais aussi sur ses connaissances des lieux. Dix-sept questions selon quatre thèmes sont donc proposées : 1) capacité motrice du piéton et utilisation d'une aide au déplacement ; 2) état de santé général ; 3) informations complémentaires (mensurations, genre, âge) et 4) préparation aux parcours commentés.

Si les trois premiers thèmes sont identiques au questionnaire MoCaPa, des questions ont été ajoutées pour préparer les parcours commentés. Elles permettent de proposer un itinéraire adapté dans un espace largement approprié par l'enquête (cf. annexe 6).

Figure V-7 : *Modification du questionnaire MoCaPa pour les besoins de l'enquête PAWLux*

1. En général, à quelle fréquence venez-vous au centre de Luxembourg-ville ? Cinq réponses possibles : Au moins une fois par jour ; quatre à cinq fois par semaine ; Une fois par semaine ; Une à deux fois par mois ; Moins de dix fois par an 2. Depuis quelle année venez-vous avec cette régularité à Luxembourg-ville ? <i>Remplir les pointillés</i> 15. Lesquelles de ces langues parlez-vous couramment ? Quatre réponses possibles : Luxembourgeois ; Français ; Allemand ; Anglais 17. Dans la liste ci-dessous, pouvez-vous préciser si vous connaissez ce lieu et si vous savez vous y rendre ? (réponses multiples possibles) <i>Théâtre des Capucins</i> <i>Arrêt de bus City shopping bus (centre/rue Beaumont)</i> <i>Hôtel des postes (Hamilius)</i> <i>Hôtel de ville (place Guillaume II)</i> <i>Palais Grand-ducal</i> <i>Cité judiciaire (plateau Saint-Esprit)</i> <i>Gare centrale</i> <i>Cathédrale Notre-Dame</i> <i>Monument du souvenir Gëlle Fra</i> <i>Parc (centre-ville) – mare et jet d'eau</i> <i>Musée d'Histoire de la Ville de Luxembourg</i> <i>Mini-golf (vallée de la Pétrusse)</i> <i>Trois tours (porte de la ville)</i> Deux réponses possibles : Je connais ce lieu ; Je sais m'y rendre

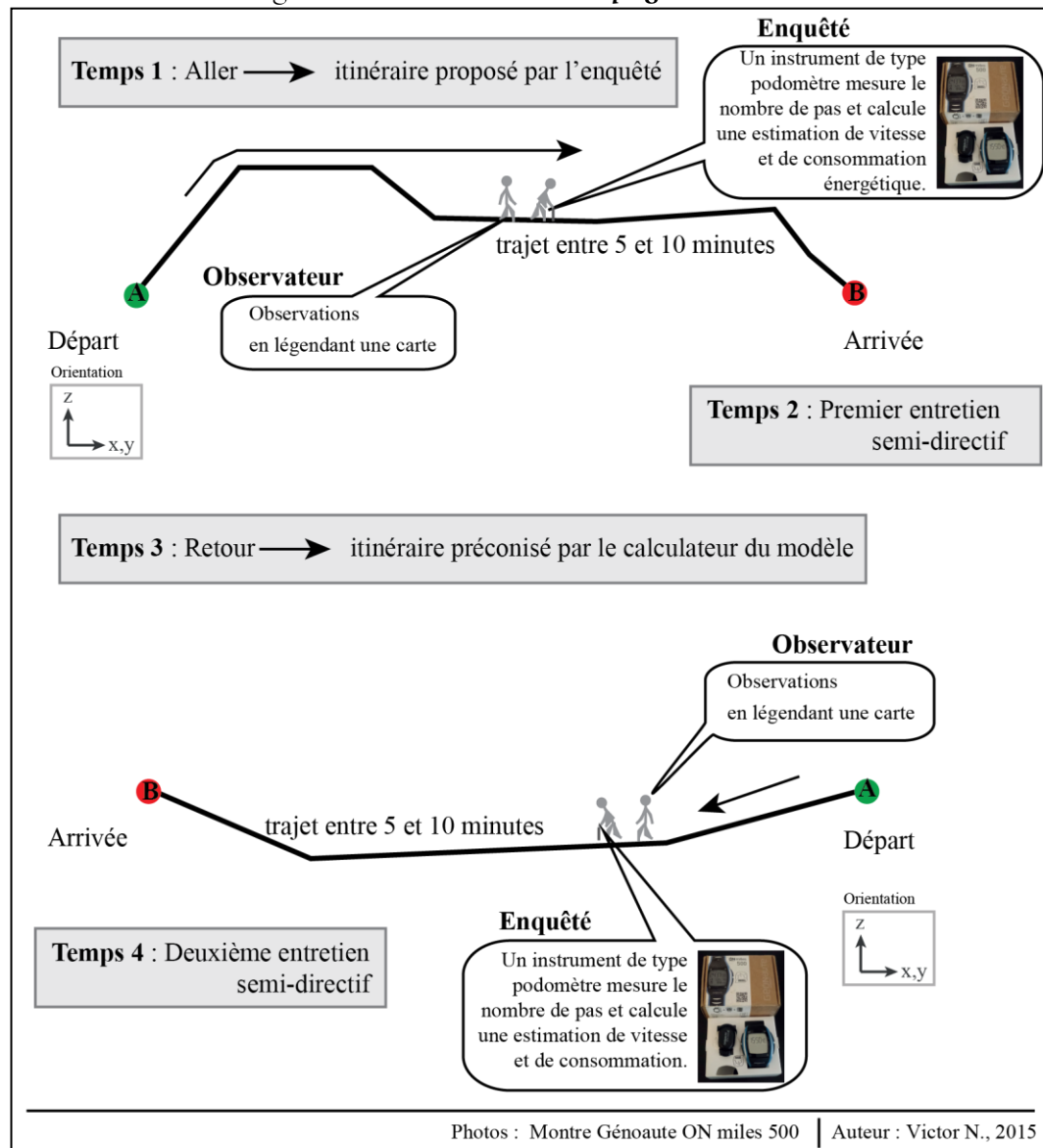
Source : Questionnaire de l'enquête-usagers du projet PAWLux (*Pedestrian Accessibility and Wayfinding in Luxembourg-city*) 2014-2015, p. 1-8 | Auteur : Victor N., 2015

Les questions 1 et 2 sur la fréquence de visite de la ville permettent de sélectionner les usagers ayant une bonne connaissance des lieux. L'objectif étant d'analyser des spécificités de comportements usagers dans leurs déplacements quotidiens, il est important d'enquêter sur des individus s'étant approprié l'espace urbain et les obstacles potentiels présents. En outre, une fréquence soutenue de visites peut également être un indicateur de la capacité d'un usager à prévoir des événements ponctuels (travaux, foule, trottoir couvert de feuilles ou de verglas, etc.). La question 15 relative au langage vise à préparer l'entretien. Dans l'exemple présenté, Luxembourg est une ville internationale et multilingue qui nécessite d'anticiper les qualifications linguistiques de l'enquêteur. Enfin, la dernière question (17) a pour objectif d'évaluer la connaissance des lieux de l'enquêté. Pour cela, connaissance théorique du lieu et localisation réelle sont différenciées. Premièrement, la réponse « Je connais ce lieu » apporte une information générale sur la capacité de l'utilisateur à se représenter les aires urbaines de la ville et *a contrario* révéler les espaces que l'utilisateur ne côtoie pas du tout. Deuxièmement, la réponse « Je sais m'y rendre »

permet de définir les espaces pratiqués concrètement par l'utilisateur. Ils seront utilisés pour définir le point de départ et d'arrivée du parcours. Les lieux sélectionnés visent ainsi à proposer un maillage du terrain à étudier pour identifier les espaces urbains connus. Il s'agit de lieux de repères connus par la population avec différents niveaux de connaissance : lieux touristiques (bâtiments remarquables, places centrales, musées); lieux usuels (bâtiments administratifs et de services, lieux de transport) et lieux de loisir (parcs, activités culturelles et sportives). Une fois le questionnaire rempli, un parcours accompagné peut donc être proposé en convenant à l'avance avec l'enquêteur de lieux de départ et d'arrivée qu'il connaît. Les questions de santé permettent alors de préparer un itinéraire individualisé tenant compte notamment d'une longueur de trajet appropriée.

Parcours accompagnés d'un observateur et entretiens semi-directifs

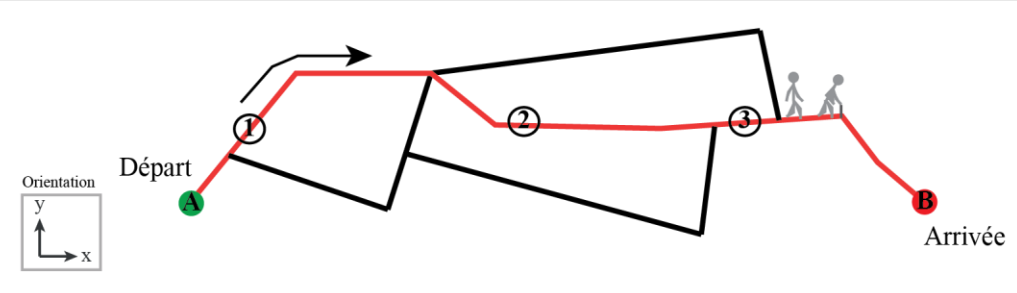
La méthode proposée de parcours accompagné s'inspire de la littérature en combinant différentes méthodologies utilisées pour observer les comportements des individus lors de leurs déplacements pédestres quotidiens [Thibaud, 2010 ; Thibaud, 2008] et leurs réactions face à des obstacles ou barrières qu'ils peuvent rencontrer [Beale *et al.*, 2006 : p. 72 ; Yairi et Igi, 2007 : p. 139]. Afin d'observer les usagers dans leur déplacement mais également de valider la configuration de notre modèle, un aller-retour entre ces deux lieux est proposé selon un protocole précis en quatre temps (cf. figure V-8).

Figure V-8 : *Parcours accompagnés urbain*


Dans un premier temps, la consigne, indiquée à l'enquêteur, est de conduire l'observateur jusqu'au point de destination (B) selon l'itinéraire qu'il suivrait habituellement dans un contexte de rendez-vous avec un ami mais sans être pressé par le temps. Ce contexte a pour but de recréer une situation où la personne se dirige vers une destination précise sans effectuer de dérives. En d'autres termes, il s'agit d'obtenir dans la réalité des conditions plus ou moins équivalentes à celles proposées dans le modèle. Pendant le trajet qui dure entre 5 et 10 minutes en fonction de l'état de santé perçu par l'individu, un podomètre permet de mesurer la vitesse de l'utilisateur toutes les 30 secondes mais aussi de faire une évaluation de la consommation énergétique nécessaire au déplacement. Il est demandé à l'utilisateur de marcher à sa vitesse de confort sans se préoccuper de l'observateur. Les vitesses relevées offrent ainsi une indication de changement de rythme lors du trajet. L'observateur prend également soin de noter l'itinéraire choisi par l'utilisateur et localise ses notes et observations en légendant une carte imprimée de la zone à traverser. Ces notes ont pour but d'alimenter la discussion lors de l'entretien semi-

directif d'une part, mais aussi d'identifier et de localiser des relations de cause à effet face à des éléments de l'environnement, de l'autre (cf. figure V-9).

Figure V-9 : *Grille d'observations lors d'un parcours accompagné*



Grille à compléter	Ralentissement	Accélération	Contournement	Détour	Effort
Revêtement					
Texture					
Etat					
Largeur					
Encombrement			②		
Hauteur à franchir	①				
Pente					③
Dévers					
Circulation					
Autres					

Auteur : Victor N., 2015

Pour cela, la grille de relevé se présente sous la forme d'un tableau localisant des obstacles potentiels au déplacement et des réactions potentielles en fonction de ces derniers. Les observations émises pourront, par ailleurs, permettre d'améliorer les restrictions et les vitesses selon les situations. Chaque observation sera rediscutée avec l'enquête lors de l'entretien afin de clarifier les interprétations de l'observateur.

Dans un deuxième temps, une fois parvenu au lieu d'arrivée un entretien semi-directif permet de revenir sur d'éventuels obstacles ou événements rencontrés lors du trajet. Le choix de fixer un entretien intermédiaire tout de suite *après* le premier trajet et non *pendant* ou *après* s'explique par deux raisons : 1) le piéton tend à lisser sa vitesse en fonction de l'autre lorsqu'il accompagne quelqu'un. 2) Jean-René Carré et Arantxa Julien [2000 : p. 27] ont démontré dans leur méthode d'analyse des séquences piétonnières que des entretiens effectués après les trajets permettent de mieux connaître les perceptions que les sujets ont de leurs déplacements, en particulier les séquences plaisantes/déplaisantes et agréables/désagréables. Un entretien tout de suite après le trajet permet donc d'obtenir des retours quasi *in situ* tout en conservant des observations de comportements piétons individualisés (vitesses, réactions face à des obstacles, etc.). Leurs réponses sont ainsi ancrées dans la réalité de leurs pratiques de déplacement et ne sont pas simplement des généralités ou des réponses toutes faites. Les conditions effectives dans lesquelles se

trouvent les piétons au cours de leurs trajets peuvent alors être révélées. A partir de ses notes et d'un guide d'entretien, l'enquêteur peut alors explorer plus en profondeur les choix opérés et le ressenti de l'enquêté face aux éventuelles difficultés rencontrées. Ce type d'entretiens doit alors faire des allers-retours entre les commentaires sur l'environnement présent et les propos autour des pratiques et contextes habituels de la marche. Le guide d'entretien prévoit quatre volets et s'attache à laisser la plus grande liberté d'expression à l'enquêté (cf. annexe 7). Dans le premier volet, après une brève introduction resituant les objectifs de l'enquête, une discussion est proposée autour des impressions de l'utilisateur lors du déplacement. Si nécessaire une première relance peut être effectuée en insistant sur les réactions des individus face à certaines situations rencontrées lors du parcours (changement de trottoir, réaction à un obstacle). Une seconde relance peut porter sur la connaissance de certains obstacles et d'une éventuelle anticipation pour les éviter. Pour le deuxième volet, l'enquêteur révèle les observations émises lors du trajet ainsi que leurs localisations. Une discussion permet de valider ou d'infirmer les observations et de mesurer l'importance de la gêne occasionnée. Le troisième volet est une discussion libre sur les habitudes de déplacements de l'enquêté selon différentes conditions météorologiques et nycthémérales. A cet effet, l'enquêteur veille à ce que des éléments ou situations qui peuvent influencer les déplacements ressortent au cours de la conversation – pente, pavé, escalier, présence de voiture, traversée informelle, présence de verdure, présence de zone tampon. Il s'agit d'identifier les circonstances (climat, nuit/jour) où ces éléments/situations peuvent apparaître comme répulsifs, neutres ou attractifs. Pour conclure, le quatrième volet propose que, si l'itinéraire diffère, le trajet préconisé par le modèle est dévoilé à l'enquêté. S'il connaît cet itinéraire mais choisit délibérément de ne pas l'utiliser, l'enquêteur en demande alors les raisons.

Dans un troisième temps, l'observateur propose à l'enquêté de suivre un itinéraire individualisé préconisé par le modèle (5-10 minutes suivant l'utilisateur) pour retourner au point d'origine (A). A l'instar de l'aller, l'observateur reprend des notes en légendant une carte imprimée. La vitesse et la consommation énergétique de l'enquêté sont à nouveau mesurées.

Enfin, dans un quatrième temps, un second entretien semi-directif demande à l'enquêté d'évaluer l'itinéraire préconisé et de dénoncer d'éventuels obstacles rencontrés. Le chemin retour permet à l'enquêté d'acquiescer un temps de réflexion quant aux thèmes abordés dans l'entretien précédent. Sensibilisé, il est également plus alerte lors de son déplacement ce qui offre la possibilité d'approfondir les discussions sur d'éventuelles situations ou comportements. L'entretien se déroule, cette fois-ci, en trois parties. Dans la première, les résultats de vitesse et d'énergie consommée sont communiqués au sujet. Une comparaison entre le temps estimé par le modèle, le temps estimé par l'utilisateur et le temps réel est effectuée. Dans la seconde partie, une discussion libre est ensuite engagée à propos de l'itinéraire préconisé. Si l'enquêté aurait sélectionné un parcours différent, il lui est demandé son itinéraire habituel et s'il a ressenti une amélioration par rapport à l'accoutumée. Ses habitudes de déplacement sont à nouveau questionnées pour identifier les éléments attractifs et répulsifs rencontrés lors du trajet. Enfin, dans la troisième partie, l'enquêteur révèle les nouvelles observations émises lors du trajet ainsi que

leurs localisations. Une discussion permet de valider ou d'infirmer les observations et de mesurer l'importance de la gêne occasionnée.

L'enquête permet ainsi d'affiner les configurations du modèle par les formes et les degrés d'emprises de l'environnement sur le déplacement piéton. Elle permet également de révéler des situations d'obstacles que la littérature ne peut identifier car individuelles ou dépendantes d'un terrain spécifique. Pour cela, les informations collectées sont analysées pour intégrer au modèle les spécificités conséquentes à une relation entre un milieu urbain et un usager, en particulier.

3.2. Saisir les pratiques piétonnes spécifiques à un milieu urbain

Si le questionnaire et les parcours accompagnés permettent de faire un retour sur les profils de restrictions du modèle et les vitesses et consommations énergétiques proposées par le modèle, les entretiens semi-directifs recueillent, quant à eux, des témoignages de réactions individuelles et leurs ressentis (attraction/répulsion) face à la présence de configurations spatiales considérées comme favorables à la marche dans la littérature (cf. chap. III-1-1.2). Des analyses sémantiques des entretiens révèlent ainsi le point de vue des usagers sur les conditions et les manières de marcher en ville [Thomas, 2008 : p. 29]. De surcroît, les réactions individuelles ne pouvant être réellement estimées par un observateur extérieur, ces entretiens offrent l'opportunité de comprendre le rôle des perceptions des éléments de l'environnement et de la qualité du design urbain sur ces dernières [Ewing et Handy, 2009]. Une hiérarchisation des descripteurs de l'environnement pouvant susciter la marche selon leurs importances du point de vue des usagers peut alors être tentée en fonction du contexte de déplacement. Dans ce but, une analyse qualitative des informations extraites des entretiens est proposée selon quatre points (cf. tableau V-6).

Tableau V-6 : *Analyse des conditions et des manières de marcher en ville*

	Texte de référence	Éléments mis en jeu dans la marche	Descripteurs de l'environnement	Contexte de la marche
Méthodes	Surligner données originales sur la marche	Classer selon : construit, sensible, social, représentation sociale	Hierarchiser les descripteurs selon leurs importances du point de vue de l'utilisateur	Classer les hiérarchies de descripteurs selon le contexte
Éléments recherchés	- Allusion à la qualité du design urbain (image, fermeture, échelle humaine, transparence, complexité), - réactions individuelles (variation d'allure, changement de trajectoire, etc.) et leurs raisons (sentiment de sécurité, sens du confort, niveau d'intérêt, plaisir des sens)	- Construit : conditions architecturales et aménagées d'un parcours en ville, - sensible : ambiances sonores, tactiles, visuelles ou lumineuses, - social : type de sociabilité, publique mis en jeu par ou dans la marche, - représentation sociale : comportements d'autrui, imaginaire collectif	- connectivité, - densité de population, - diversité de l'occupation du sol, - proximité aux aménités, - accessibilité, - végétation, - design urbain	- Budget-temps, - équipement (chaussures, vêtements, aide au déplacement), - contexte environnemental : conditions climatiques, nycthémérales (jour et nuit) ou de circulation, - conditions de santé, - seul ou accompagné
Sources : Thomas R., 2008 : p. 29 ; Ewing R. et Handy S., 2009 Auteur : Victor N., 2015				

Une analyse sémantique des entretiens est effectuée à partir des documents originaux. L'objectif est de surligner les éléments du discours portant sur la marche. Il s'agit de retenir toutes les allusions à la qualité du design urbain ou à des témoignages de réactions individuelles.

La qualité du design urbain fait appel au ressenti de l'utilisateur lors de ses déplacements piétons. Cinq thématiques d'analyse sont proposées à partir des travaux de Reid Ewing et Susan Handy [2009] : l'*image*, la *fermeture*, l'*échelle humaine*, la *transparence* et la *complexité*. L'*image* correspond à la sensibilité de l'utilisateur pour l'environnement qui l'entoure. Fait-il référence à la présence de bâtiments remarquables, de personnes sur la voie, de terrasses ou encore de points de vue paysagers ? La *fermeture* correspond aux préférences de l'utilisateur pour la morphologie des rues. Est-il sensible aux rues avec une vue dégagée ou encore à la luminosité issue de la proportion de ciel visible dans la rue ? L'*échelle humaine* correspond au sentiment de l'utilisateur que l'architecture et les aménagements urbains sont adaptés à sa taille et à l'échelle du pas. Fait-il référence à la hauteur du bâti, au mobilier urbain ou à de trop longues visibilitées ? La *transparence* correspond aux références de l'utilisateur quant à l'étendue de son champ de visibilité en milieu intra-urbain. Est-il sensible à la présence de vitrines ou à la présence de fenêtres sur les bâtiments ? Enfin, la *complexité* fait référence aux habitudes de choix d'itinéraires de l'utilisateur et à la

diversité du paysage. L'utilisateur cherche-t-il à simplifier son trajet au maximum ? Est-il sensible aux changements paysagers et environnementaux ?

Les éléments du discours sur les réactions individuelles et leurs sources font référence aux situations d'inadéquations entre l'environnement et les usagers. Les réactions individuelles dans les entretiens correspondent en général à des retours sur les observations émises par l'observateur lors du parcours accompagné. Elles portent donc essentiellement sur des ralentissements, des accélérations, des contournements, des détours ou encore un effort supplémentaire fourni (cf. chap.3-3.1).

Cette étape permet ensuite une analyse plus approfondie se concentrant sur les spécificités du territoire et de la population étudiée.

Une fois surlignés, les éléments du discours concernant la marche sont classés de manière à analyser les dimensions de la ville ou du lieu impliqué dans l'action. Rachel Thomas [2008] suggère pour cela de classer ces éléments selon trois dimensions : le *construit*, le *sensible* et le *social*. La dimension *construite* réfère aux conditions architecturales et aménagées d'un parcours (gabarit des lieux, types de revêtement de sol, etc.). La dimension *sensible* témoigne d'une relation de codétermination entre les ambiances sonores, tactiles, visuelles ou lumineuses et la pratique de la marche. Enfin, la dimension *sociale* décrit le type de sociabilité publique mis en jeu par ou dans la marche. Nous proposons également d'isoler les éléments relatifs aux *représentations sociales* et à l'*imaginaire collectif* qui donnent des indications sur le sentiment d'appropriation que possèdent les usagers envers un espace urbain et sa population. Ce classement doit faire ressortir les situations et configurations spatiales et sociales spécifiques au terrain et identifier des descripteurs de configurations spatiales favorables à la marche.

Une hiérarchisation selon l'importance de ces descripteurs du point de vue de l'utilisateur permet ensuite de réfléchir à la mise en place d'une éventuelle pondération pour analyser la capacité d'un espace à favoriser les déplacements piétons. En s'appuyant sur la littérature existante à propos des configurations facilitant ou attirant les déplacements piétons (cf. chap. III-1-1.2), sept descripteurs potentiels sont proposés pour représenter les critères de l'environnement auxquels le piéton est sensible lors de la marche : la *connectivité*, la *densité de population*, la *diversité de l'occupation du sol*, la *proximité aux aménités*, l'*accessibilité*, la *végétation*, et le *design urbain*. La *connectivité* fait référence à l'importance que portent les usagers à la continuité des itinéraires. La *densité de population* ne désigne pas de potentiels ralentissements ou contournements liés à la présence de groupes de personnes sur la voie mais à l'ambiance urbaine (animation) et aux interactions sociales relatives à la présence d'autrui. La *diversité de l'occupation du sol* décrit en partie l'aspect fonctionnel d'un lieu et son utilité. La *proximité aux aménités* fait également référence à la fonctionnalité des lieux. Si l'*accessibilité* permet en géographie de déterminer la proximité d'un lieu, il s'agit ici du potentiel de l'espace à accueillir tous types d'usagers piétons. Enfin la *végétation* et le *design urbain* font référence à des critères de qualités environnementales et paysagères. Ces hiérarchies améliorent ainsi l'analyse de la capacité d'un espace à favoriser les déplacements piétons. Toutefois, ces dernières varient en fonction du contexte de déplacement.

Dès lors, identifier des variations de hiérarchies selon le contexte permet de constater des changements de regards et d'appréciations dans l'interrelation usager-environnement. Cinq contextes différents sont mis à l'étude : le *budget-temps*, l'*équipement*, le *contexte environnemental*, les *conditions de santé* et le fait d'être *seul ou accompagné*. Le *budget-temps* implique des changements comportementaux en fonction du temps disponible pour effectuer une activité. L'*équipement* se concentre sur des situations où l'ergonomie d'un vêtement (chaussures à talons, costume, etc.) ou d'une aide au déplacement (canne, fauteuil, poussette) n'est pas en adéquation avec l'environnement. Le *contexte environnemental* intègre à la fois des variations météorologiques, nycthémérales (jour et nuit) ou encore de circulation. Les *conditions de santé* peuvent influencer les conditions de la marche, voire les habitudes de déplacement, à l'instar du fait de l'*accompagnement*, où l'utilisateur doit s'adapter aux capacités de déplacements de l'autre.

Au final, l'analyse qualitative des pratiques piétonnes spécifiques à un milieu intra-urbain offre de nombreuses pistes quant à l'intégration du point de vue de l'utilisateur à un modèle de déplacement piéton. Si ces données ne peuvent être directement intégrées au SIG, elles permettent néanmoins d'effectuer une analyse des comportements piétons spécifiques à un territoire et à sa population. Par ailleurs, la proposition de hiérarchisation des descripteurs de la capacité d'un environnement à favoriser la marche permet de réfléchir à l'intégration de pondérations à des outils d'analyse spatiale tels que les indices de *walkability*.

Conclusion du chapitre V

Si la construction d'un SIG piéton met à disposition des solutions répondant aux critères spécifiques de la marche et d'une démarche inclusive, la prise en compte des caractéristiques physiques de l'utilisateur et de son point de vue sur l'environnement est incontournable pour proposer un SIG piéton intégrant les relations usagers-environnement. A cet effet, l'intégration de deux registres de données sur les caractéristiques physiques des piétons permet de proposer un modèle de déplacement piéton à la fois reproductible à différentes villes en Europe mais également individualisé et inclusif. ***L'utilisation de variables interindividuelles et individuelles permet dès lors d'intégrer les capacités de mobilité pédestre des usagers ainsi que certaines de leurs réactions individuelles afin d'identifier et de localiser les situations d'inadéquations entre usagers et environnement.*** Pour cela, dans un premier temps, des profils de vitesse et de consommation énergétique ont été créés en fonction de variables interindividuelles à partir de références bibliographiques en médecine notamment. Ces valeurs cinétiques et énergétiques sont dégradées selon la présence de relief et de certains aménagements urbains (feux piéton, ascenseur). Elles complètent alors la base de données du SIG. Des profils de restrictions selon des variables interindividuelles ont ensuite été intégrés dans un calculateur d'itinéraires, proposé par le SIG. Ces deux démarches permettent ainsi de représenter des comportements de mobilités pédestres généraux reproductibles et facilitent les analyses du réseau pédestre aux échelles *méso* et/ou *macro*. Dans un deuxième temps, l'élaboration d'un questionnaire (MoCaPa) vise à collecter des données individuelles pour configurer le

calculateur d'itinéraires avec des restrictions individualisées en fonction de l'état de santé de l'utilisateur, de ses capacités motrices et de conditions météorologiques. Cette démarche propose ainsi une solution flexible qui permet de calculer des itinéraires au moindre coût et les plus accessibles selon l'utilisateur et certains aspects contextuels. Enfin, dans un troisième temps, le recueil et l'analyse de témoignages d'utilisateurs ont donné la possibilité d'effectuer un retour sur le modèle. Ils offrent des perspectives d'analyse de la capacité des espaces à favoriser la marche en fonction d'un territoire spécifique.

Les méthodes de construction et de configuration d'un SIG piéton proposées dans cette thèse intègrent ainsi les interrelations usagers-environnement en les abordant à travers une solution en partie générique et en partie individualisée. Cette double démarche autorise alors des analyses multi-échelles du réseau pédestre et du rapport usager-environnement.

Chapitre VI.

Evaluation de la capacité d'un réseau piéton à favoriser la marche

Le processus de déplacement piéton est soumis à des conditions que les usagers cherchent à satisfaire lors d'un trajet (cf. chap. III-1-1.1). Si la *faisabilité* et l'*accessibilité* sont prioritaires, la prise en compte des autres conditions peut également contribuer à déterminer si un espace est propice à la marche. Afin d'identifier les trajets les plus favorables en fonction de la relation usager-environnement et de construire un outil de diagnostic des espaces publics urbains, une analyse du réseau piéton peut permettre de mesurer, localiser et caractériser les configurations de l'environnement urbain pouvant faciliter ou contraindre le déplacement piéton. Il est alors possible de retranscrire l'influence de facteurs métriques, de connectivité, de linéarité, fonctionnels, environnementaux et paysagers sur le choix des itinéraires des usagers. ***Cependant, comment évaluer la capacité d'un réseau piéton à fournir des configurations spatiales susceptibles de favoriser la marche alors que leurs prises en compte nécessitent des analyses à différentes échelles (ville, quartier, rue) ?*** A cet effet, un ensemble de mesures et d'indices, globaux et locaux, peuvent être utilisés : *accessibilité*, *linéarité* et *connectivité* du réseau, *proximité* et *accessibilité à des aménités*, *diversité* et *mixité de l'occupation du sol*, *densité* de population, *verdure* ou encore *qualité du design urbain*. Une analyse à différentes échelles conduit alors à diverses possibilités de visualisation de la capacité d'un territoire à favoriser la marche.

En premier lieu, nous proposons d'identifier et de localiser la présence de configurations spatiales pouvant restreindre les déplacements piétons. Toutefois, la faisabilité étant définie comme dépendante du contexte et de la capacité d'un usager à négocier un intervalle de temps pour se rendre d'un endroit à un autre (cf. chap. III-1-1.1), nous suggérons de l'étudier à travers l'*accessibilité piétonne* en testant diverses conditions de déplacement : vitesse et/ou consommation énergétique, capacités de déplacement (motricité, état de santé) et conditions météorologiques. En second lieu, des mesures de l'utilité des lieux et de la qualité de l'environnement urbain permettent de consolider la démarche d'identification d'espaces favorables aux déplacements piétons. Pour finir, à partir des mesures proposées, un indice synthétique de *walkability* est construit pour évaluer et comparer si les espaces

urbains offrent des configurations du réseau piétonnier favorables ou non à la marche selon deux échelles : *méso* (aire de déplacement piétonnier) et *macro* (ville). Un score d'inclusion permet ensuite d'évaluer la capacité de l'espace à fournir une quantité équivalente de service. L'ensemble de ces analyses contribue alors à la mise en place d'un outil d'aide à la décision s'adressant aux aménageurs et aux particuliers, PAWapp-Lux (*Pedestrian Accessibility and Walkability applied in Luxembourg-city*).

1. Evaluation des conditions d'accès au réseau piétonnier et interrelations usagers-environnement

Les interrelations usagers-environnement opèrent à différentes échelles pendant la pratique de la marche. Dès lors, les mesures d'accessibilité d'un réseau piétonnier doivent tenir compte de cette particularité. Tout d'abord, le réseau piétonnier sera analysé de manière à révéler la présence de coupures urbaines pouvant être sources d'inégalités d'accès selon les usagers. A cet effet, des indices de linéarité et de connectivité évaluent globalement la morphologie du réseau pour déterminer sa capacité à proposer des trajets, linéaires et simples, avec une variété de choix pour se rendre d'un nœud à un autre. Des mesures de l'accessibilité globale au réseau en matière de coût de déplacement (temporel ou énergétique) révèlent ensuite les coupures urbaines présentes dans la ville. Une comparaison selon diverses variables interindividuelles (âge, motricité, utilisation d'une aide au déplacement) permet alors d'identifier l'influence de ces coupures selon les usagers piétons.

Ensuite, la capacité du réseau à accueillir tous types d'usagers est analysée à travers une classification des tronçons selon leurs propriétés et les aménagements urbains susceptibles d'influencer la pratique de la marche. Cette capacité est ensuite évaluée en proposant la création d'un indice d'*accessibilité inclusive*. Pour finir, une mesure d'accessibilité locale approfondit la démarche en localisant et identifiant les obstacles potentiels aux déplacements selon les usagers piétons. A partir de cette mesure, un indice de *potentiel d'accessibilité* est créé de manière à qualifier la capacité d'un espace à être accessible à un usager selon ses capacités de déplacement.

1.1. Identification de coupures urbaines et d'inégalités d'accès selon les usagers

Une analyse de la complexité du réseau et des détours nécessaires pour relier tous les nœuds permet de révéler la présence de coupures urbaines à l'échelle d'un réseau piétonnier urbain entier. A cet effet, les indices de *connectivité* et de *linéarité* mesurent la capacité d'un espace à favoriser des déplacements linéaires et continus.

Indices de connectivité et de linéarité

Un *indice de connectivité* reflète la complexité d'un réseau lorsqu'il offre plusieurs choix pour aller d'un point à un autre. Dès lors, il permet de mesurer le degré d'achèvement d'un réseau ou les possibilités qui demeurent pour l'étoffer [Saelens *et al.*, 2003 : p. 82]. A l'image d'un trajet linéaire, un espace urbain doté

d'une forte connectivité est ainsi favorable aux déplacements piétons puisqu'il garantit des itinéraires avec plus d'alternatives mais aussi plus courts et plus simples [Berrigan *et al.*, 2010]. Il existe plusieurs indices de connectivité [Kansky et Danscoine, 1989 ; Berrigan *et al.*, 2010 ; Hess, 1997 ; Randall et Baetz, 2001]. Pour

analyser un réseau pédestre, nous retiendrons en particulier l'indice *gamma* (γ)^{XXXVIII} qui est utile pour comparer l'influence de la forme de réseaux issus de différents territoires [Berrigan *et al.*, 2010 ; Saelens *et al.*, 2003] ou des sous-ensembles d'un même réseau. Cet indice correspond à un ratio entre le nombre de liens présents et le nombre de liens possibles dont la formule varie selon le type de graphes, *planaires*^{XXXIX} ou *non planaires*.

Pour un graphe planaire :

$$\gamma = \frac{e}{3(v-2)}$$

Pour un graphe non planaire :

$$\gamma = \frac{\frac{e}{v(v-1)}}{2}$$

où

e équivaut au nombre de liens (*edges*)

v équivaut au nombre de nœuds (*vertices*)

Indice de 0 et 1, où la valeur de 1 correspond ainsi à un réseau intégralement connecté quel que soit le nombre de liens. Les valeurs proches de 0 permettent d'identifier les réseaux déconnectés ou en forme d'arbres. En outre, l'indice *gamma* (γ) a le mérite d'être indépendant du nombre de liens (arcs) du réseau, ce qui apparaît très utile pour comparer plusieurs réseaux entre eux. Aux Etats-Unis, des indices *gamma* de 0,45 pour Los Angeles et 0,41 pour San Diego ont été mesurés par David Berrigan *et al.* [2010] mais, à ce jour, il n'est pas encore possible d'effectuer de comparaisons avec d'autres villes européennes.

Il est ensuite possible d'estimer le coût des détours qui caractérise un réseau pédestre en le comparant avec un réseau théorique euclidien (à vol d'oiseau). Pour cela, un *indice de linéarité*^{XL} propose de mesurer les détours en comparant des distances moyennes origine-destination avec des distances moyennes euclidiennes théoriques [Hess, 1997 : p. 63 ; Randall et Baetz, 2011 : p. 3 ; Hérán, 2011 : p. 45] :

XXXVIII Indice Gamma, initialement proposé par Garrison W. et Marble D., 1965 [Kansky et Danscoine, 1989 : p. 104]

XXXIX Un graphe planaire a la particularité de pouvoir se représenter sur un plan sans qu'aucun arc n'en croise un autre.

XL Cet *indice de linéarité* est parfois aussi appelé *coefficient de détour* [Hérán, 2011 : p. 45] ou *PRD* (*Pedestrian Route Directness*) [Hess, 1997 : p. 63 ; Randall et Baetz, 2011 : p. 3].

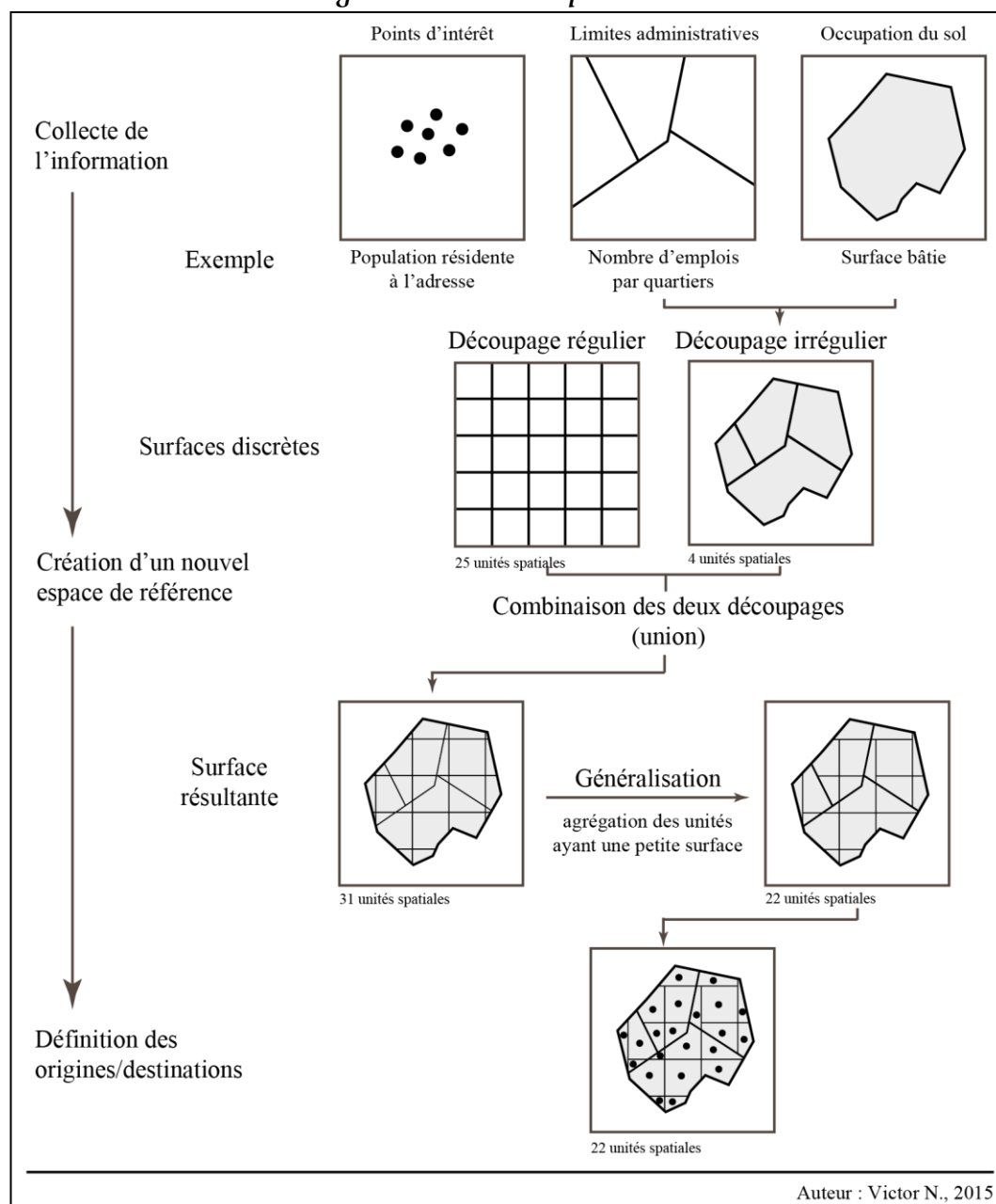
$$\text{linéarité} = \frac{\text{Distance}_{\text{parcourue}}}{\text{Distance}_{\text{euclidienne}}}$$

En partant du principe qu'un usager piéton sera moins disposé à rejoindre une destination si le trajet est inutilement long ou compliqué, un environnement favorisant au maximum les déplacements piétons correspond alors à un indice de linéarité proche de 1, lorsque la distance parcourue est la plus proche possible de la distance euclidienne. Selon les travaux de Frédéric Hérin [2011], l'utilisation de cet indice permet également de différencier les détours moyens *normaux* correspondant à un réseau viaire « bien maillé » – mailles ni trop grandes, ni trop longues –, de ceux *excessifs* conséquents aux coupures urbaines. En milieu urbain, un détour moyen normal est ainsi de 15 à 20 %. « 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 au-delà de 25 % sans provoquer des allongements de parcours dissuasifs pour les non-motorisés » [Hérin, 2011 : p. 44]. Toutefois, si la distance euclidienne est considérée comme un référentiel proposant le chemin optimal désiré pour se rendre d'une origine à une destination, cette méthode demeure limitée puisqu'elle fait abstraction de la dimension matérielle des infrastructures sous-jacentes et des chemins qu'empruntent les usagers. La linéarité peut pour cela être combinée à la connectivité du réseau. Les indices de *linéarité* et de *connectivité* offrent ainsi une première évaluation de la présence de coupures urbaines influençant la marche dans une ville.

Utilisation de points de référence pour représenter le milieu géographique

Mesurer l'accessibilité globale d'un réseau permet ensuite de révéler et de localiser des coupures urbaines et d'évaluer la capacité d'un territoire à accueillir divers types d'usagers piétons. Ce type de mesure est cependant limité par le poids des données à manipuler selon l'échelle d'analyse. Une alternative consiste à utiliser des points de référence adaptés au problème à traiter pour représenter le milieu géographique (cf. figure VI-1).

Figure VI-1 : *Définition de point de référence pour mesurer l'accessibilité globale du réseau pédestre*



Cette méthode a été initialement développée au LISER, pour répondre au besoin du projet ICMA^{XLI}. En partant du principe que les premiers et derniers kilomètres effectués par les usagers sont décisifs puisqu'ils déterminent bien souvent leur choix modal, ce projet visait principalement à soutenir les chaînes de mobilité en offrant de vraies alternatives à la voiture privée. Pour cela, une comparaison était proposée en modélisant et visualisant des temps d'accès selon différents modes (voiture, bus, vélo et marche) au sein de Luxembourg-Ville^{XLII}. L'approche utilisée consiste à définir des points origines/destinations à partir d'un espace de référence créé en

^{XLI} Projet INTERREG IVB NWE ICMA à Luxembourg : <http://icma.ceps.lu/>

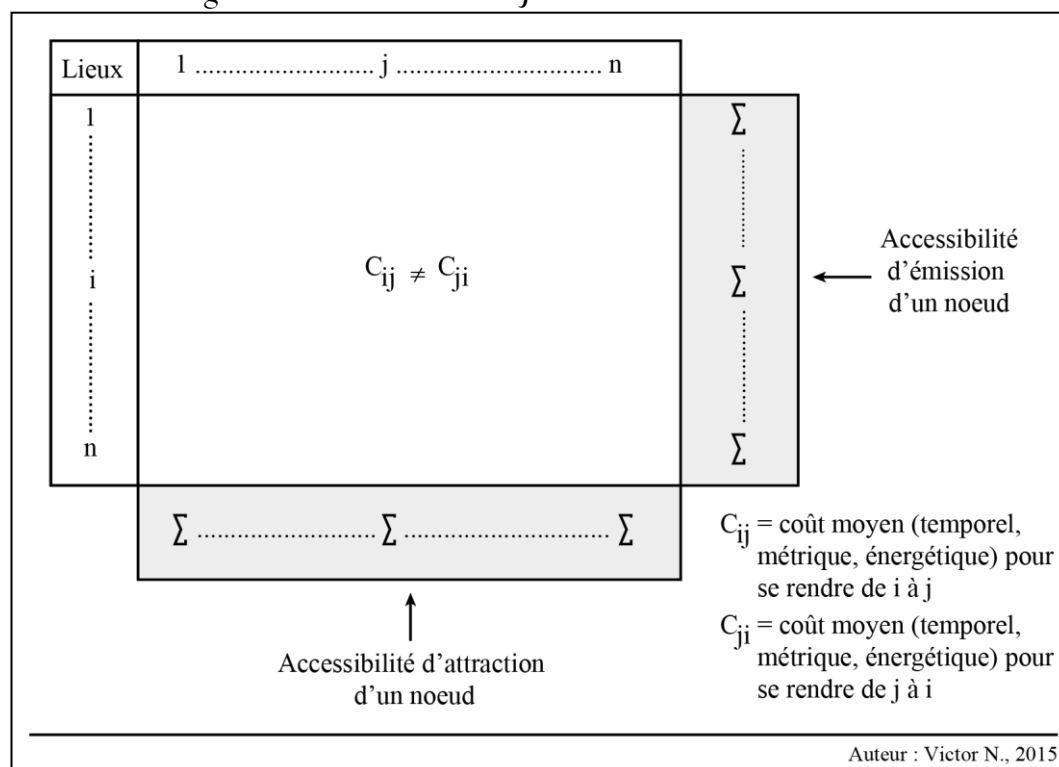
^{XLII} Accessibilité comparée dans la ville de Luxembourg : <http://icma.ceps.lu/interface/index.cfm>

combinant des formes régulières et irrégulières de découpages spatiaux. Dans le cadre d'une étude sur la marche, nous proposons un découpage régulier selon des zones de déplacements piédestres de 200 mètres permettant d'effectuer un aller-retour dans une cellule (un trajet moyen piédestre mesure 386 mètres [Carré et Julien, 2000 : p. 33]) et un découpage irrégulier selon la présence de coupures urbaines (hydrographie, courbes topographiques maîtresses, grandes artères routières et voies ferrées). La combinaison de ces deux découpages permet ainsi d'obtenir des calculs d'accessibilité (temps, énergie) à partir de points de référence avec un écart spatial à la portée du marcheur, tout en tenant compte d'effets de coupures urbaines à petite échelle. Les points de référence sélectionnés mesurent le réseau piéton principal, c'est-à-dire en théorie accessible à tous piétons. Les zones de chemins et sentiers ou les accotements ont donc été exclus du processus.

Mesures d'accessibilité globale au réseau piédestre

Une fois les points de référence déterminés, une matrice d'adjacence peut être construite à partir de coûts nécessaires pour relier tout point à tout point. Ces coûts peuvent être temporels, métriques ou encore énergétiques et varier selon des paramètres interindividuelles utilisés pour les estimer (cf. chap. V-1-1.2).

Figure VI-2 : *Matrice d'adjacence et mesure du réseau*



A partir d'une matrice, il est alors possible d'effectuer des mesures du réseau (accessibilité multipolaire ou globale) ou encore d'un sous-système (accessibilité unipolaire ou locale). L'indice d'accessibilité globale (ou potentielle) est le plus usité pour analyser un milieu intra-urbain [Cauvin, 1998 : p. 84]. Il s'obtient en calculant la somme en ligne des temps d'accès pour chaque lieu de la matrice pour un réseau donné. L'indice traduit ainsi le temps nécessaire pour relier un nœud à tous les

nœuds du réseau. Plus sa valeur est faible, meilleure est l'accessibilité. Une comparaison entre différentes variables interindividuelles peut alors permettre d'identifier la présence d'inégalités spatiales à une échelle *macro* et/ou *méso*. Une analyse spatiale à partir de cartes isoplèthes peut ensuite permettre de localiser les coupures urbaines et leurs influences selon les usagers piétons.

Ces mesures mettent ainsi en avant des facteurs métriques, topologiques et géométriques qui peuvent influencer les déplacements piétons et révéler la présence de coupures urbaines ainsi que leurs influences sur l'accessibilité au réseau selon les usagers piétons. L'analyse des données collectées dans l'audit urbain permet ensuite d'approfondir cette démarche en étudiant la capacité de l'espace à accueillir une grande diversité d'usagers piétons.

1.2. Evaluation de la capacité de l'espace à accueillir une grande diversité d'usagers piétons

Conduire une analyse statistique des données détaillées collectées lors de l'audit urbain offre la possibilité de caractériser les tronçons du réseau en fonction de la présence de propriétés et d'aménagements urbains susceptibles d'influencer favorablement ou défavorablement la pratique de la marche urbaine. Une fois les tronçons caractérisés, une analyse spatiale de leur répartition au sein du réseau permet de localiser les tronçons capables d'accueillir une grande diversité d'usagers piétons et d'identifier les conséquences sur l'accessibilité de configurations potentiellement défavorables pour les autres. La localisation de tronçons favorables à une marche pour tous conduit alors à l'élaboration d'un indice d'*accessibilité inclusive* autorisant des comparaisons avec d'autres réseaux piédestres. Pour approfondir la démarche, une analyse locale à partir d'aires de déplacement permet ensuite d'intégrer le fait que les interrelations usagers-environnement varient selon les caractéristiques physiques des usagers. Les obstacles potentiels de l'environnement sont ainsi localisés et identifiés selon les capacités de déplacement des piétons. La proposition d'un indice local de *potentiel d'accessibilité* complète alors l'évaluation de la capacité de l'espace à accueillir une grande diversité d'usagers piétons par une démarche individualisée.

Qualification du réseau selon son potentiel à accueillir une grande diversité d'usagers piétons

Pour qualifier la capacité du réseau à accueillir une grande diversité d'usagers, il est nécessaire de tenir compte des propriétés et des éléments de l'environnement pouvant avoir une influence potentielle sur leur accessibilité – revêtement, dimensions (largeur, hauteur), texture (élasticité, granulométrie, irrégularité), pente, longueurs de pente forte, dévers et présence d'aménagements handicapés (bateaux, repères podotactiles, rampes, etc.). Nous proposons également d'utiliser des variables supplémentaires qui ne participent pas directement à l'accessibilité mais peuvent avoir une influence secondaire – aménagement urbain (toilette et banc), entretien. Par ailleurs, il est important pour la suite du traitement d'éviter des disparités trop grandes de nombres de modalités

entre les variables. Une agrégation des données ou la création d'un tableau disjonctif, au préalable, peut donc être une solution à envisager. En outre, les variables ordinales seront traitées comme des variables purement nominales pour simplifier le traitement.

Une *analyse des correspondances multiples* (ACM) permet de révéler les relations existantes entre les tronçons en fonction des propriétés et éléments de l'environnement qui les décrivent. A cet effet, elle décrit deux à deux les relations entre des variables qualitatives à travers une représentation des groupes d'individus correspondant aux diverses modalités. L'ACM peut ainsi détecter les axes (ou facteurs) selon lesquels le nuage de points s'éloigne le plus de son centre d'inertie. Ces axes pouvant être la résultante de l'influence d'une ou plusieurs modalités des différentes variables. L'analyse de l'histogramme des premières valeurs propres permet alors de déterminer quels axes factoriels sont à privilégier. Ces axes factoriels peuvent ensuite être essentiellement étudiés en interprétant les modalités actives éloignées de l'origine. De surcroît, les variables supplémentaires permettent de conforter l'interprétation des axes par des variables n'ayant pas contribué à les déterminer.

Suite à l'ACM, une *classification ascendante hiérarchique* (CAH) permet d'obtenir une partition des tronçons aux critères similaires en fonction de la proximité entre les variables. La *méthode d'agrégation de Ward* est ici utilisée pour minimiser la perte d'inertie [Lebart *et al.*, 1995 : p. 170] :

$$\frac{(n_A \times n_B)}{(n_A + n_B)} \times d^2(g_A, g_B)$$

où

A et B équivaut aux deux sous-ensembles ou classes

n_A et n_B équivaut aux masses de respectivement A et $\square$

g_A et g_B équivaut aux éléments de respectivement A et $\square$

Quand les classes A et $\square$ sont agrégées, l'inertie *interclasse* diminue de la quantité n et, par conséquent, l'inertie *intra-classe* augmente. La méthode de Ward consiste à choisir à chaque regroupement le couple de classes qui diminue l'augmentation de l'inertie *intra-classe*. A partir de n éléments à classer (les n tronçons), une matrice de distance est construite. Les deux éléments n les plus proches sont alors identifiés, puis agrégés en un nouvel élément. Une première partition $n - 1$ classes est ainsi obtenue. Une nouvelle matrice de distances qui résulte de l'agrégation est alors construite en calculant les distances entre le nouvel élément et les éléments restants (les autres distances sont inchangées). Le processus est ainsi réitéré (obtention d'une partition avec $n - 2$ classes, etc.) jusqu'à n'avoir plus qu'un seul élément regroupant tous les objets constituant la dernière partition. Le fonctionnement de l'algorithme nous montre donc que les distances (avec ces règles de calcul) n'interviennent que par les inégalités qui existent entre elles [Lebart *et al.*, 1995 : p. 158]. Un arbre hiérarchique (ou dendrogramme) à partir des tronçons du réseau pédestre est ainsi créé et permet d'obtenir une partition en

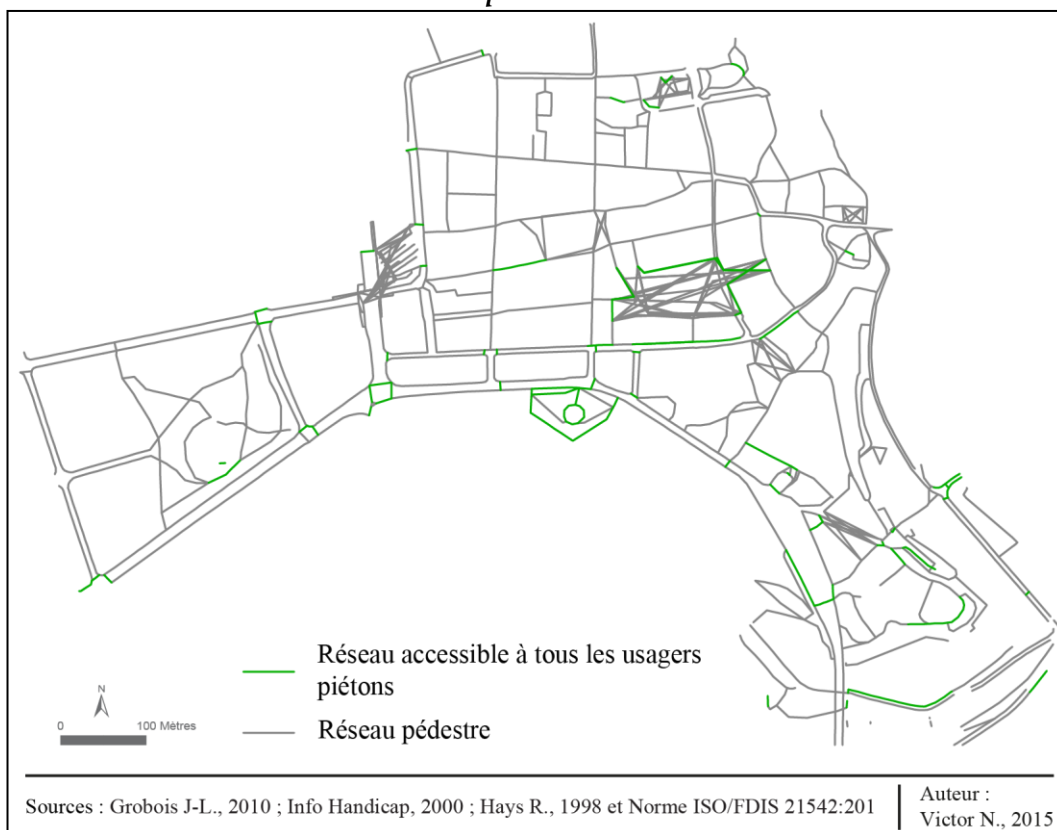
fonction du nombre de classes souhaitées. Cette partition sera d'autant plus fine si la coupure est proche des éléments terminaux. Le nombre de classes varie ainsi selon les données du terrain et doit être déterminé par des tests.

Chaque classe est ainsi caractérisée par un certain nombre de variables pouvant influencer les déplacements piétons. Une fois les tronçons relocalisés dans le système d'information géographique (SIG), il est alors possible de visualiser et d'identifier leurs conséquences potentielles sur la motricité des usagers piétons en fonction des variables caractérisant les classes. Ces conséquences sont estimées à partir d'une revue de littérature sur les normes d'accessibilité préconisées en fonction des usagers (cf. chap. III-2-2.2).

Indice global d'accessibilité inclusive

Une fois les espaces favorables à tous révélés, la création d'un indice d'*accessibilité inclusive* contribue à identifier en quelle proportion le réseau peut accueillir une grande diversité d'usagers. A cet effet, le réseau accessible à tous les usagers piétons est évalué (cf. figure VI-3).

Figure VI-3 : **Mesurer la capacité du réseau à être accessible à tous les usagers piétons**



Un ratio permet d'identifier la part de réseau (en mètres ou kilomètres) proposant des espaces sans conflits d'usages pour une grande diversité d'usagers piétons selon des normes d'accessibilité préconisées en fonction de capacités physiques de déplacements.

$$Accessibilité_{inclusive} = \frac{Réseau_{accessible \text{ à tous}}}{Réseau \text{ pédestre}}$$

où

Réseau_{accessible à tous} équivaut à la distance métrique de réseau capable d'accueillir une grande diversité d'usagers piétons, au même endroit, selon des normes d'accès préconisées

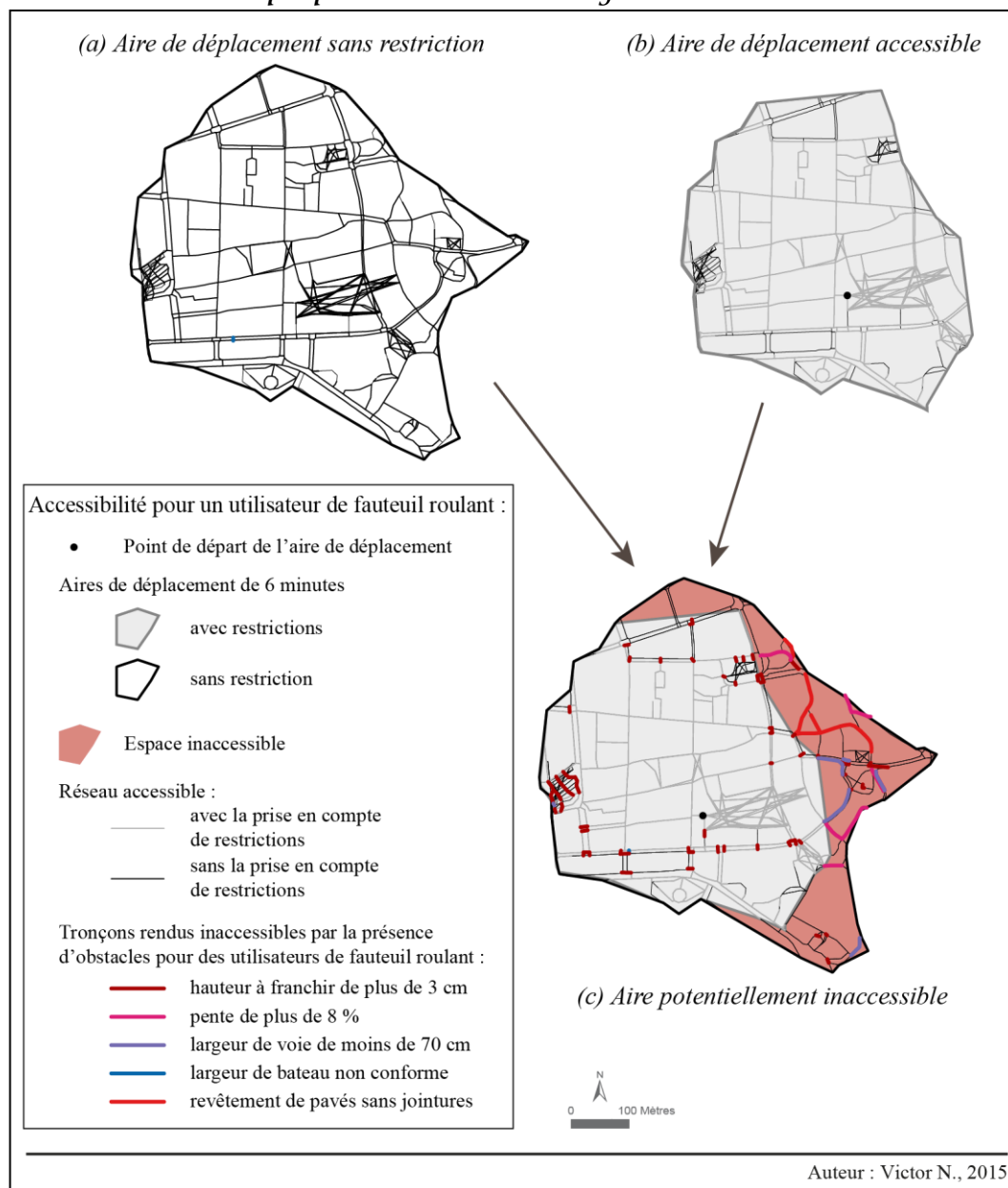
Réseau pédestre équivaut à la valeur métrique totale du réseau pédestre

Indice de 1 à 0, où 0 indique aucune accessibilité possible et 1 une accessibilité totale. Cet indice global autorise ainsi à comparer différents réseaux selon leurs capacités à offrir une accessibilité de qualité et inclusive.

Qualification du réseau selon son potentiel à accueillir un usager en fonction de ses caractéristiques physiques

Pour mesurer l'accessibilité du réseau à partir d'un lieu, des aires de déplacements sont susceptibles d'être calculées pour un coût de déplacement prédéfini (temporel, métrique, énergétique). Ce coût peut être établi en fonction de profils de vitesses ou de consommation énergétique (cf. chap. V-1-1.1) mais aussi de restrictions (cf. chapitres V-1-1.2 et V-2-2.2). Comparer une aire de déplacement calculée selon des restrictions avec une aire basée uniquement sur la vitesse permet alors de localiser et d'identifier les obstacles potentiels au déplacement issus de la relation usagers-environnement (cf. figure VI-4).

Figure VI-4 : *Identifier des obstacles potentiels aux déplacements piétons : exemple pour un utilisateur de fauteuil roulant*

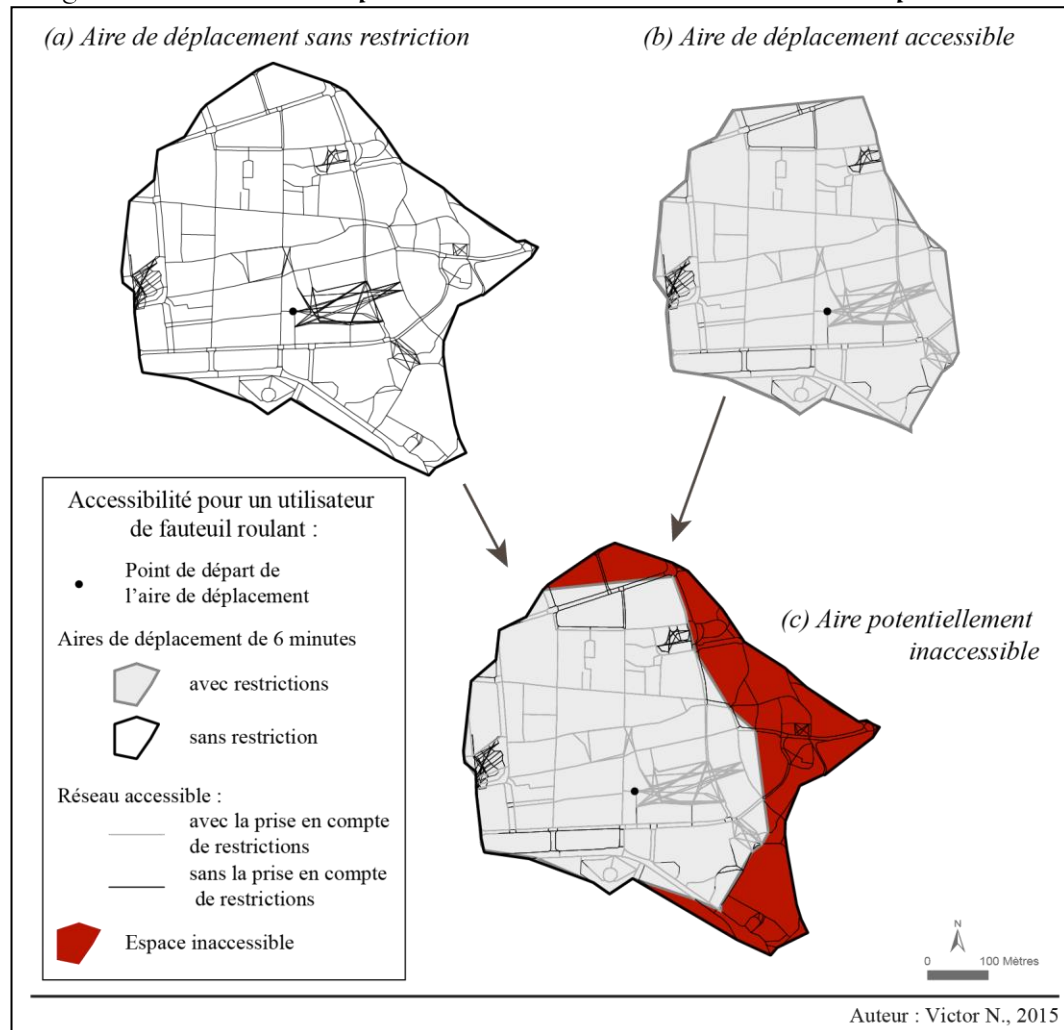


L'exemple s'appuie sur un profil de restrictions et de vitesses construit pour des utilisateurs de fauteuil roulant. Une comparaison entre des aires de déplacement accessibles en six minutes à partir d'un lieu permet non seulement de localiser les tronçons du réseau rendus inaccessibles par la présence d'obstacles mais aussi d'identifier les éléments et propriétés à l'origine de ces restrictions.

Indice local de potentiel d'accessibilité

Sur cette base de comparaison, un indice de *potentiel d'accessibilité* est ensuite créé pour comparer différents environnements urbains et leurs capacités à accueillir différents types d'usagers piétons. Pour cela, l'aire potentiellement inaccessible est mesurée (cf. figure VI-5).

Figure VI-5 : *Mesurer le potentiel d'accessibilité d'une aire de déplacement*



Un ratio entre l'aire tenant compte d'un profil de restrictions et celle sans ce profil permet d'évaluer quelle part de l'espace urbain est accessible à un usager piéton selon ses capacités physiques de déplacement.

$$Potentiel_{accessibilité} = \frac{Aire_{avec restrictions}}{Aire_{sans restriction}}$$

où

Aire_{avec restrictions} équivaut à une aire de déplacement, à partir d'un point, en un temps donné et respectant un profil de restriction

Aire_{sans restriction} équivaut à une aire de déplacement, à partir d'un point, en un temps donné sans restriction

Indice de 0 à 1, où 0 indique aucune accessibilité possible et 1 une accessibilité totale à l'aire potentielle de déplacement. Cet indice local vient ainsi compléter celui global évaluant la part du réseau à accueillir une grande diversité d'usagers piétons au même endroit.

Les analyses du réseau, conduites à différentes échelles, permettent ainsi d'élaborer des *scénarii* d'accessibilité dans différents contextes en faisant varier le temps ou l'énergie nécessaires, les capacités de déplacement ou encore les conditions météorologiques. Ces comparaisons introduisent ainsi la notion de faisabilité à travers l'analyse de l'accessibilité. Une fois la faisabilité et l'accessibilité prises en compte, une analyse des autres conditions, que cherche à satisfaire le piéton dans son choix d'itinéraires, permet de poursuivre l'évaluation de la capacité d'un espace à susciter les déplacements piétons.

2. Evaluation de la qualité du réseau et du design urbain

Si la faisabilité et l'accessibilité sont deux conditions primordiales à remplir dans le processus de déplacement, un ensemble d'autres critères jouent également un rôle important expliquant non seulement les choix d'itinéraires mais aussi les réactions individuelles. Une analyse des dimensions construites et sensibles de l'environnement urbain permet alors de révéler l'influence de facteurs métriques, topologiques, géométriques, fonctionnels, environnementaux et paysagers sur la perception de l'utilisateur quant à la qualité du réseau et du design urbain. ***Néanmoins, comment mesurer objectivement des données a priori subjectives à partir d'éléments concrets de l'environnement urbain ?*** A cet effet, nous proposons de nous concentrer, dans cette thèse, sur trois conditions que cherchent à remplir les individus autres que la faisabilité et l'accessibilité : l'*utilité des lieux*, le *confort environnemental* et *physique* et le *plaisir des sens*. Premièrement, une analyse de la fonctionnalité de la ville et de l'intérêt de quartiers/voisinages permet de caractériser les lieux selon leur attractivité. Deuxièmement, la qualité environnementale et paysagère est mesurée à travers la présence d'un ensemble d'éléments de l'environnement. Si la plupart de ces mesures permettent de qualifier un réseau piétonne à une échelle globale, nous proposons ici de les présenter dans une perspective locale pour pouvoir effectuer des comparaisons au sein du réseau piétonne.

2.1. Fonctionnalité et intérêt du réseau piétonne

Dans le cadre des mobilités quotidiennes, les usagers piétons visent à accéder dans les conditions les plus favorables à un certain nombre d'aménités (école, administration, commerce, etc.). Ils prêtent une attention particulière à l'*utilité des lieux* qu'ils évaluent en fonction de la capacité de l'environnement à répondre aux besoins quotidiens (shopping, alimentation, divertissement, etc.) et à la qualité des biens et des services proposés (cf. chap. III-1-1.1). Pour répondre à ce critère d'utilité, les lieux doivent donc être à la fois attractifs et fonctionnels pour susciter les déplacements piétons. Le milieu géographique est alors évalué selon la demande et les sites potentiels d'offre. Toutefois, la forme du réseau modifie les localisations et l'efficacité du système spatial mais aussi la répartition de la demande entre les aménités, la taille des aires de marché et l'équité entre les demandeurs [Béguin et Thomas, 1997]. Une évaluation locale du réseau piétonne permet alors d'identifier si les déplacements de la demande vers l'offre (ou inversement) sont fonctionnels et attractifs. Pour cela, nous proposons un indice de proximité aux aménités dont la

mesure concilie distance (métrique, temporelle, énergétique) et capacité d'attraction des sites. Ensuite, une qualification de l'intérêt des lieux est proposée à travers la mixité et la diversité de l'offre. Enfin, la capacité d'un espace à générer des transits piétonniers et, par conséquent, de disposer d'un potentiel d'interactions entre les usagers est évaluée à partir de la densité de population résidentielle.

Indice local de proximité aux aménités

Dans ce contexte, l'accessibilité aux aménités est déterminée par la répartition spatiale des destinations potentielles (ou globales), la facilité d'atteindre chaque destination et par l'ampleur, la qualité et le caractère des activités qui s'y trouvent [Handy et Niemeier, 1997 : p. 1175]. Afin de mesurer l'accessibilité à des aménités, un indice local *de proximité aux aménités* permet de concilier distance (métrique, temporelle, énergétique) et capacité d'attraction des sites, grâce à une pondération. Pour cela, la littérature considère que les piétons ont une tolérance de 12-13 minutes en moyenne pour rejoindre une aménité entièrement à pied alors qu'elle n'équivaut en moyenne qu'à six minutes lorsqu'elle complète d'autres modes de transport [Carré et Julien, 2000 : p. 40 ; Papon, 2003 : p. 79].

Une fois l'aire de déplacement identifiée, les aménités présentes sont considérées selon leur attractivité. Ce qualificatif peut être défini « comme la capacité que possède un sujet pouvant être une personne, un groupe de personnes, un objet ou un groupe d'objets, à attirer vers lui d'autres sujets, à induire un mouvement ou plusieurs dans sa direction » [Cauvin, 1998 : p. 79]. Néanmoins, une concentration d'aménités de même nature peut être considérée différemment selon le contexte. Par exemple, si la présence de plusieurs arrêts de bus peut effectivement offrir un potentiel de destinations multiples attractif, elle peut également être considérée comme une source de nuisances (pollution, sécurité) lorsqu'un déplacement intermodal n'est pas désiré. Pour d'autres commodités, n'ayant besoin d'en fréquenter qu'une seule, les usagers les sélectionnent selon la distance la plus proche ou par routine. Une fois son médecin généraliste choisi, un patient ira plutôt chez le même par confiance ou par habitude. La capacité d'attraction d'une aménité peut donc varier selon les besoins et les habitudes (routine, confiance en une société, abonnement) des usagers piétons mais aussi en fonction de l'objectif de déplacement.

Dès lors, afin d'obtenir une mesure constante et objective de l'attractivité, Guillermo Gutierrez [2014] et Olivier Klein *et al.* [2015a] proposent d'utiliser la fréquence de visites de l'aménité selon sa nature en s'appuyant sur les travaux de Maxime Frémond [2012] [(cf. tableau VI-1).

Tableau VI-1 : *Fréquence de visite d'aménités en milieu urbain*

Aménités		Fréquence
Transport public	Arrêt de bus et gare	Quotidienne
Commerces	Supermarché, épicerie, station-service, boulangerie et pâtisserie, tabac et kiosque	
	Coiffeur, boucherie et charcuterie	Hebdomadaire
Restauration	Restaurant, café et brasserie	
Banque	Banque, distributeur et poste	
Services médicaux	Médecin généraliste et pharmacie	
	Hôpital, médecin spécialiste et dentiste	Mensuelle ou plus rare
Espaces culturels	Bibliothèque, cinéma, théâtre et salle de concert	
Equipements sportifs	Salle de sport, gymnase et piscine	Hebdomadaire
Espaces verts	Parc urbain	

Sources : Gutierrez G., 2014 ; Frémond M., 2012 | Mise en page : Victor N., 2015

Trois fréquences de visite sont ici considérées (quotidienne, hebdomadaire, mensuelle). Elles ont originellement été déterminées par Maxime Frémond [2012] de manière à refléter au mieux la distribution en commerces, services, espaces verts et de loisirs au Luxembourg. Des pondérations sont alors proposées selon leur fréquentation (cf. tableau VI-2).

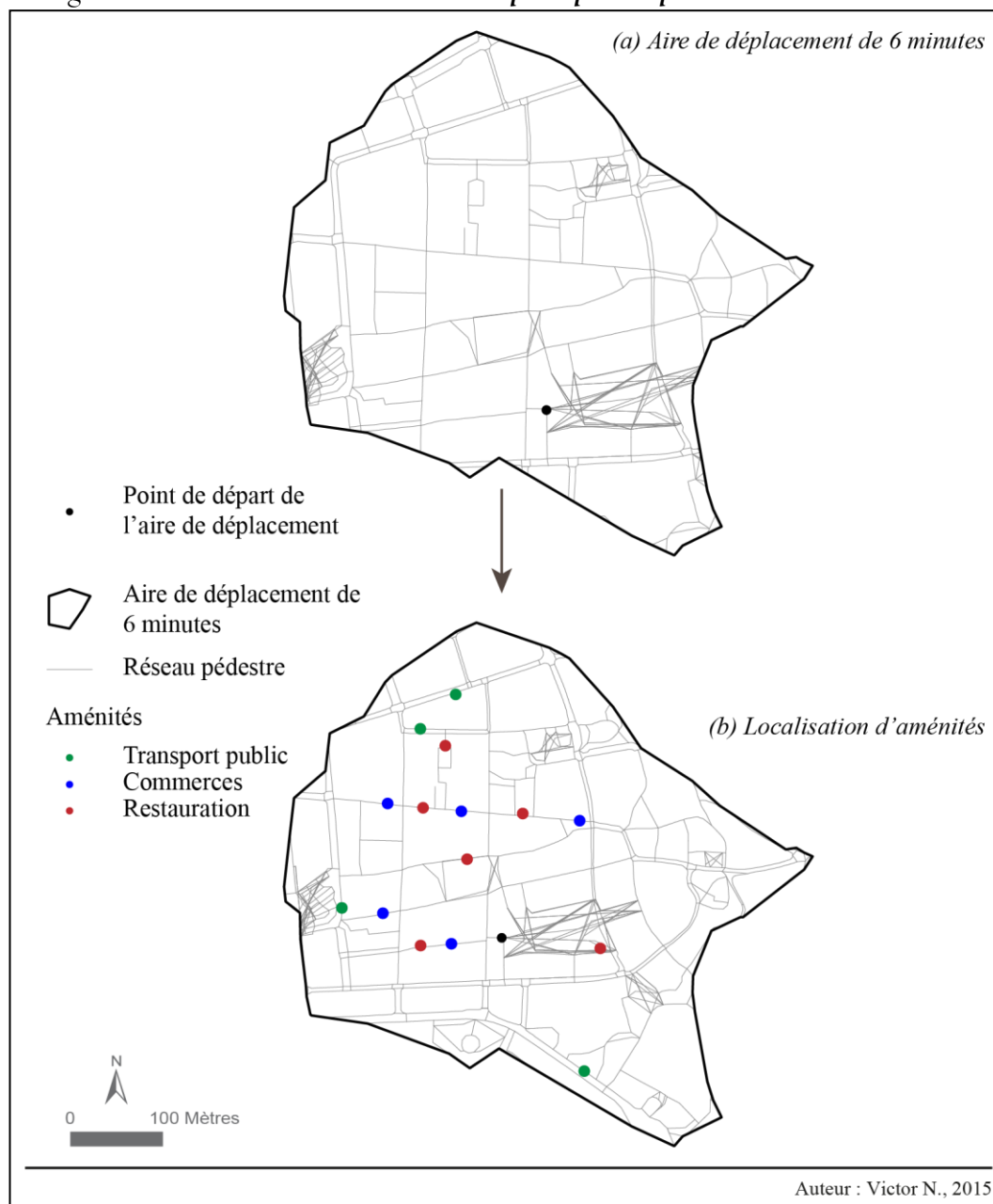
Tableau VI-2 : *Pondérations par fréquence de visite d'aménités*

Fréquentation	Poids
Quotidienne	30
Hebdomadaire	20
Mensuelle ou plus rare	10

Auteur : Victor N., 2016

Une fois l'aire de déplacement et la fréquence de visites déterminées, un indice de proximité aux aménités peut être développé pour évaluer l'utilité d'un espace. Tout d'abord, les aménités sont localisées (cf. figure VI-6).

Figure VI-6 : *Mesurer l'utilité d'un espace par la proximité aux aménités*



L'utilité des lieux étant un critère requis par les usagers piétons lors de leur mobilité quotidienne, le ratio fréquence/distance mesurée selon les plus courts chemins qui est proposé par Olivier Klein *et al.* [2015a] permet ensuite d'interpréter un potentiel de concentration d'aménités accessibles offrant une première indication sur l'aspect fonctionnel de l'espace.

$$\sum_k \left(\frac{w_k}{D_k} \right)$$

où

w_k équivaut au poids de l'aménité k où la fréquentation quotidienne correspond à 30, celle hebdomadaire à 20 et celle mensuelle à 10

D_k équivaut à la distance (temps de trajet en minutes) à l'aménité k

Indice de 0 à 1, où 0 indique aucune aménité à proximité et 1 une concentration maximale d'aménités à proximité.

Toutefois, pour susciter l'intérêt et être considéré comme fonctionnel, un espace doit pouvoir également proposer une offre diversifiée.

Indice de mixité et diversité

L'appréciation du caractère fonctionnel d'un espace peut être modifiée par l'objectif du déplacement et selon que les activités sont libres ou imposées (cf. chap. III-1-1.2). Un espace a donc plus de chance d'être considéré comme fonctionnel en offrant une occupation du sol dense, diverse et mixte. En complément des mesures de proximités, la diversité et la mixité des aménités peuvent être mesurées à travers un indice de *diversité de l'occupation du sol*, parfois aussi appelé *score d'entropie (entropy score)* [Frank et al., 2009 : p. 928 ; Ewing et Cervero, 2010 : p. 267 ; Forsyth et al., 2008].

A partir des travaux de Lawrence Frank *et al.* [2009 : p. 928], Guillaume Gutierrez [2014] et Olivier Klein *et al.* [2015a] proposent un indice permettant d'identifier non seulement la distribution d'activités dans une aire de déplacement mais aussi la mixité d'occupation du sol.

$$Diversité_{occupation\ du\ sol} = \frac{-\sum_k (p_k \times \ln p_k)}{\ln T_k}$$

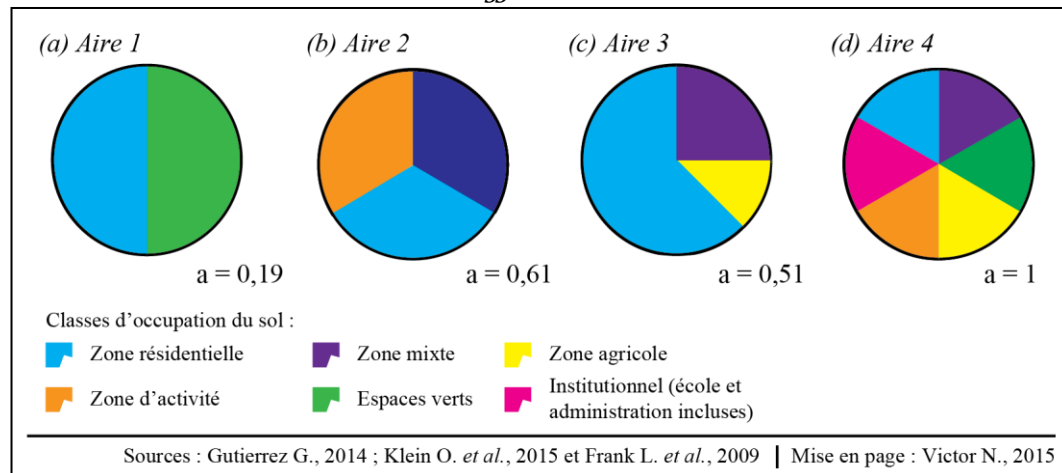
où

p_k équivaut au pourcentage de sol occupé k

T_k équivaut au nombre de classes utilisées dans l'étude

Indice de 0 à 1, où 0 implique une spécification de service sur l'ensemble de la zone et 1 une distribution homogène entre les N classes d'occupation du sol. L'étude de la répartition théorique de l'occupation du sol peut alors permettre de qualifier certaines fonctions d'un quartier (cf. figure VI-7).

Figure VI-7 : Répartition théorique de l'occupation du sol pour quatre aires différentes



Si l'aire 4 propose ainsi une occupation du sol hétérogène avec une grande diversité d'activités, celle de l'aire 1 se révèle plus homogène avec une spécialisation du territoire pour des fonctions résidentielles.

Les informations sur la diversité d'occupation du sol viennent ainsi compléter celles sur la proximité aux aménités de manière à qualifier des espaces (voisinage, quartier) selon leur fonctionnalité. Pour finir, la présence de population peut également contribuer à l'impression d'utilité d'un espace en révélant sa capacité à générer des transits piétonniers et un potentiel d'interactions entre les usagers.

Indice de densité de population

Une densité de population est toujours mesurée selon une variable d'intérêt par unité de surface – personnes, maisons, aménités, travailleurs, etc. Pour Anne Forsyth *et al.* [2008 : p. 1977], la viabilité des transits piétons est corrélée à la densité de population présente dans un espace. Ils considèrent également que la densité résidentielle peut représenter une masse critique de personnes ou encore augmenter la congestion automobile et les frais de stationnement, incitant les usagers à privilégier le mode piéton à la voiture individuel. L'utilisation d'un *indice de densité de population* peut également rendre compte d'un sens physique de la communauté présente dans un espace et donc, par dérivé, de l'utilité des lieux. Une première mesure en fonction de la population résidentielle dans un espace est ainsi utilisée.

$$Densité_{population} = \frac{T_k}{A}$$

où

T_k équivaut au total de la population à l'adresse dans l'aire de déplacement

A équivaut au total de l'aire de déplacement

De manière à différencier les zones résidentielles des zones d'activités, Reid Ewing et Robert Cervero [2010 : p. 267] suggèrent l'addition d'une variable « nombre

d'emplois » à celle de la « population » pour calculer une densité globale de l'activité par unité de surface.

$$Densité_{population} = \frac{T_k + T_e}{A}$$

où

T_k équivaut au total de la population à l'adresse dans l'aire de déplacement

T_e équivaut au total d'employés dans l'aire de déplacement

A équivaut au total de l'aire de déplacement

Mesurer l'activité d'un lieu permet ainsi d'évaluer le potentiel de transits. Toutefois, la précision spatiale pour localiser la population ou le nombre d'emplois peut différer selon les sources et les pays. Ce critère ne peut donc pas toujours être pris en compte^{XLIII}. L'un ou l'autre indice offre alors une alternative en fonction des données à disposition.

En fin de compte, bien que la perception de l'*utilité des lieux* demeure dépendante du contexte de déplacement et de la capacité de déplacement des usagers piétons, l'aspect fonctionnel d'une aire peut être qualifié par un ensemble d'indices (proximité, diversité, densité). Une utilisation à l'échelle locale de ces indices offre alors la possibilité de comparer la capacité de différents espaces au sein d'un même réseau piétonne à être considérés comme utiles.

2.2. Evaluation de la qualité environnementale et paysagère perçue

Les qualités environnementales et paysagères encouragent le déplacement piéton et peuvent influencer les perceptions de confort *environnemental* et *physique*, de *plaisir des sens*, voire même le *sentiment de sécurité* sous certains aspects (chap. III-1-1.2). Un environnement de qualité, voire idéal, est globalement décrit, dans la littérature, comme bien entretenu, avec un bâti dense, divers et mixte, des rues arborées et pourvues d'aménagements paysagers et, enfin, présentant un intérêt visuel [Zacharias, 2001; Piombini et Foltête, 2007]. En conséquence, nous proposons de nous concentrer sur la répartition de la végétation et sur la qualité du design urbain pour compléter les mesures sur la mixité et la diversité du bâti présentées ci-dessus. A cet effet, un premier indice de *verdure* renseigne sur l'implantation d'aménagements paysagers contenant une forte présence de végétation [Klein *et al.*, 2015a]. Ensuite, l'identification d'une série d'éléments concrets de l'environnement permet d'effectuer une mesure de la *qualité du design urbain* [Ewing et Handy, 2009].

Indice de verdure

La présence de végétation est considérée dans la littérature comme un critère de qualité environnementale et paysagère [Lo, 2009 ; Southworth, 2005].

^{XLIII} Au Luxembourg, le nombre d'emplois n'est disponible que par canton ou par commune.

Un indice de *verdure*, créé par Guillermo Gutierrez [2014] et Olivier Klein *et al.* [2015a], propose d'évaluer son implantation (présence et densité) autour d'un réseau piétonnier à partir d'une combinaison d'images satellite et d'outils d'analyse spatiale fournis dans un SIG. Leur méthode s'appuie sur l'utilisation de données de réflectances issues d'images *Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper* (ETM)^{XLIV} pour obtenir un *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI).

$$SAVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red + L)} \times (1 + L)$$

où

Red équivaut à la bande de réflectance rouge

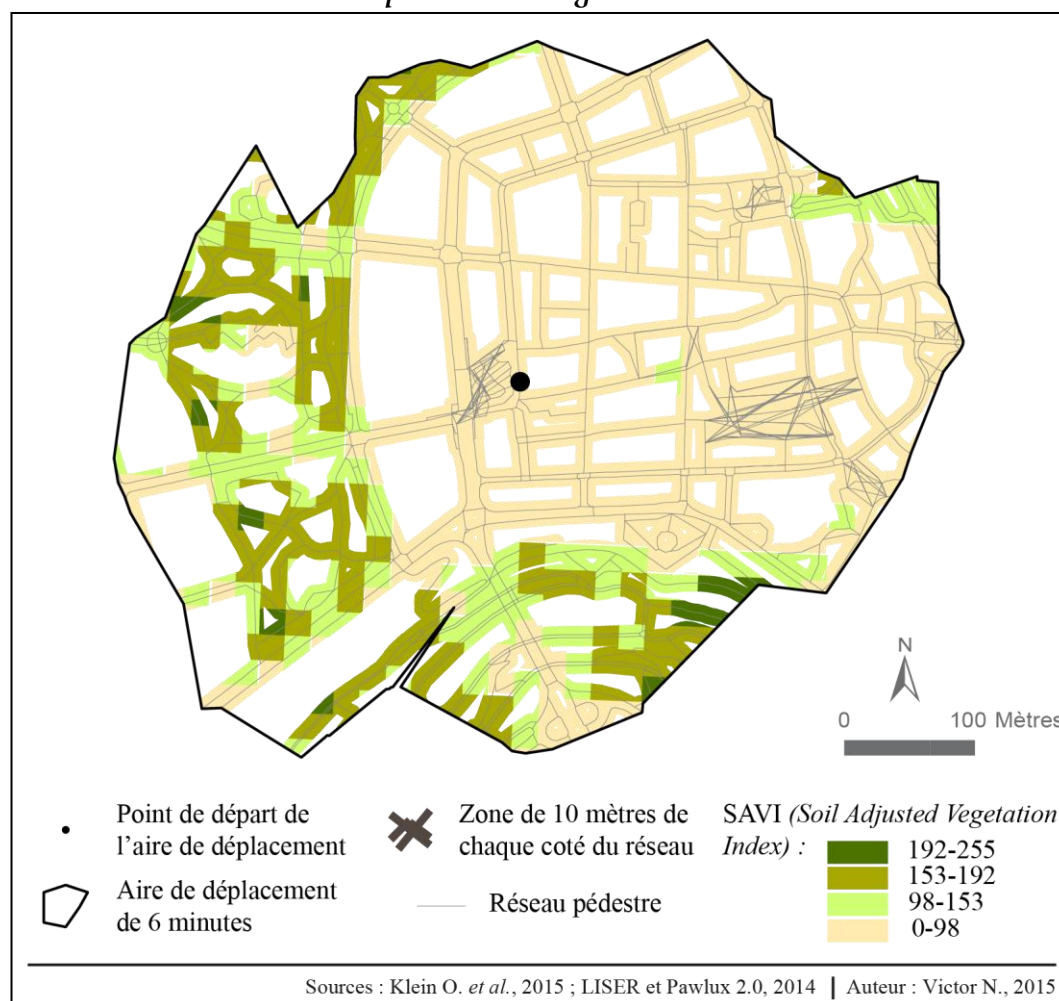
NIR équivaut à la bande de réflectance du proche infrarouge

L équivaut au facteur de correction du sol (0,5)

A l'aide de ce dernier, quatre classes sont proposées pour identifier les densités de végétation dans une aire de déplacement. Des zones tampons de 10 mètres de part et d'autre du réseau piétonnier sont alors utilisées de manière à identifier des aires d'influence potentielle de la végétation sur le déplacement piéton (cf. figure VI-8).

^{XLIV} Imagerie Landsat fournie par l'*U.S. Geological Survey*, effectuée en juillet 2013 sans couverture nuageuse sur l'ensemble de l'aire.

Figure VI-8 : *Mesurer la qualité environnementale et paysagère par la présence de végétation*



Cette distance de 10 mètres permet de tenir compte de la végétation sur les tronçons traversés mais aussi dans un environnement visuel proche. Elle offre ainsi une première estimation de l'influence de la végétation sur le déplacement comme l'apport d'ombrage ou la « sensation de vert » et pourra être affinée par l'intervention de spécialistes issus de la psychologie environnementale ou des sciences cognitives, dans un futur proche. Une fois la répartition de la végétation évaluée, une pondération est ensuite déterminée pour chaque classe de densité de végétation (cf. tableau VI-3).

Tableau VI-3 : *Pondérations selon la densité de végétation*

SAVI	Description	Poids
> 192	Végétation dense et vigoureuse	1
153-192	Végétation modérément dense	0,5
98-153	Végétation éparse	0,25
< 98	Aire minérale	0

Auteur : Victor N., 2016

Enfin, la répartition de la végétation, pondérée par la densité de végétation, permet de proposer un indice de *verdure* offrant une première idée de la capacité d'un espace à fournir un environnement de qualité.

$$Verdure = \sum \frac{(Aire_k \times W_k)}{Aire_{influence\ végétation}}$$

où

$Aire_k$ équivaut à la surface de végétation de la classe k

W_k équivaut au poids de la classe k de densité de végétation

Indice de 0 à 1, où 0 indique un espace minéral sans végétation et 1 un espace avec une présence forte de verdure.

Si cette technique est efficace pour révéler des îlots de verdure en milieu urbain, elle rencontre des limites à une échelle très détaillée où la présence d'arbres isolés n'est pas systématiquement détectée par les images satellite. Leur contribution à la perception de verdure dans un milieu intra-urbain est pourtant conséquente. Pour aller plus loin, nous proposons de tenir compte de leur présence dans une évaluation de la qualité de design urbain qui vient compléter nos indices.

Evaluer la qualité du design urbain

Qualifier un espace selon son agrément environnemental et paysager nécessite également de se pencher sur les éléments de l'environnement qui peuvent susciter un intérêt paysager. La notion d'intérêt est cependant extrêmement subjective. En solution, Reid Ewing et Susan Handy [2009] suggèrent de mesurer des qualités apparemment subjectives de l'environnement en se concentrant sur la *qualité du design urbain* (cf. chap. III-1-1.2). Une classification d'éléments concrets de l'environnement en fonction de ces caractéristiques permet alors d'obtenir des données objectives à mesurer quant à la capacité du design urbain à contribuer favorablement à la pratique de la marche (cf. tableau VI-4).

Tableau VI-4 : *Éléments de l'environnement influençant la perception de la qualité du design urbain*

	Qualité du design urbain				
	Image	Fermeture	Echelle humaine	Transparence	Complexité
Élément de l'environnement	Nombre de personnes sur la voie	Proportion de voies longeant un mur*	Nombre de longues visibilité	Proportion de fenêtres au premier étage	Nombre de personnes sur la voie
	Proportion de bâtiments remarquables*	Proportion de voies avec murs en face	Nombre de mobilier urbain*	Proportion de vitrines*	Nombre de bâtiments colorés
	Nombre de cours, places et parcs*	Proportion de ciel visible dans la rue	Proportion de fenêtres au premier étage	Proportion de voies longeant un mur*	Nombre de bâtiments*
	Nombre de terrasses*	Nombre de longues visibilité	Hauteur du bâti		Nombre de terrasses*
	Nombre de bâtiments avec silhouettes non rectangulaires	Proportion de ciel visible au-dessus de la tête	Nombre d'arbres isolés et de pots de fleurs*		Nombre d'éléments colorés
	Nombre de points de vue paysagers*	Proportion de trottoirs de plus d'1,50 m*			Nombre d'œuvres d'art*
	Nombre d'enseignes publicitaires				Nombre de mobiliers urbains*
* Données prises en compte dans l'analyse du terrain luxembourgeois					
Source : Ewing R. et Handy S., 2009 Auteur : Victor N., 2015					

Une sélection des éléments de l'environnement les plus significatifs pour chaque caractéristique permet ainsi de proposer une évaluation. Bien que certains d'entre eux ne puissent encore être mesurés comme c'est le cas, par exemple, de la proportion de ciel au-dessus de la tête ou celle visible dans la rue qui requiert une analyse spatiale de données 3D, des recherches sont en cours sur ce domaine [Suleiman *et al.*, 2011 ; Brossard *et al.*, 2008] et pourront permettre de les intégrer à notre évaluation, à l'avenir.

L'évaluation de la proportion de tronçons abritant ces éléments par rapport au réseau piétonnier accessible dans l'aire de déplacement permet dès lors de proposer une mesure de la qualité du design urbain.

$$\text{Qualité du design urbain} = \sum \frac{L_k}{L_{max}}$$

où

L_k équivaut à la longueur du tronçon où l'élément est localisé

L_{max} équivaut à la longueur totale du réseau piétonnier accessible dans l'aire de déplacement

Indice entre 0 et 1, où 0 équivaut à une qualité de design urbain pauvre et 1 un environnement remarquable.

Une analyse des entretiens effectués avec les usagers du territoire étudié permet ensuite de créer une hiérarchie de préférences (cf. chap. V-3-3.2) révélant l'importance qu'accordent les usagers à chaque caractéristique (image, fermeture, échelle humaine, transparence, complexité) et aux éléments les décrivant.

$$\text{Qualité du design urbain}_{pondéré} = \frac{\sum (\frac{L_k}{L_{max}} \times W_k)}{N}$$

où

L_k équivaut à la longueur du tronçon où l'élément est localisé

L_{max} équivaut à la longueur totale du réseau piétonnier accessible dans l'aire de déplacement

W_k équivaut au poids de l'élément k présent sur le tronçon

N équivaut à $W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n$

Indice entre 0 et 1, où 0 équivaut à une qualité de design urbain pauvre et 1 un environnement remarquable en considérant l'attractivité des éléments.

Une analyse des espaces urbains est ainsi rendu possible pour considérer leurs attractivités en matière de qualité environnementale et paysagère perçue.

Au final, de nombreuses méthodes permettent de qualifier et de localiser les facteurs *métriques*, *de connectivité*, *de linéarité*, *fonctionnels* ou encore *environnementaux* et *paysagers* qui peuvent susciter les déplacements piétons. Parmi ces méthodes, l'utilisation et la création d'indices permettent de mesurer localement et/ou globalement des espaces urbains et de pouvoir les comparer. Dès lors, la mise en place d'un indicateur synthétique d'évaluation de la voirie peut être imaginée à partir des indices évoqués et constituer un outil efficace pour qualifier la capacité d'un territoire à proposer des configurations spatiales favorables à la pratique de la marche.

3. Création d'un outil de diagnostic de la capacité d'un espace à proposer équitablement des configurations favorables à la marche pour une grande diversité d'usagers piétons

La mise en place d'un modèle de déplacement piéton s'appuyant sur la théorie des graphes et une approche par *objets vecteurs* dans un SIG offre de nombreuses possibilités d'analyse d'un réseau piédestre. Une démarche d'aide à la décision multi-échelle peut alors être mise en place et proposer non seulement des évaluations de la voirie piétonne pour les aménageurs et associations mais aussi des préconisations d'itinéraires s'adressant à une grande diversité d'usagers piétons. Toutefois, cette tentative soulève de nombreuses problématiques. *Tout d'abord, comment proposer aux aménageurs des diagnostics de l'espace urbain synthétiques et reproductibles ? Ensuite, comment satisfaire les besoins de flexibilité que requiert la prise en compte des interrelations usagers-environnement lors des préconisations d'itinéraires ?* Dans un premier temps, un *Indice Synthétique de Walkability* (ISW) est créé et propose deux variantes : une adressée à la version générique du réseau piédestre et une autre pour celle spécifique à un terrain. Cet indice se présente dès lors comme un outil de diagnostic de la capacité d'un espace à proposer des configurations favorables à la marche. Il permet également d'effectuer des différentiels selon les usagers piétons à partir d'un *score d'inclusion* évaluant si la configuration de l'espace propose un service équitable (accès aux aménités, qualité paysagère et du réseau piédestre, etc.). Dans un second temps, le développement d'un prototype d'interface utilisateur de type embarqué ouvre sur de nombreuses perspectives en tant qu'outil d'aide à la décision ayant la capacité d'évoluer, voire d'interagir quasiment en temps réel.

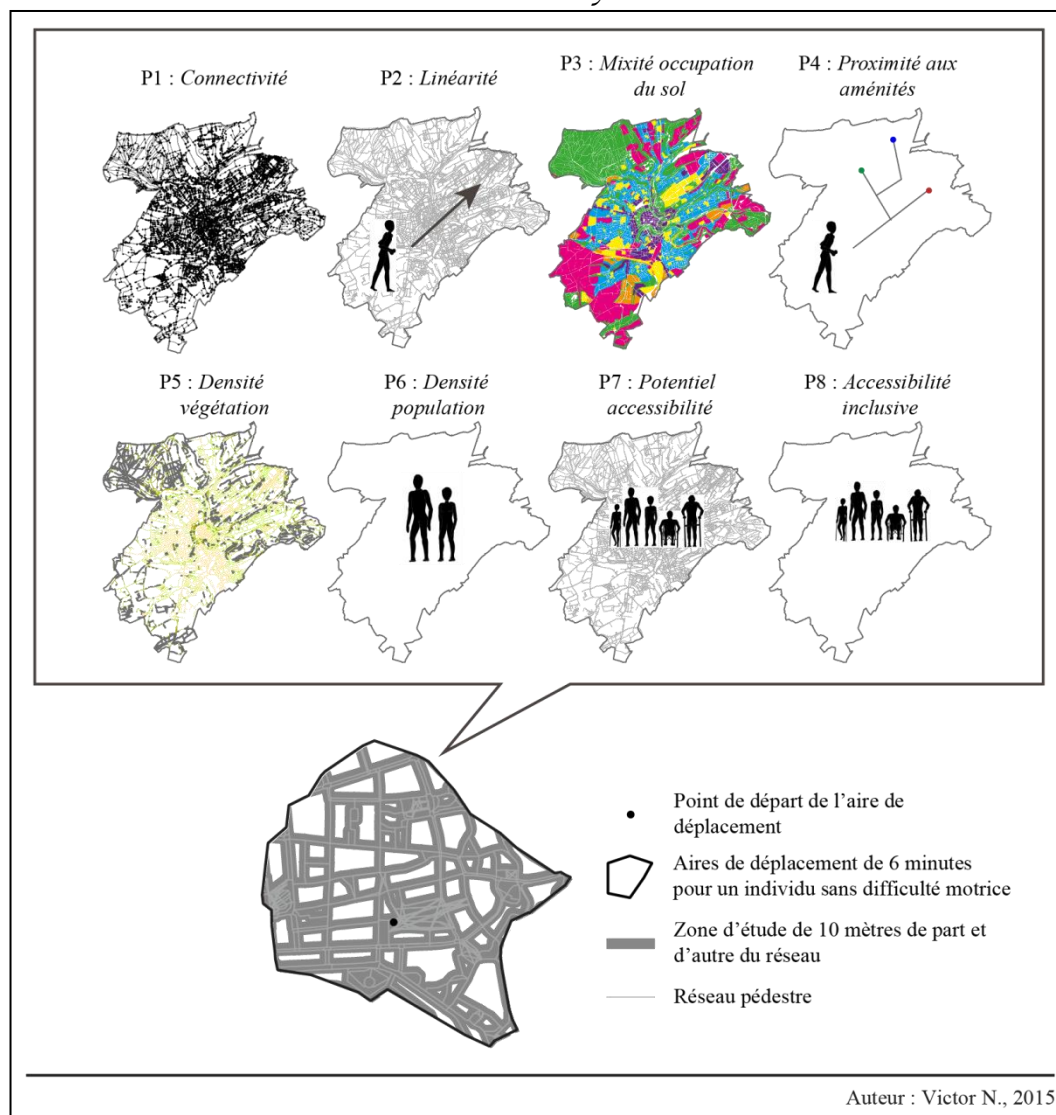
3.1. Un indice synthétique et inclusif de walkability

Les aires de déplacement accessibles à partir d'un lieu varient selon les interrelations usager(s)-environnement. Les mêmes espaces pouvant créer des conflits d'usages (cf. chap. III-2-2.3), le développement d'une mesure de *walkability* doit non seulement diagnostiquer la capacité d'un espace à favoriser la marche mais aussi mesurer son potentiel à répondre de manière équitable à la demande des usagers lors de leurs déplacements piétons, en d'autres termes à être *inclusif*.

En s'inspirant des travaux^{XLV} d'Olivier Klein *et al.* [2015a], notre méthodologie de création d'un *Indice Synthétique de Walkability* (ISW) intègre un ensemble de mesures permettant d'identifier et de localiser des configurations spatiales favorables à la marche. A cet effet, huit indicateurs sont utilisés : *connectivité, linéarité, mixité de l'occupation du sol, proximité aux aménités, densité de la végétation, densité de la population, potentiel d'accessibilité et accessibilité inclusive* (cf. figure VI-9).

^{XLV} Les travaux d'Olivier Klein *et al.* [2015 ; 2016] proposent initialement cinq indicateurs dans leur indice synthétique : connectivité, mixité de l'occupation du sol, proximité aux aménités, densité de population résidentielle et densité de végétation.

Figure VI-9 : *Mesure des aires de déplacement pour chaque indicateur de walkability*



Chacun d'entre eux évalue alors des zones tampons de 10 mètres de part et d'autre du réseau piétonnier dans une aire de déplacement définie en fonction de la capacité de déplacement d'un individu ou d'un groupe d'utilisateurs (vitesse, profils de restriction). Cette distance de 10 mètres permet d'intégrer dans l'analyse non seulement les éléments de l'environnement présents sur le tronçon mais aussi ceux qui sont proches visuellement.

L'ISW combine ensuite les résultats pour proposer une mesure de la capacité de l'aire à être plus ou moins favorable aux déplacements piétons. Toutefois, l'utilisation de l'ensemble des indicateurs dans l'indice synthétique de *walkability* requiert un niveau d'information très détaillé que seule l'étude d'un terrain spécifique autorise. Une alternative est donc proposée dans le cadre d'un modèle de déplacement générique en excluant l'indicateur d'*accessibilité inclusive* (P₈) pour

évaluer les aires de déplacement^{XLVI}. La formule de l'ISW peut ainsi s'adapter aux modèles utilisés.

$$ISW = \frac{\sum_i^n P_i \times W_i}{N}$$

où

P_i équivaut à l'indicateur de *walkability* (0 ;1)

W_i équivaut au poids de l'indicateur i

N équivaut à $W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n$

Indice entre 0 et 1, où 0 indique un espace totalement défavorable à la marche et 1 un espace fortement favorable à la marche. La définition des poids nécessaires selon les indicateurs s'appuie sur l'élaboration d'une enquête-usager permettant de hiérarchiser les besoins que cherchent à satisfaire les usagers dans leur planification d'itinéraires en fonction du contexte (cf. chap. V-3). Dans le cadre de cette thèse, l'enquête-usagers *Pawlux* a été élaborée dans une démarche empirique et ne rassemble pas un nombre représentatif d'individus (25 personnes interrogées). Toutefois, l'analyse des entretiens permet déjà de mettre en avant les indicateurs d'accessibilité par rapport aux autres (cf. conclusion du chap. VII). Ce constat est également corroboré par la littérature sur la *walkability* (cf. chap. III-1-1.1). Une véritable pondération de l'ISW à partir d'une cohorte représentative pourra être proposée par la suite.

Les résultats obtenus par l'ISW sont ensuite interprétés grâce à une classification (cf. tableau VI-5).

Tableau VI-5 : *Estimer la capacité d'un espace à proposer des configurations favorables à la marche*

Score ISW (en %)	Configuration de l'espace favorable à la marche
90-100	Idéale
70-89	Très bonne
50-69	Agréable
25-49	Peu agréable
0 - 24	Inadéquate
Auteur : Victor N., 2016	

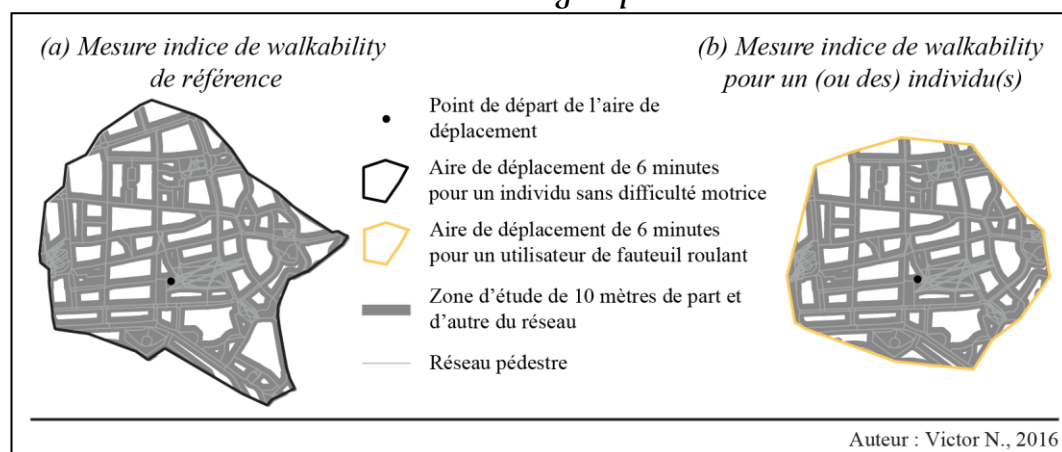
La capacité d'un espace à proposer des configurations favorables à la marche peut ainsi être estimée de la situation *idéale* à *inadéquate* et offrir un diagnostic synthétique d'aires de déplacement.

^{XLVI} L'ISW dégradée utilise sept indicateurs : connectivité, linéarité, mixité de l'occupation du sol, proximité aux aménités, densité de la végétation, densité de la population et potentiel d'accessibilité.

3.2. Score d'inclusion : capacité de l'espace à être équitablement favorable à la marche selon les usagers piétons

L'indice synthétique de *walkability* intègre des indicateurs d'accessibilité pour valoriser les configurations spatiales capables d'accueillir une grande diversité d'usagers piétons. Toutefois, les aires de déplacement varient selon les usagers et ne permettent pas toujours d'accéder aux mêmes aménités et qualité de réseau et d'environnement à partir d'un même lieu. En réponse, la création d'une mesure comparant des ISW issues d'aires de déplacement conçues à partir de divers profils d'usagers permet d'effectuer un différentiel quant à l'équité d'accès à des configurations spatiales de qualité favorisant la marche (cf. figure VI-10).

Figure VI-10 : *Mesurer la capacité d'un territoire à proposer une qualité équitable de configurations spatiales favorables à la marche à une grande diversité d'usagers piétons*



Le score d'inclusion compare l'ISW d'un profil de mobilité piédestre (vitesse, restrictions) par rapport à un autre de référence.

$$\text{Score d'inclusion} = \frac{\text{Walkability}_{\text{individu}}}{\text{Walkability}_{\text{référence}}}$$

Un score équivalent à 1 indique une configuration de l'espace garantissant une certaine équité entre les usagers piétons comparés : les deux profils d'individus ont accès aux mêmes services et à la même qualité environnementale. Un score supérieur à 1 indique que le(s) individu(s) testé(s) ont accès à un environnement plus favorable à la marche que l'individu de référence à partir d'un même lieu. Enfin, un score inférieur à 1 suggère que l(es) individu(s) testé(s) sont défavorisés par rapport à l'usager de référence.

La création de l'indice synthétique de *walkability* et du score d'inclusion offre ainsi des outils reproductibles adressés aux aménageurs et associations pour effectuer un diagnostic de la capacité des espaces publics à favoriser la marche pour une grande diversité d'usagers. Un outil de communication et de visualisation du modèle de déplacement peut ensuite être imaginé pour fournir une aide à la décision s'adressant non seulement aux aménageurs mais aussi au grand public.

Pour conclure, la création de mesures telles que l'ISW ou le score d'inclusion permettent de proposer des outils de diagnostic synthétiques et reproductibles tenant compte des interrelations usager(s)-environnement. L'élaboration d'un outil de diffusion mais aussi de collecte d'informations géographiques localisées sur les déplacements piétons ouvre enfin de nouvelles perspectives de recherche sur les comportements piétons et les configurations spatiales pouvant susciter la marche.

Conclusion du chapitre VI

Pour pouvoir être un modèle de déplacements spécifiquement dédié à la pratique de la marche en milieu urbain, les interrelations usager(s)-environnement ont dû être intégrées à différents niveaux dans le système d'information géographique au-delà de la simple accessibilité. *L'utilisation d'une série de mesures et d'indices exploitant les données du SIG piétons-environnement contribue alors à identifier et à localiser des configurations spatiales favorables ou défavorables à la marche à différentes échelles.* Dans ce but, une évaluation multi-scalaire de la capacité d'un réseau piédestre à accueillir une grande diversité d'utilisateurs peut révéler des pré requis recherchés de faisabilité de déplacements et d'accessibilité au territoire. En complément, une estimation de la qualité du réseau et du design urbain permet ensuite de qualifier l'utilité d'une aire de déplacement et d'aborder des conditions plus subjectives comme le plaisir des sens ou le confort environnemental et physique. En fin de compte, des analyses objectives de l'environnement urbain peuvent donc contribuer à l'assimilation de certains préalables que les usagers cherchent à satisfaire lors de leurs planifications d'itinéraires. Dès lors, bien que chaque usager hiérarchise différemment ses conditions de déplacement, le développement d'un indice synthétique d'analyse d'aires de déplacement piédestre s'appuyant sur ces mesures objectives permet d'évaluer le potentiel d'un espace à favoriser la marche et d'effectuer des comparaisons.

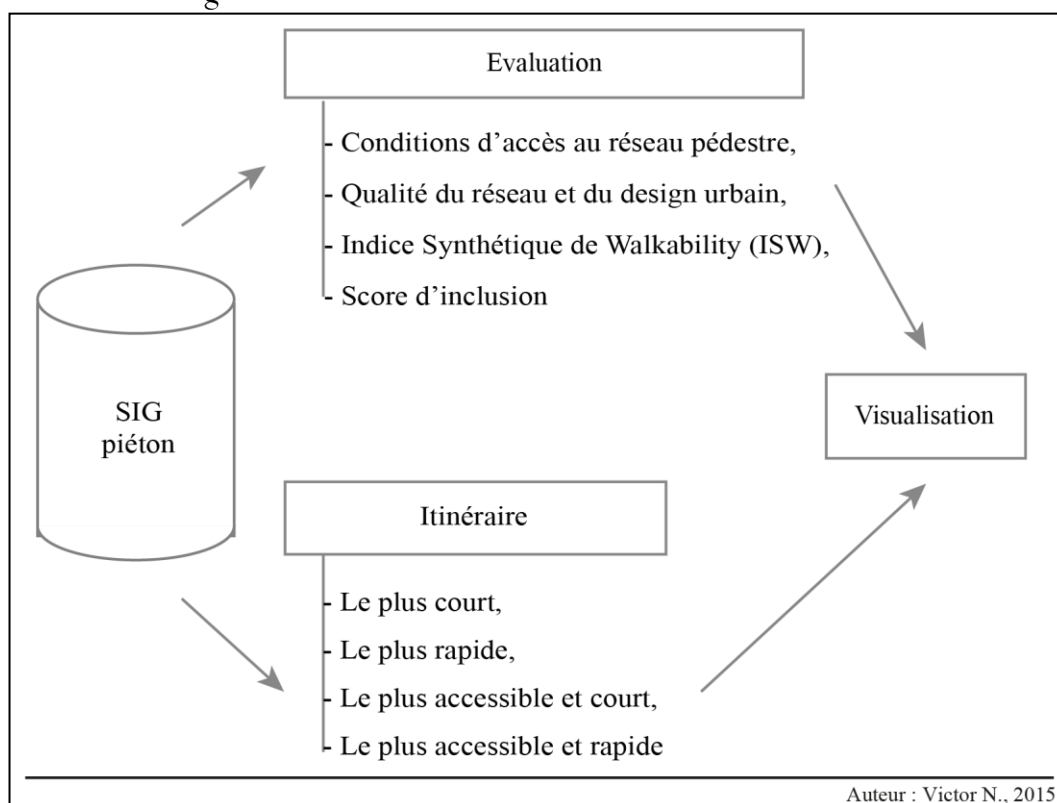
Fin de la deuxième partie

Conclusion

Combiner les principes de la théorie des graphes avec une approche par *objets vecteurs* dans un système d'information géographique a démontré son efficacité dans le cadre d'une étude sur les déplacements pédestres en milieu urbain. L'utilisation de sommets et d'arcs géoréférencés et valués sous forme vecteur facilite ainsi l'analyse du réseau pédestre et permet d'effectuer des requêtes d'informations attributaires pour tenir compte des interrelations usager(s)-environnement. Pour une bonne analyse du réseau pédestre représenté, il a néanmoins été nécessaire de veiller au développement de méthodes de digitalisation spécifiques. Une fois ce dernier modélisé, une double approche pour collecter des données sur l'environnement urbain et les usagers piétons permet de proposer une méthodologie à la fois reproductible à différentes villes en Europe mais ayant aussi la capacité de s'ancrer dans un territoire spécifique. La base de données et les configurations du SIG s'appuient ainsi sur une revue de littérature pluridisciplinaire et sur l'utilisation de protocoles empiriques de collectes d'informations. Cette démarche exige toutefois de gérer différents niveaux de détails d'informations pour qualifier le réseau et les capacités du territoire à se révéler favorables ou défavorables au déplacement piéton. L'analyse des déplacements piétons a donc requis une série de mesures globales et locales.

Le recours à un SIG offre ainsi de nombreux atouts pour modéliser et analyser les déplacements piétons quotidiens en milieu intra-urbain. Si un état de l'art sur l'utilisation des SIG dans le cadre d'études sur la marche a permis d'identifier un certain nombre de limites comme le coût de collectes des données ou le manque de flexibilité quant aux mises à jour de la base, des solutions ont été proposées en perspectives de recherche (audit urbain numérique, interface internet, etc.). La constitution d'un modèle intégrant les relations usager(s)-environnement avec pour volonté d'intégrer une grande diversité d'usagers piétons se révèle, dans tous les cas, une démarche innovante avec un fort potentiel d'aide à la décision auprès des aménageurs/associations et des usagers piétons. Plus précisément, la mise en place d'un SIG piéton permet non seulement de proposer aux acteurs locaux des évaluations du réseau pédestre et de l'environnement favorable à la marche mais aussi de suggérer aux usagers des itinéraires adaptés à leurs capacités de mobilité pédestre (cf. figure VI-11).

Figure VI-11 : *Création d'un outil d'aide à la décision*



Pour finir, l'application de cette méthodologie de mise en place d'un modèle de déplacements piétons quotidiens en milieu intra-urbain peut ensuite permettre d'identifier de nouvelles problématiques spécifiques à un terrain et à sa population. Dans ce but, nous proposons d'utiliser le territoire de la ville de Luxembourg dont l'environnement urbain ainsi que la forte dépendance à la voiture des résidents font un excellent terrain d'étude pour identifier les configurations facilitatrices ou restrictives de la marche selon les usagers.

Troisième partie

VILLE DE LUXEMBOURG : DES DEPLACEMENTS PIETONS FAVORABLES A TOUS ?

Introduction

Le Luxembourg est un des pays les plus motorisés d'Europe avec 769 véhicules automoteurs routiers (voiture, motorcycle, camion, véhicule utilitaire) immatriculés pour 1 000 habitants (Statec, 2015^{XLVII}) et ce, quel que soit le motif de déplacement (domicile/travail, courses, loisirs). Bien que d'autres alternatives soient envisageables [Klein *et al.*, 2009 : p. 146], la possession de voiture individuelle équivaut à 646 véhicules pour 1 000 habitants (Statec, 2015) et est considérée par la population luxembourgeoise comme une solution de facilité en étant disponible immédiatement et en permettant de réaliser facilement des trajets porte-à-porte [Petit, 2009 : p. 140]. Cette dépendance automobile est telle que le Luxembourg détient actuellement le record européen de l'utilisation de la voiture individuelle. Pour preuve, 60 % des trajets compris entre 0 et 1 km sont réalisés en voiture contre seulement 13 % des déplacements quotidiens réalisés à pied ou à vélo, en 2009 [MDDI, 2012 : p. 22]. De surcroît, le grand-duché du Luxembourg a cette particularité d'accueillir, la semaine, en journée, de nombreux travailleurs frontaliers (45 % des salariés, en 2015^{XLVIII}) venant, pour la plupart, en voiture – une étude de 2010 chiffraient l'utilisation de la voiture individuelle pour se rendre au travail à 86 % [Schmitz *et al.*, 2012 : p. 14]. Pour la ville de Luxembourg, une estimation pour l'horizon 2030 annonce un volume de 83 000 navetteurs entrant tous les matins, soit près de 500 000 voitures qui passeraient les limites communales tous motifs confondus [Schiltz, 2009 : p. 136]. En toute logique, cette utilisation massive de l'automobile entraîne des conséquences négatives en matière de pollution et de congestion. D'après le rapport « MODU » (Stratégie globale pour une mobilité durable – pour les résidents et les frontaliers) [MDDI, 2012 : p. 34], les mesures de la station Luxembourg-Centre dépassent depuis 2003 la valeur fixée au niveau communautaire par la directive 2008/50/CE, à savoir 40 µg/m³ pour la moyenne annuelle des rejets de dioxyde d'azote NO₂ (relevé moyen annuel de 58 µg/m³ NO₂, en 2012^{XLIX}). Par ailleurs, cette dépendance à la voiture est également corrélée à un phénomène de sédentarisation dont l'augmentation de l'obésité est un des effets collatéraux. En 2008, au Luxembourg, 55 % de la

^{XLVII} Portail Statec, section Entreprises/Transports/Transport routier-véhicules, vu le 04/01/2016, http://www.statistiques.public.lu/stat/TableViewer/tableView.aspx?ReportId=7066&IF_Language=fr&MainTheme=4&FldrName=6&RFPPath=7611

^{XLVIII} Portail Statec, section Population et emploi/Marché du travail/Emploi, vu le 04/01/2016, http://www.statistiques.public.lu/stat/TableViewer/tableView.aspx?ReportId=7252&IF_Language=fr&MainTheme=2&FldrName=3&RFPPath=92

^{XLIX} Portail Statec, section Environnement/Air, vu le 04/01/2016, <http://www.statistiques.public.lu/stat/TableViewer/tableView.aspx>

population résidente âgée de 16 ans et plus était en surcharge pondérale et parmi eux, 37 % en surpoids et 18 % obèses [Tchicaya et Lorentz, 2010 : p. 1]. La promotion de la mobilité douce est donc un enjeu important dans le pays et dans sa capitale.

En réponse, le Ministère du Développement Durable et des Infrastructures (MDDI) cherche à favoriser des chaînes de mobilité efficaces par la promotion de réflexes à avoir, à savoir privilégier la mobilité douce par rapport à la voiture pour tout déplacement court et utiliser des modes alternatifs aux moyens de transport motorisés individuels quand la première solution n'est pas praticable [MDDI, 2012 : p. 46]. En d'autres termes, dans le contexte de la marche, il s'agit de soutenir les trajets piétons intégraux et intermodaux. ***Dès lors, comment promouvoir, au quotidien, la pratique de la marche en milieu intra-urbain en tenant compte de l'existence d'une grande diversité d'usagers ?*** A cet effet, l'un des enjeux principaux consiste à garantir à une grande diversité d'usagers la possibilité de se rendre à destination dans des conditions favorables à ce mode en tenant compte des spécificités de chacun et des situations qui peuvent influencer leurs déplacements.

Pour commencer, dans le chapitre VII, des entretiens avec des usagers piétons pratiquant quotidiennement le réseau pédestre de la ville de Luxembourg sont analysés sous la forme d'une analyse textuelle. Cette démarche permet non seulement d'identifier des comportements piétons et des pratiques de mobilité pédestre spécifiques mais également de saisir quelles sont les configurations de l'environnement qui sont ressenties comme attractives selon le contexte de déplacement. La collecte de ces informations conduit alors à adapter le modèle en y intégrant des règles plus réalistes mais aussi à proposer une première pondération des paramètres de l'indice synthétique de *walkability*.

Ensuite, une brève présentation des spécificités spatiales de l'environnement urbain de Luxembourg-Ville, dans le chapitre VIII, montre que la morphologie et la topographie laissent présager d'inégalités sur le territoire. Une qualification du réseau pédestre est alors proposée à travers une approche multi-scalaire (ville, voisinage, tronçon) pour évaluer son potentiel d'accessibilité. A cette fin, l'étude considère à la fois sa capacité à accueillir une grande diversité d'usagers dans un même espace et sa capacité à proposer des itinéraires alternatifs pour se rendre à une même destination en fonction de différents profils de mobilité pédestre.

Le chapitre IX se concentre, quant à lui, sur le potentiel d'un environnement urbain à offrir des conditions que recherchent les usagers piétons lors de leurs planifications d'itinéraires. A travers trois exemples (plateau-piéton, quartier gare et parc urbain), des diagnostics sont effectués pour identifier non seulement le potentiel de ces espaces publics à susciter les déplacements piétons mais aussi leurs capacités à proposer une offre de service équitable selon divers profils de mobilité pédestre.

Pour finir, le chapitre X présente en guise d'ouverture un prototype d'interface permettant de collecter de l'information localisée sur la marche appliquée à la ville de Luxembourg. Cette démarche permet de répondre à un certain nombre de limites conséquentes à l'utilisation des SIG et offre une vision du

potentiel de notre démarche en matière d'aide à la décision. Le prototype, dénommé PAWapp-Lux, s'attache ainsi à présenter aux acteurs un éventail de solutions pour se déplacer en ville et analyser le réseau pédestre.

Chapitre VII.

Pratique piétonne : témoignages d’usagers utilisant quotidiennement les voies pédestres de Luxembourg-Ville

Dans la première partie de thèse, une revue de littérature pluridisciplinaire a permis d’identifier les caractéristiques physiques et les éléments de l’environnement pouvant influencer la pratique de la marche urbaine au quotidien quel que soit l’usager piéton. Il ressort que si les interrelations usagers-environnement dépendent du contexte de déplacement, les comportements piétons et les pratiques de mobilité diffèrent également selon les us et coutumes d’un territoire. Étudier la marche dans une ville nécessite donc de s’informer non seulement sur les spécificités environnementales d’un territoire mais aussi sur celles des usagers piétons le pratiquant au quotidien. Toutefois, les enquêtes sur la marche quotidienne intra-urbaine à Luxembourg-Ville sont, à notre connaissance, plutôt rares et irrégulières [MDDI, 2012 ; TNS ILRES, 2015]. De plus, il n’existe pas d’enquête nationale de transport et de déplacement qui pourrait offrir une évaluation représentative des comportements de mobilité pédestre au Luxembourg. Seules deux enquêtes sur les mobilités douces offrent des données récentes sur la question. La première, effectuée en 2009, dans le cadre de la stratégie MoDu, constate que seulement 13 % des déplacements quotidiens sont réalisés à pied ou à vélo [MDDI, 2012 : p. 22]. Leur protocole ne permet cependant pas d’expliquer les raisons et circonstances de ce phénomène. La seconde, effectuée en 2014, par l’institut TNS ILRES, offre quelques données sur l’influence d’éléments de l’environnement que les usagers considèrent comme déterminantes, secondaires ou insignifiantes dans leur déplacement [TNS ILRES, 2015]. Si 76 % des enquêtés aimeraient marcher davantage au quotidien, ces derniers témoignent de quelques difficultés de cohabitation avec les autres modes de transport et d’accessibilité du réseau pédestre à une grande diversité d’usagers. Si la démarche tient compte de l’existence de profils de mobilité pédestre multiples, les configurations perçues comme favorables à la marche méritent d’être approfondies. Les résultats de ces enquêtes offrent ainsi une première introduction aux problématiques liées à la

marche intra-urbaine au quotidien : dépendance à la voiture, cohabitation avec d'autres modes de déplacement, etc.

Afin d'identifier en quelles circonstances les interrelations usagers-environnement peuvent être considérées comme favorables ou défavorables à la marche, le déploiement d'une enquête plus spécifique permet de recueillir les témoignages et perceptions de divers usagers piétons pratiquant la ville au quotidien. Dans ce but, cibler les actifs de 18-65 ans permet d'observer des comportements pédestres et des stratégies de déplacement dans divers contextes (objectif utilitaire ou récréatif, état de santé, conditions météorologiques, etc.). Cette catégorie a, en effet, plus de chance d'utiliser différents modes de déplacement motorisés (voiture, transport en commun, moto, etc.) et/ou non motorisés (marche, vélo, roller, etc.) par leur pouvoir d'achat et leurs plannings d'activité. Il est alors possible d'obtenir le point de vue des usagers sur leurs choix modaux lors de leurs déplacements. ***Dès lors, comment tenir compte des spécificités et des préférences des usagers dans notre analyse de la marche à Luxembourg-Ville ?*** A cet effet, un dispositif d'enquête a été mis en place pour recueillir des témoignages d'usagers sur leurs expériences et leurs ressentis quant à la pratique de la marche dans un environnement urbain familier. L'enquête-usagers Pawlux permet ainsi de collecter des paroles d'habitants ou de travailleurs se déplaçant régulièrement à Luxembourg-Ville. Dans un premier temps, après avoir présenté les profils physiques des enquêtés, des comportements collectifs de mobilité pédestre sont révélés à travers l'analyse des entretiens. Ces éléments permettent d'identifier des pratiques spécifiques aux enquêtés et par extension de se faire une idée des mobilités pédestres en cours sur le territoire. Dans un second temps, les choix d'itinéraires des enquêtés sont analysés pour identifier des stratégies de planification. Cette démarche conduit alors à révéler une hiérarchie de conditions au déplacement en fonction du contexte et des usagers.

1. Comportements de mobilité pédestre et représentation collective à Luxembourg-Ville

Sélectionnés à partir du questionnaire MoCaPA-Lux (cf. chap. V-3-3.1), les enquêtés ont des profils variés de capacités motrices et d'état de santé physique. Une telle diversité permet de constater si certaines de leurs caractéristiques ont une influence particulière sur les comportements de mobilité pédestre et/ou sur leurs perceptions des configurations favorisant ou défavorisant la marche. Les entretiens ont été effectués en deux parties lors de parcours accompagnés en milieu intra-urbain dans le centre-ville de Luxembourg (cf. chap. V-3-3.1). La première partie se déroule après que l'enquêté a mené l'observateur selon son itinéraire de prédilection d'un point A à B. A travers un entretien semi-directif, l'observateur questionne le ressenti de l'enquêté quant au déplacement effectué et sur ses pratiques de mobilité pédestre en général. La seconde partie s'effectue après que l'enquêté a suivi un itinéraire préconisé par notre modèle de déplacement pour relier le point B au point A. La discussion se concentre alors sur une évaluation du trajet proposé et vise à approfondir la discussion sur les pratiques de mobilité de

l'utilisateur. Le trajet retour lui offre ainsi un temps de recul et de réflexion sur les thèmes abordés lors du parcours aller. Après une brève introduction des profils d'utilisateurs piétons retenus, l'analyse des entretiens permet ensuite d'identifier certains comportements collectifs de mobilité pédestre.

1.1. Profils des usagers piétons enquêtés

Afin de cibler des comportements pédestres et des stratégies de déplacement dans différents contextes de déplacement, l'enquête vise à collecter des témoignages d'actifs de 18 à 65 ans, résidant ou travaillant à Luxembourg-Ville et possédant des capacités de mobilité pédestre variées. A cet effet, le recrutement des participants s'est effectué par un questionnaire qui évalue l'influence de la santé physique des usagers sur leur vie quotidienne et leurs capacités de déplacement à travers un niveau de PHC (*Physical Health Composite*) (cf. chap. V-2-2.1). Lors des parcours accompagnés, les vitesses de déplacements et les consommations énergétiques ont ensuite été mesurées à l'aide d'une montre-podomètre à l'aller et au retour pour chaque usager. Bien que le nombre d'enquêtés ne permet pas de déduire de profils de mobilité pédestres représentatifs, l'analyse de leurs caractéristiques et de leurs points de vue sur leurs déplacements permet d'identifier des pratiques de mobilité en cours sur le territoire.

Tableau VII-1 : *Caractéristiques des participants de l’enquête Pawlux*

Identifiant	Sexe	PHC	Age	IMC	Vitesse moyenne (km/h)	Energie moyenne nécessaire à la marche (cal/h)	Langue de l’entretien	Remarque
Pawlux 01	M	53	23	23,5	-	-	Français	
Pawlux 02	F	58	33	16,6	4,6	211	Français	
Pawlux 03	M	56	37	17,3	4,3	190	Français	
Pawlux 04	F	51	31	20,7	5	234	Anglais	
Pawlux 05	F	41	58	34,2	4,8	231	Français	
Pawlux 06	F	56	27	21,5	4,1	172	Français	
Pawlux 07	M	58	29	23,8	6,6	378	Français	
Pawlux 08	M	37	29	21,7	5,6	288	Français	
Pawlux 09	M	51	35	21,7	3,7	230	Français	*
Pawlux 10	M	49	24	28,7	5,4	232	Français	
Pawlux 11	M	56	34	25,1	5,3	326	Français	
Pawlux 12	F	54	27	22,9	5,6	285	Français	
Pawlux 13	M	44	29	27,1	5,5	580	Français	
Pawlux 14	F	53	29	22,9	6,4	869	Français	
Pawlux 15	F	57	31	22,6	4,8	575	Anglais	
Pawlux 16	F	55	52	20,3	4,4	201	Français	
Pawlux 17	F	53	44	23,6	4,4	208	Français	
Pawlux 18	F	48	28	20,3	4,4	239	Français	
Pawlux 19	M	58	27	23,3	5	134	Français	
Pawlux 20	F	46	32	22,1	4,6	194	Anglais	
Pawlux 21	M	47	32	19,4	6,3	507	Anglais	
Pawlux 22	M	42	28	23,8	5,7	487	Français	
Pawlux 23	F	37	25	25	2,7	239	Français	**
Pawlux 24	M	32	42	29	10	-	Français	***
Pawlux 25	F	55	25	19	5,5	288	Français	
* Accompagné d’un enfant de 3 ans ** Utilise une béquille *** Utilise un fauteuil roulant électrique								
Source : Enquête usagers Pawlux 2014-2015 Auteur : Victor N., 2015								

L’enquête-usagers Pawlux compte 25 participants – 12 femmes et 13 hommes – âgés de 23 à 58 ans avec une moyenne d’âge de 32 ans. Leurs indices de masse corporelle (IMC) varient de 16,6 à 34,2 où la population enquêtée comporte deux personnes considérées comme atteintes de maigreur (IMC $L > 18,5$), six en surpoids (IMC [25-29,9]) et une d’obésité modérée (IMC [30-34,9]). Le calcul de leurs PHC (*Physical Health Composite*) indique des résultats entre 32 et 58 avec une moyenne de 52 chez les femmes et 50 chez les hommes. Trois classes de PHC sont dès lors proposées pour évaluer en quelle proportion l’usager considère son état de santé comme une gêne sur la vie quotidienne : 42 et moins suggère une gêne forte, entre 43 et 52 une gêne faible et 53 et plus aucune gêne. Cinq des individus

considèrent que leur santé physique a un impact fort sur leur vie quotidienne et à l'inverse douze d'entre eux considèrent que leurs problèmes de santé physique n'influencent aucunement leur vie quotidienne. Parmi les cinq enquêtés possédant un PHC inférieur à 42, deux d'entre eux utilisent une aide au déplacement.

En se déplaçant seul et sans aide au déplacement, l'enquête montre que les hommes marchent en moyenne plus vite que les femmes avec 5,5 km/h contre 4,9 km/h sur un terrain plat non accidenté. Sans surprise, les vitesses d'un utilisateur utilisant une aide à la marche (béquille) sont beaucoup plus lentes que la moyenne des usagers sans difficulté motrice. Par ailleurs, le fait d'utiliser certains types d'aide au déplacement motorisée (fauteuil électrique) permet de monter à des vitesses très élevées quelles que soient la pente ou les caractéristiques du piéton. A l'instar des vitesses, les mesures de consommation énergétique nécessaire à la marche se révèlent plus élevées chez les hommes de ce panel avec en moyenne 346 cal/h contre 308 cal/h pour les femmes. Ce constat diffère de la littérature [Browning *et al.*, 2006] mais s'explique peut-être par la taille de l'échantillon et par un protocole de mesures effectué en extérieur.

Dans tous les cas, l'étude démontre que les caractéristiques physiques des usagers retenues garantissent des comportements pédestres diversifiés. Le contenu des entretiens permet ensuite d'aller plus loin en identifiant des stratégies collectives quels que soient les usagers.

1.2. Comportement de mobilité pédestre

Dans l'ensemble des entretiens, des conditions communes au déplacement piéton ressortent. Pour chacun des individus, l'objectif principal est de garantir une certaine fluidité dans leurs rythmes de déplacement. A cet effet, les piétons cherchent à éviter les situations pouvant former des trajectoires trop complexes ou entraver leur vitesse telles que la présence de groupe de personnes, une attente aux carrefours ou encore la présence d'obstacles.

Maintenir une fluidité dans les trajets

Les usagers piétons suivent un rythme de marche qui leur est propre de manière intuitive. Ce rythme évolue en fonction du terrain qu'il s'agisse de la texture du sol ou encore de la pente. L'individu Pawlux 11 aborde ce fait en discutant de ses pratiques de déplacement en montée.

« Non [...] C'est l'habitude. Je me cale sur un rythme peut-être un peu plus haut que sur le plat mais à un rythme où ça me va bien de marcher. Je le fais pas de manière de consciente, je le fais de manière intuitive. » Pawlux 11

La plupart des usagers enquêtés décrivent leurs stratégies d'évitement et/ou de contournement pour conserver un rythme fluide. Les situations perturbatrices qui sont le plus mises en avant sont la présence d'autrui et les traversées de rues. La présence d'individus peut, en effet, être considérée comme négative en cas d'obstruction du passage par des rassemblements de personnes attendant le bus, discutant ou encore marchant lentement en groupe. Par exemple, Pawlux 15

préfère encore effectuer un détour, quitte à rallonger son itinéraire, plutôt que de ralentir pour traverser un groupe de personnes stationnées devant un magasin.

« And when people are on my way and I'm forced to slow down. [...] Yeah if I see there's a bunch of people standing there, then I would make a wild turn to not go directly through them. Even if it's that looks like the shortest way. » Pawlux 15

De surcroît, si les usagers ajustent leur rythme de pas et leur vitesse lorsqu'ils accompagnent quelqu'un, les différentiels de vitesses avec autrui sont perçus comme des situations défavorables à leurs déplacements. Ainsi Pawlux 13 revient sur son irritation quant à la présence de marcheurs plus lents et sur la nécessité ressentie de les doubler, quitte à faire quelques pas sur la chaussée pour maintenir son allure.

« Uniquement les marcheurs qui marchent pas assez vite, que t'es obligé de doubler. Qui viennent en sens inverse et qui sont quatre côte à côte. Qui « ne se mettent pas les uns derrière les autres » donc du coup t'es obligé de ... De faire des petits pas pour les contourner. » Pawlux 13

Aux différentiels de vitesses s'ajoutent également des conflits de trajectoires entre les piétons. En effet, à l'inverse des modes de transports motorisés, leur circulation ne se limite pas à un couloir en particulier sur la voirie. Pawlux 24 fait ainsi part de ses difficultés à appréhender des changements de direction inopinés lorsqu'il utilise son fauteuil électrique.

« C'est-à-dire que vous suivez quelqu'un, pas que tu le suis mais que tu vas dans la même direction, je suis derrière elle hein. Et puis comme ça de but en blanc, mais alors sans aucune logique quelconque, c'est pas qu'elle rencontre quelqu'un, c'est pas qu'elle fait signe à quelqu'un et qu'on se dit « voilà », non pouf, elle reste debout comme ça comme figée par le temps. [...] Ou alors vous êtes dans la foule et puis vous suivez votre chemin et puis y a quelqu'un qui est à votre droite, à deux heures comme ça et tout d'un coup ça lui prend, il saute devant vous comme les lièvres qui traversent les autoroutes. Mais sans aucune, vraiment, sans comprendre pourquoi elle le fait. C'est imprévisible. Et donc là, il faut vraiment être tout le temps, tout le temps en alerte et vraiment regarder donc... voilà. » Pawlux 24

Pawlux 24 cite également les utilisateurs de mobile dont les sens sont déconnectés de la réalité car concentrés sur l'écran et plus vraiment sur ce qui les entoure.

« Combien de fois déjà j'ai failli me faire « renverser », [...] y a une personne qui vient droit sur quelqu'un, il a son nez sur son portable qui voit même pas quoi. Et il faut vraiment lui dire : « ah attention ! » parce que des fois il peut bifurquer vers la gauche ou vers la droite. On peut qu'aller tout droit quoi. Ben voilà, on a quelqu'un qui nous saute quasiment sur les genoux. » Pawlux 24

Les différents témoignages dans l'enquête vont tous en faveur d'un idéal de flux ininterrompu quel que soit leur profil de mobilité pédestre. Pour cela, les usagers développent des stratégies d'évitement basées sur des détours lorsqu'une situation défavorable est connue à l'avance ou sur des contournements en prenant le risque de se déplacer sur des voies inadaptées à la marche, dans la mesure du possible.

Avoir une bonne connectivité

La pénibilité liée aux interruptions de flux pédestres est également mentionnée régulièrement à travers l'attente nécessaire aux traversées de rues. Au Luxembourg, les piétons ont traditionnellement pour habitude de respecter le Code de la route en attendant le feu piéton vert pour traverser. En conséquence, certains enquêtés comme Pawlux 3 vont anticiper le nombre de traversées et faire un choix qui leur semble le plus efficace pour minimiser l'attente aux feux.

« Là je pense c'est plus le côté pratique de ne pas avoir à attendre à deux feux au carrefour et d'avoir deux traversées piétonnes. Je pense que c'est plutôt ça qui l'emporte sur le choix, d'un côté ou de l'autre. C'est un truc que j'anticipe plus à l'avance sur le parcours dans la rue, je vois à quel moment je peux traverser comme ça sur un passage. Enfin pas forcément sur un passage, quand les voitures sont arrêtées, je traverse. Ou quand il n'y a pas de voitures. Si on peut minimiser l'attente aux feux qui ne m'intéresse pas plus que ça. » Pawlux 3

Cependant, les témoignages recueillis indiquent également que, sous certaines conditions, la totalité des enquêtés sont prêts à enfreindre le règlement en effectuant des traversées informelles. Pawlux 6 reconnaît ainsi être prête à le faire dans les petites rues de moins de deux voies.

« Oui si c'est juste une petite rue ou un mini-boulevard, je vais le traverser vraiment facilement. Enfin je regarde bien évidemment. Par contre si c'est un grand truc, double-voie, bon non. Là je vais éviter. Ça m'arrivera mais je vais éviter de le faire. » Pawlux 6

Pawlux 25 indique, quant à elle, que la circulation détermine son choix d'effectuer des traversées informelles.

« La circulation joue énormément. Si c'est une rue passante, je le ferais pas. Après y a plein de rues où c'est quasi pas fréquenté qui laissent le temps de voir sans avoir à courir pour traverser. » Pawlux 25

Pour déterminer si une traversée informelle remplit ces conditions, la visibilité et l'ouïe sont particulièrement mises à contribution. Pawlux 18 fait référence à la visibilité pour évaluer le trafic.

« Si vraiment je vois au loin qu'il n'y en a pas, oui je m'arrête pas. Si c'est pas bien dégagé ou si il y a potentiellement des voitures, je m'arrête. » Pawlux 18

Pawlux 8, quant à lui, s'appuie également sur l'écoute du bruit des moteurs pour être alerté d'un éventuel danger à venir.

« Ah je le ferais pas partout, c'est sûr. Mais après dans les rues de « l'hyper-centre », ben ça va. Les voitures passent assez lentement et tout. Tu les entends arriver donc ouais y a pas de souci. Mais je le ferais pas partout c'est clair. » Pawlux 8

Ce comportement de transgression est toutefois réfréné lorsque les usagers accompagnent une personne plus vulnérable. Lorsque Pawlux 9 se déplace avec son enfant, il redouble d'attention pour effectuer des déplacements en toute sécurité.

« C'est très, très rare. Le moins possible. [...] avec un enfant, on essaye de faire le plus d'effort sécuritaire. D'être en sécurité le plus souvent possible. » Pawlux 9 et Pawlux 9bis

Pour certains, il s'agit de montrer l'exemple en présence d'enfants. Deux des enquêtées, Pawlux 16 et Pawlux 15 reconnaissent ainsi adapter leurs comportements selon l'entourage à proximité lorsqu'elles traversent.

« Oui ça m'arrive. Quand c'est une petite rue oui et que je vois pertinemment qu'il n'y a pas de voiture qui arrive alors que le feu piéton est rouge, il m'arrive de passer quand même. Par contre quand je vois qu'il y a une maman avec des enfants je m'arrête parce que vis-à-vis des enfants, je ne trouve pas ça bien de faire ça. Je regarde toujours s'il y a des enfants autour, si c'est le cas je respecte. » Pawlux 16

« Also depends, if they are kids I always try to... because you know they also... we teach children to do not go on a redcross light but hum yeah it depends. I usually wait but it's not true that I always wait. Sometimes when there is really nothing, especially during the evening, I just walk. But during day time I usually wait. » Pawlux 15

La présence d'infrastructures de transport à Luxembourg-Ville génère donc des pratiques collectives de mobilité pédestre chez les piétons. Les entretiens montrent une véritable aversion pour les temps d'attente aux traversées. Bien que le Code de la route soit traditionnellement respecté par les habitants, cette aversion peut les conduire à des transgressions lorsque les rues sont dégagées de toute circulation et que la chaussée n'est pas trop large – moins de trois voies. A l'instar des situations d'encombrement sur les trottoirs, les usagers n'hésitent ainsi pas à développer des stratégies pour maintenir au maximum leurs allures avec un minimum de risque. A cet effet, ils planifient non seulement leurs itinéraires de manière à éviter au maximum les coupures dues à la présence d'infrastructures de transport mais utilisent aussi des raccourcis en dehors du réseau pédestre aménagé – traversée informelle.

Conserver une certaine linéarité

Pour finir, les enquêtés considèrent maintenir une direction (un cap) général entre un point A et un point B pour s'orienter dans l'espace, lors de leurs déplacements. Pawlux 10 précise que ce n'est pas forcément conscient.

« Non je vais juste me fixer un point, un objectif et je vais essayer d'atteindre l'objectif. Le plus facilement possible, après sans spécialement y réfléchir ou essayer de calculer. Mais voilà, je me fixe juste un point et j'y vais. » Pawlux 19

La notion de linéarité est alors mise en avant dans les entretiens lorsqu'ils expliquent la manière dont ils visualisent leurs cheminements lors de leurs planifications d'itinéraires. Ces trajectoires varient selon la personnalité de l'individu, d'une part, et le budget-temps à disposition, de l'autre. Pawlux 7 semble ainsi considérer les itinéraires dotés de grands axes ouvrant sur de longues perspectives comme les plus linéaires.

*« Et le fait que tu as une longue perspective, ça renforce l'idée que c'est tout droit. »
Pawlux 7*

Pour certains usagers, comme Pawlux 1, les trajectoires linéaires ont également le mérite de simplifier le déplacement à l'inverse des trajectoires en zigzag.

*« Moi j'aime bien les grands axes qui m'évitent de zigzaguer, ça veut dire que s'il y a un maximum de lignes droites ça m'arrange, c'est pour ça que j'ai choisi le boulevard par exemple. Si je dois zigzaguer dans des petites ruelles, même si c'est soi-disant plus rapide, je préférerais passer par un axe plus grand parce que c'est plus simple. »
Pawlux 1*

Lorsque les enquêtés doivent se déplacer sous contraintes temporelles, ces derniers ont donc tendance à choisir les parcours les plus linéaire et les moins complexes. Cependant, une partie des personnes interrogées considère aussi que de petits virages dans un maillage urbain serré forment une trajectoire moins monotone.

« Ben si je vois une ligne droite je la prends, sinon généralement je fais des petits virages. Je pars dans les petites rues, des trucs comme ça, histoire de faire des diagonales [...] Ça va pas aller nécessairement plus vite, surtout qu'en termes de distance c'est à peu près pareil. Mais [...] au moins tu fais un petit truc. » Pawlux 10

Au final, les entretiens démontrent que si la linéarité des trajets est évoquée par tous, cette dernière n'est pas définie identiquement. Toutefois, l'utilisation d'un cap pour s'orienter et atteindre un objectif demeure dans le cadre des déplacements piétons au quotidien.

En conclusion, les usagers piétons cherchent à remplir certaines conditions de déplacement quel que soit leurs interrelations intrinsèques avec l'environnement. Trois d'entre elles s'avèrent récurrentes dans les entretiens et sources de comportements collectifs de mobilité pédestre : la première consiste à garantir une certaine fluidité dans leurs mouvements, la seconde concerne l'utilisation d'un réseau pédestre bien connecté et enfin, la troisième correspond à emprunter des trajectoires les plus linéaires possible. Cette volonté collective d'atteindre des conditions idéales de déplacement contribuent à la formation de règles tacites de mobilité pédestre qu'il est alors possible d'intégrer dans notre analyse de la capacité d'un environnement à favoriser la marche. Toutefois, les entretiens révèlent que ces conditions observent une hiérarchie de priorité qui peut varier selon le contexte. Une analyse des stratégies de déplacement pédestre chez les individus enquêtés permet alors de compléter cette démarche.

2. Stratégie de déplacements pédestres et choix d'itinéraires

Les entretiens révèlent des pratiques piétonnes variant selon divers facteurs contextuels : le budget-temps alloué au déplacement, le créneau horaire (jour/nuit, heure de pointe/creuse), les conditions météorologiques, la présence d'un tiers et enfin, l'équipement porté (vêtements, types de chaussures, aide au déplacement). Dans tous les cas, ces facteurs influent fortement le choix d'itinéraires mais aussi les réactions. Dans tous les entretiens, c'est le budget-temps alloué au trajet qui

apparaît avant tout comme le facteur déterminant lors de la planification de l'itinéraire. En d'autres termes, les piétons tiennent en priorité compte de la faisabilité du trajet dans un temps imparti. C'est ensuite l'accessibilité qui est citée en second et varie selon les caractéristiques physiques des usagers, les conditions météorologiques et les vêtements portés. Néanmoins, si l'accessibilité conditionne le déplacement, les enquêtés précisent qu'ils sont prêts à effectuer quelques détours pour effectuer un parcours plus agréable ou plus intéressant dans un contexte de loisir où leur budget-temps est plus souple et ce, quel que soit leur PHC.

2.1. Des contraintes contextuelles déterminant les choix d'itinéraires

Parmi les stratégies de choix d'itinéraires, trois d'entre elles sont ainsi adoptées sous la contrainte de facteurs contextuels dont les deux plus récurrents sont le budget-temps et la capacité motrice des usagers. Lorsque le budget-temps est contraint, l'ensemble des usagers enquêtés optent pour le trajet *le plus court* ou *le plus rapide*. Toutefois, cette option fait l'objet d'un compromis avec *le plus accessible* lorsque les usagers présentent des difficultés motrices. Selon le créneau horaire ou encore la présence d'un tiers, le chemin *le plus sûr* peut également faire partie des stratégies de déplacement. Parmi les enquêtés, ce sont en particulier les femmes, seules, la nuit, qui se révèlent les plus sensibles à ce dernier choix.

Le trajet plus court ou le plus rapide

Lorsque les usagers sont pressés, ce sont les trajets les plus courts ou les plus rapides qui sont recherchés. Dans ce contexte, les trajectoires visent à être les plus simples et efficaces et ne tiennent pas vraiment compte de l'environnement à traverser. Pawlux 15, habituée aux retards, indique ainsi se déplacer la plupart du temps au plus rapide sans pouvoir effectuer d'arrêts.

« But if I don't have time, which is usually the case, I just walk. [...] Generally the fastest or quickest, because I'm not a person on time so I usually just have to be there without stop. » Pawlux 15

Un budget-temps serré peut également conduire à l'utilisation d'autres modes complémentaires pour « gagner du temps ». Ainsi Pawlux 13 conçoit de prendre le bus pour des distances qu'il effectuerait entièrement à pied dans un autre contexte.

« Quand je vais au centre-ville en arrivant du centre-gare, je viens à pieds. Quoiqu'il arrive parce que je préfère marcher que prendre le bus quand c'est pas loin. On est à 10 minutes, c'est rien du tout. Je prends le bus si vraiment je suis en retard. » Pawlux 13

Certains enquêtés mentionnent également d'autres critères additionnels pouvant s'ajouter au choix du plus court chemin. Pawlux 4 reconnaît par exemple privilégier ce choix d'itinéraires pour limiter les inconvénients dus à de mauvaises conditions météorologiques.

« So yes also with the weather I would rather choose the fastest so that I can avoid... because if I would choose like easier way to walk but the longer, I would get wet. So yeah, logically I would choose... » Pawlux 4

La nuit peut également encourager à choisir le plus court chemin pour limiter le temps à l'extérieur et les mauvaises rencontres, comme en témoigne Pawlux 23. C'est particulièrement le cas chez les femmes enquêtées qui vont privilégier les chemins éclairés et peuplés.

« La nuit je vais prendre les endroits où il y aura plus de monde et le plus court. Je ne vais pas choisir en fonction des bâtiments. » Pawlux 23

Enfin, la différence entre le trajet le plus court et le plus rapide n'est pas toujours perçue dans les entretiens, ni même objective. La présence de coupures urbaines importantes à Luxembourg-Ville et plus particulièrement des pentes semble toutefois aider certains d'entre eux comme Pawlux 8 à faire une différence.

« Si je connais bien et que j'ai le temps de réfléchir à mon itinéraire. Ouais forcément si je me dis : « ah oui, c'est peut-être le plus court mais avec toutes ces pentes, ça va être plus long ». Ouais. J'y réfléchirai. » Pawlux 8

Lorsqu'ils choisissent l'option la plus courte ou la plus rapide, les enquêtés cherchent ainsi à rationaliser leurs coûts de déplacement quelles que soient leurs caractéristiques physiques. Cette rationalité ne peut néanmoins être satisfaite par tous les usagers. Elle est parfois contrainte par leur capacité physique à se déplacer. Une combinaison entre *le plus court et le plus accessible/confortable* ou *le plus rapide et le plus accessible/confortable* est alors envisagée dans leurs stratégies de déplacement. Cette combinaison n'est pas systématique. Elle est choisie dans le cadre d'un budget-temps contraint.

Le plus accessible/confortable

Tout enquêté reconnaît pouvoir être amené à choisir un itinéraire qui lui paraît le plus accessible/confortable. Si des phénomènes collectifs ressortent en fonction du contexte, de l'état de santé et de la capacité motrice des usagers, la définition d'itinéraires accessibles ou confortables s'avère dépendre des interrelations intrinsèques entre l'utilisateur et l'environnement. Les recueils de témoignages conduisent dès lors à identifier des situations d'inadéquation et les réactions engendrées. Par exemple, les individus dotés d'un état de santé plus fragile tendent à anticiper d'avantage la présence d'obstacles et à favoriser les trajets routiniers. Alors que les personnes dont l'état de santé n'influence pas du tout leur vie quotidienne (PHC > 53) ont tendance à ne pas prévoir à l'avance la présence d'obstacles. Pawlux 17 montre ainsi un certain fatalisme quant aux potentielles restrictions sur son itinéraire.

« C'est inconscient je dirais. Je me rends pas compte et puis je sais qu'ils sont sur ma route mais voilà ça fait partie de la route. C'est inconscient quoi. » Pawlux 17

Toutefois, leurs capacités de déplacement peuvent se voir contraintes lorsqu'elles accompagnent des personnes vulnérables et requérir la mise en place de stratégies de

choix d'itinéraires priorisant l'accessibilité à l'avance. Pawlux 9 se rappelle ainsi l'organisation nécessaire lorsque Pawlux 9bis était encore bébé.

« Alors les escaliers déjà, t'oublies. Dans certains magasins on ne pouvait pas y aller. Parce que y a des marches d'escaliers où c'est pénible. Ils sont tout petits, donc c'est vraiment pas facile. Donc ouais y avait toutes ces stratégies à faire. Je me souviens ma compagne, elle aimait bien aller dans certains magasins mais elle pouvait pas forcément y aller toute seule parce qu'elle pouvait pas rentrer avec la poussette, etc. Donc ça demandait toute une organisation. » Pawlux 9

Pour les usagers avec un PHC de moins de 42 et utilisant une aide au déplacement, l'accessibilité conditionne avant tout l'itinéraire. La présence d'obstacles ou de coupures urbaines peut en effet interdire totalement ou partiellement l'accès à certains espaces. Pawlux 23 se déplaçant avec une béquille priorise ainsi l'accessibilité et le confort au chemin le plus court.

« Le plus confortable parce que du coup même s'il y a plus court, je vais avoir des difficultés et ça va pas forcément me paraître mieux. » Pawlux 23 (PHC : 37)

En conséquence, les enquêtés concernés ont tendance à emprunter des trajets routiniers au quotidien lorsqu'ils utilisent le mode piéton. Pawlux 24 se déplaçant en fauteuil électrique précise ainsi que si le terrain est connu mais moins familier, la présence d'obstacles n'est pas maîtrisée à l'avance et peut conduire à effectuer de longs détours.

« Bon là effectivement j'utilise des chemins, qui ne sont pas forcément de mon choix, mais qui sont tout simplement les plus adaptés pour mon fauteuil. [...] En général, les rues que j'utilise ou quand je sais où je dois aller, je les connais. Maintenant, il arrive des fois où je dois aller à des endroits où je suis pas aussi habitué [...] là c'est vrai que ça peut m'arriver que je suis tout à coup devant un trottoir, je me dis : « ah zut » et je dois redescendre peut-être 100 mètres en arrière et prendre un passage plus bas. [...] Ça, ça arrive. Mais ça c'est vraiment plutôt dans des situations où j'ai pas l'habitude d'y aller tous les deux jours. » Pawlux 24 (PHC : 32)

Pour ceux percevant leur santé comme contraignante dans leur vie quotidienne (PHC > 42) mais n'utilisant pas d'aide à la marche, l'accessibilité peut être questionnée à travers des notions de fatigue ou de douleur. C'est le cas de Pawlux 5, par exemple.

« Parce que pour moi le passage au niveau de la cathédrale [na. rue de la Congrégation] qui est un passage de pierres, je pense que c'est moins accessible pour des personnes qui ont vraiment des ... moi j'ai une arthrose au pied et je pense que c'est un peu plus douloureux au niveau du pied même. » Pawlux05 (PHC : 41)

Leurs capacités de mobilité pédestre étant moins restreintes, ils peuvent toutefois être prêts à effectuer des efforts supplémentaires sur de petites durées pour effectuer l'itinéraire le plus court ou le plus joli/agréable.

Les enquêtés définissent ainsi la notion de confort par l'accessibilité, d'une part et les contraintes corporelles d'une relation directe avec l'environnement, de

l'autre. En conséquence, les mêmes itinéraires ne sont pas toujours considérés comme les plus confortables selon les conditions météorologiques, la saisonnalité ou le moment dans la journée. En fonction de la température, la présence de soleil peut alternativement être recherchée ou fuie comme l'explique Pawlux 17.

« Quand il fait pas super chaud, souvent je prends le boulevard parce qu'il y a plus de soleil. Pour ne pas être dans l'ombre et le froid du parc, je passe plus par le bd. Mais si il fait très chaud par contre je vais passer par le parc. » Pawlux 17

C'est aussi le cas de la pluie que Pawlux 9 et Pawlux 9bis convertissent en jeu avec des vêtements adaptés mais évitent quand ce n'est pas le cas.

« Si il pleut par exemple, et qu'il y a des flaques d'eau, si Pawlux 9bis a des bottes, on va aller là où il y a des flaques d'eau, pour qu'il puisse jouer dans les flaques d'eau. S'il a ses petites baskets, etc. on va éviter. Euh... quand il faisait très très chaud, pareil on essayait d'éviter quand il y avait une rue qui était en plein soleil et l'autre qui était à l'ombre, on choisissait celle qui était à l'ombre. Comme ça en été quand ça cogne. Ouais on s'adapte à la météo. » Pawlux 9 et Pawlux 9bis

De mauvaises conditions météorologiques peuvent même conduire à un report modal. Pawlux 25 n'hésite alors pas à utiliser les transports en commun pour se protéger des intempéries si les conditions se révèlent trop extrêmes.

« Ben on va dire que ouais ce trajet-là sera moins tentant à faire à pied par une météo assez chaotique. Ce sera plus les transports en bus au final. Parce que comme tu dis c'est une bonne ligne droite avec prise au vent t'as pas moyen de te protéger donc ça fait réfléchir à deux fois ». Pawlux 25

Dans une ville comme Luxembourg où de nombreux actifs doivent suivre un code vestimentaire au travail, le choix des vêtements et des chaussures n'est pas toujours possible. Les situations inconfortables rapportées par les usagers sont ainsi régulièrement liées à des combinaisons de facteurs comme la pente, la présence de pavé et/ou des situations météorologiques particulières (chaleur, pluie, neige) avec le port de vêtements inadaptés à la situation. Comme l'illustre Pawlux 7, des chaussures inadaptées combinées à un revêtement glissant et à de mauvaises conditions météorologiques implique d'adapter son itinéraire pour éviter les chutes.

« Par contre ce sera surtout l'hiver ou par temps de pluie, sur les grandes dalles, si il y a des passages avec de grandes grilles en métal, parce qu'elles sont hyper glissantes et moi j'ai des chaussures de ville donc ce sont de vraies crêpes. Par contre là, ça m'est arrivé régulièrement [rire] de faire le tour ou de trouver d'autres itinéraires parce que sinon je me gamelle une fois sur deux. » Pawlux 7

Chez les femmes, l'utilisation de chaussures à talon se révèle aussi peu confortable sur les pavés et dans les pentes, comme le précise Pawlux 6.

« Non je pense pas parce qu'on est passé par pas mal de rues pavées. Quand je suis à plat, vraiment j'y pense pas du tout, par contre, je serais en talons, oui, clairement j'aurais peut-être un peu plus réfléchi à mon itinéraire. [...]Euh oui, parce que la montée même en talons c'est un peu plus fatigant mais c'est praticable alors que la

descente en talons, c'est fatigant et c'est un peu, pas dangereux, mais il y a plus de chances de chuter, je trouve. » Pawlux 6

La coupe des vêtements peut également créer des indispositions. Pawlux 10 mentionne en exemple les difficultés dans les escaliers lorsque l'on porte des vêtements cintrés ou encore les températures élevées.

« Euh, les chaussures moins, le costume est plus une contrainte que la chaussure je trouve. [...] Ben de un t'es super serré donc tu peux pas trop lever les genoux, donc à ce moment-là tu vas plutôt éviter les grands escaliers. En termes d'effort tu es beaucoup plus limité physiquement. De un ça donne super chaud relativement vite, c'est très limité au niveau des jambes parce que ça peut vite te serrer donc t'évite de faire des trucs où tu pourrais risquer, je sais pas de faire des grandes enjambées, parce que sinon tu vas déchirer le costume. C'est des trucs qui peuvent arriver. Les chaussures c'est moins gênant, j'ai plus l'habitude maintenant ». Pawlux 10

Pawlux 11 explique même modifier ses itinéraires lorsqu'il porte un costume pour éviter de se salir.

« Quand je suis en costume ? Alors généralement je marche moins vite parce que j'ai des pompes qui sont pas toujours confortables pour marcher, ça joue clairement sur ma vitesse de déplacement. Euh oui, je change mes itinéraires pour ne pas salir mes costumes donc effectivement ça impacte pas mal mes trajets. » Pawlux 11

Au final, les témoignages des usagers sur ce qu'ils considèrent comme accessible ou confortable permet d'identifier trois grands thèmes récurrents.

Premièrement, la verticalité est régulièrement citée à travers la pente ou des hauteurs à franchir (marches d'escalier, bords de trottoir, etc.). Pour Pawlux 23, selon le dénivelé certains espaces deviennent ainsi inaccessibles.

« Forte je ne peux pas [na. pente]. Après moyenne je vais la prendre si vraiment je dois la prendre sinon je contourne et la faible ça va c'est bon. » Pawlux 23

Tous les enquêtés font une différence entre la montée et la descente. Ils considèrent ainsi aller plus vite dans les descentes que les montées.

« Downhill I think is faster! And uphill it's naturally slower, because you need to put more energy in that. And downhill you just have to take care, you don't go too fast, 'cause it's easier. » Pawlux 15

Toutefois, une forte pente peut nécessiter un effort pour maîtriser sa vitesse et susciter une certaine appréhension envers d'éventuelles chutes dans les descentes. La stratégie de Pawlux 10 consiste alors à allonger le pas.

« Non, j'ai pas eu l'impression de vraiment ralentir. J'ai fait des pas plus longs, histoire de pas accélérer par moi-même comme ça je me laissais vraiment porter par mon poids en descendant. J'ai peut-être marché un peu plus doucement, je sais pas. Histoire de ne pas tomber quoi ! ... pas aller trop vite ! » Pawlux 10

Ces fortes descentes sont également décrites comme douloureuses pour les genoux par certains usagers comme Pawlux 25.

« Je pense pourcentage de pente. Parce qu'elle est quand même assez importante mine de rien. Donc quand tu la descends à bonne allure, tu sens quand même que tu as des chocs. [...] Ben physiquement c'est pas le même ressenti quand tu descends ou quand tu la montes. En montée c'est moins violent même si... En pente... Là je pense que tu ressens plus la longueur que la pente, en montée. » Pawlux 25

A l'instar de la pente, les escaliers sont aussi considérés comme des obstacles potentiels. C'est le design des marches qui est souvent mis en cause et plus particulièrement celui avec des successions de paliers.

« Ben disons que... les longues marches ne sont pas super pratiques dans le sens où on ne sait pas nécessairement faire des pas normaux. Il faut adapter la taille de son pas par rapport à la longueur de la marche. Bon après on s'adapte... mais on serait moins en effort sur une longue marche que sur les petites marches. Enfin les petites marches c'est vrai qu'il y en a pas beaucoup donc ça va. Si il y avait 150 marches... [...] Je dirais rythme cassé. On n'est pas encore dans l'effort qui peut être fait... c'est court quoi. » Pawlux 17

Deuxièmement, la qualité du sol est particulièrement mentionnée autour de la présence d'irrégularités (pavés disjoints, mauvais état) et/ou de la granulométrie (lisse, poli, etc.) en cas de mauvaises conditions météorologiques. Pawlux 12 évoque ainsi ses difficultés à marcher sur les pavés qu'elle cherche à éviter au maximum.

« Oui. Je serais descendu... j'aurai continué à Hamilius, je serais descendu et j'aurai pris la rue... je sais pas comment elle s'appelle. Notre-Dame. Et j'aurai continué tout le long la rue Notre Dame parce que je sais qu'il y a pas du tout de pavés et que c'est plus praticable. » Pawlux 12

Pour Pawlux 23, ce sont les pavés disjoints qui sont plus particulièrement problématique.

« Voilà, quand ils sont joints c'est bon. Par contre quand ils ne sont pas joints c'est plus compliqué. Mais c'était des grands pavés donc... quand c'est des petits pavés, les petits marrons, ils sont un peu plus rugueux donc c'est peut-être un peu plus compliqué mais les grands pavés plats qui sont bien joints ça va. » Pawlux 23

Les mauvaises conditions météorologiques au Luxembourg, telles que la pluie ou la neige sont également souvent citées pour leur potentiel glissant sur les revêtements en pierre du centre-ville. Ainsi Pawlux 8 n'hésite pas à tester le sol dans ces conditions avant d'effectuer un détour si nécessaire.

« Moi je vais être du genre à tester, et si je sens que ça va glisser, c'est bon, je passe ailleurs quoi. Et à Luxembourg, y a pas mal d'endroits où en chaussures de ville ça glisse. Plus en temps de neige que de pluie. » Pawlux 8

Et troisièmement, les dimensions des voies pédestres sont également citées en tant que telles (largeur) ou lorsqu'elles sont encombrées (travaux, poubelles mobiles, voitures garées, groupes de personnes, etc.). Les trottoirs ne respectant pas les

normes handicapées préconisées s'avèrent ainsi inaccessibles pour certains usagers. Pawlux 23 utilisant une béquille en témoigne.

« En fait il ne faut pas pour moi que le trottoir soit minuscule. S'il y a la possibilité d'être à deux facilement ça va, mais si c'est pas le cas ou si c'est mal entretenu voilà... » Pawlux 23

Tout comme, Pawlux 24 qui se déplace en fauteuil électrique et explique ses difficultés à emprunter un trottoir lorsque celui-ci est encombré par des impondérables mobiles. Si le mobilier urbain est implanté selon des normes, les poubelles mobiles ou les voitures stationnées sur les trottoirs peuvent, en effet, créer de réelles difficultés. C'est aussi le cas des travaux où les déviations ne tiennent pas toujours compte de l'ensemble des usagers piétons et de leurs besoins.

« Voilà, des trottoirs très étroits et dès que les gens sortent les poubelles ça devient chaotique. En plus, ça devient un peu anarchique, chacun met sa poubelle un peu comme il veut et puis même quand les éboueurs sont passés, ils remettent pas forcément les poubelles contre la façade donc des fois on en a au milieu du trottoir. Ca, ça peut poser, effectivement, des fois de vrais problèmes. [...] Disons que tout ce qui est mobiliers urbains « mobiles » posent des problèmes. Parce qu'on n'est pas vraiment sûr que ce soit toujours à sa place, comme ça doit être. [...] Ca pose des problèmes pour tout le monde qui est à mobilité réduite. Par exemple, une personne malvoyante qui connaît son chemin, parce qu'elle le fait tous les jours et qui se repère par certains détails, par exemple, avec sa canne. Si tout d'un coup il y a des obstacles qui n'ont pas à être là, ben c'est clair qu'elle est perdue. Parce que tout son monde virtuel, qu'elle a dans sa tête, est débousolé. [...] Et puis alors, c'est comme j'ai dit, dès qu'il y a des chantiers, et là c'est vraiment, un petit peu un problème, malgré qu'il existe quand même certaines règles qui ont été définies, comment on peut préparer un chantier de façon à ce qui représente le moins de risques possible aux usagers qui pourraient passer par là. Et même aussi au niveau de l'accessibilité, il y a des règles qui sont définies pour que malgré qu'il y ait un chantier, le détournement qui se fait autour soit tant accessible en fauteuil, tant accessible pour quelqu'un en canne blanche etc. etc. c'est rarement vraiment appliqué. [...] Ca, ça m'est déjà arrivé où je prends mon chemin habituel, que je suis habitué à prendre, parce que je ne sais pas, parce que je n'ai pas fait attention aux informations ou quoi que ce soit. Ben voilà je me retrouve tout d'un coup nez à nez devant un chantier qui ne m'était pas connu encore, je ne sais pas pourquoi, et puis je ne sais pas trop comment je vais faire pour le contourner. » Pawlux 24

En réaction à des dimensions inadaptées ou restreintes, les usagers peuvent alors se déplacer sur la chaussée dans la limite de leurs capacités à franchir les hauteurs du trottoir. Pawlux 6 et Pawlux 8 qui n'ont pas de difficultés motrices reconnaissent utiliser cette stratégie régulièrement.

« Euh ben si c'est des petits trottoirs [...] je les trouve tellement petits que j'ai pas envie de marcher dessus [rire]. Donc voilà, si il n'y a pas de voitures ben oui je me mets sur la route, je trouve ça plus pratique. » Pawlux 6

« Je le fais tout le temps. C'est pas que les trottoirs sont trop petits mais les gens sont souvent à plusieurs. Ils ont tendance à pas trop se pousser donc je me fous sur la route, je suis tranquille et je me remets sur le trottoir que si il y a une voiture qui arrive. » Pawlux 8

Verticalité, qualité du sol et dimensions apparaissent ainsi déterminantes lorsque le choix d'itinéraires vise aux trajets les plus accessibles/confortable. Selon l'état de santé des individus, ces critères peuvent se révéler sources d'obstacle ou simples nuisances. Si les conditions de faisabilité et d'accessibilité ne sont pas remplies, les piétons développent alors des stratégies allant du détour au contournement en fonction des alternatives possibles. Enfin, selon le sexe de l'utilisateur, l'heure et le fait d'être seul ou non, les choix d'itinéraires peuvent être conditionnés par un dernier aspect : la perception de sécurité.

Le trajet le plus sûr

Selon le contexte, l'aspect sécurité est aussi un argument dissuasif qui peut modifier le choix d'itinéraires d'une personne quel que soit son budget-temps. Bien qu'un trajet plaise particulièrement le jour à Pawlux 4, elle reconnaît l'éviter la nuit par manque de lumière dans les rues.

« During the night it would not be like the best option. I think. Because it's a bit [...] dark. I would probably take it during the day and during the night I would take the other one. Or maybe a combination of two. » Pawlux 4

Le sentiment de sécurité peut fortement influencer les choix d'itinéraires et générer des changements de trajets selon l'heure du déplacement et plus particulièrement la nuit. Si la ville de Luxembourg est considérée comme la ville la plus sûre au monde en 2016^L, les femmes demeurent particulièrement sensibles à l'insécurité. Pour Pawlux 6, les vêtements qu'elle porte ont le même effet que les lumières et les rues isolées.

« Ah de nuit par contre oui ! Déjà qu'en temps normal j'évite les petites ruelles, si en plus je suis en mini-jupe, là c'est vraiment rédhibitoire. Je pense même que je serais prête à faire un énorme détour pour rester sur des boulevards fréquentés, ouais. » Pawlux 6

La présence de personnes peut être à la fois perçue comme rassurante ou dissuasive selon la perception que se fait l'utilisateur de l'autre. Pawlux 12 cherche ainsi à se déplacer dans des rues peuplées avec des terrasses et de l'animation.

« Le monde. Quand je suis toute seule, ça va être le monde. Je vais prendre, pas les petites ruelles, je vais prendre les grandes artères où je sais qu'il y aura du monde, soit

^L Classement établi par le cabinet de conseil Mercer dans son étude annuelle *Worldwide Quality of Living* en 2016 : <https://www.imercer.com/content/mobility/quality-of-living-city-rankings.html#list>

des voitures, soit des gens qui se promènent. [...] si il y a encore les terrasses dehors sur la rue piétonne, je vais passer par la rue piétonne. Maintenant si il y a des terrasses au bord de la route je vais peut-être plutôt prendre la route, enfin... C'est plus le monde, pour me sentir un peu plus en sécurité, si je suis toute seule. » Pawlux 12

Toutefois, selon les quartiers la présence de personnes peut être source d'appréhension. A Luxembourg-Ville, c'est le quartier de la gare qui concentre collectivement un sentiment d'insécurité quant à la présence d'autrui quelque soit le sexe de l'usager. C'est en particulier la nuit que les usagers cherchent à éviter ce quartier comme l'explique Pawlux 20.

« It's usually unpleasant because you have a lot of people hanging around, which are not looking good. That I would also discovered recently that sometimes when you walk at 9 some of these people might also come to you and try to propose something and ask you some questions... » Pawlux 20

Pour Pawlux 24, qui passe par ce quartier le jour mais l'évite si possible la nuit, ce sentiment s'explique par le manque de mixité de la population après la fermeture des bureaux.

« Ben c'est que la journée, y a quand même d'autres personnes qui passent par là. Y a pas que les prostituées et les clients. Y a aussi des gens comme moi qui travaillent, je sais pas... y a l'administration de l'emploi qui est pas loin. Y a aussi une population mixte. Ça me donne un peu plus confiance. Le soir, je pense que c'est aussi quand même, y a plusieurs cabarets de ce côté-là. Je pense que c'est plutôt alors vers une certaine heure, les gens qui se baladent là, c'est plutôt des gens qui sont là pour des idées bien claires. Après je veux pas dire qu'ils sont dangereux, mais j'ai pas envie d'aller chercher la petite bête ». Pawlux 24

Le fait d'être accompagné ou non semble aussi fortement influencer les choix d'itinéraires. C'est particulièrement le cas la nuit, lorsque les usagers sont seuls ou accompagnés de personnes plus vulnérables comme des enfants. Lorsque Pawlux 9 se déplace avec son enfant et qu'il perçoit un danger potentiel, il s'adapte et change de trottoir à l'avance pour éviter un conflit potentiel.

« Après, les personnes qu'on rencontre c'est pas.... Après ça nous est peut-être déjà arrivé de changer de trottoirs quand on était avec Pawlux 9bis et qu'on voyait des jeunes qui avaient bien bu, etc. Juste pour pas faire d'histoires. Tu vois on s'adapte et hop on change de trottoirs. On n'a pas forcément envie de confronter ce genre de personnes. Même si ça arrive, hein. » Pawlux 9 et Pawlux 9bis

Toutefois, la présence d'autrui peut mener certains à adopter un report modal dans certains cas. A la suite d'une mésaventure vécue dans le quartier de la gare avec son conjoint un soir, Pawlux 20 reconnaît qu'elle prendra dorénavant plus facilement le bus si elle est seule.

« I mean we reached the house like saved but it's not a very pleasant area to walk at 9. For me, I would probably take a bus rather than keep walking here. » Pawlux 20

En outre, si la gare est au cœur des témoignages de sentiment d'insécurité, les traversées nocturnes des parcs sont aussi citées comme dissuasives la nuit par plusieurs participantes si elles sont seules.

« Oui, j'adapte mon parcours. Je passerais pas par un parc à Luxembourg. Enfin... j'évite toute seule de passer la nuit. » Pawlux 18

« Hem yes, I would. I would walk at night faster because I want to go home faster or to the destination because it's cold and if it's like really late I would also not walk, like I wouldn't if there is a park, for example, I would walk in the other side than where's the park directly because of being careful. » Pawlux 15

Pour les enquêtés, le trajet le plus sûr ne fait pas seulement référence à la criminalité mais aussi à la sécurité routière et la cohabitation avec d'autres modes de transports. Là encore les enquêtés font des différences selon l'heure de déplacement. En heure de pointe, Pawlux 19 évoque les dangers liés à la circulation.

« Le trafic, le trafic, parce que là on est parti à 19h30 à peu près et il y avait pas mal de voitures en centre-ville, donc il faut quand même faire attention avant de traverser ou même dans la rue si il y a pas une voiture qui arrive. » Pawlux 19

Pour Pawlux 10, même si la circulation la nuit est plus calme, la vitesse des véhicules augmente alors que la visibilité diminue, ce qui rend la cohabitation tout aussi dangereuse.

« Euh de nuit, je serais peut-être plus passé par les trois tours [na. rue Wiltheim] parce que par là c'est un peu la route. De l'autre côté, sur la route, le trottoir est pas très large, généralement tu as les bus qui arrivent à balle ici. C'est pas enfin... je serais moins rassuré en passant par là que par les trois tours. Bizarrement. » Pawlux 10

La présence d'infrastructures routières peut également poser quelques difficultés aux personnes vulnérables en matière de traversées.

« Pawlux 9bis a plutôt préféré passer par en dessous [na. passage souterrain Hamilius] [...], nous on connaît un petit peu le quartier parce qu'on vit pas loin, c'est des feux très rapides. Généralement quand on traverse avec un enfant, quand on traverse cette route-là [na. boulevard Royal], le feu devient rouge à peu près au trois quarts du chemin. Surtout si il y a beaucoup de circulation. » Pawlux 9 et Pawlux 9bis

De surcroît, le sentiment d'insécurité conséquent à la cohabitation avec d'autres modes de transport s'accroît lorsque le même espace est partagé sans délimitation. Les différences de vitesses entre les modes semblent être à l'origine du malaise. Pawlux 24 cite la cohabitation avec les cyclistes sur les trottoirs ou les allées.

« Yes they can be quite aggressive [na. trottoirs partagés avec les cyclistes]. Sometimes, if you're accidentally on their pavement, on their track, they will just beat you and scare you. » Pawlux 4

Pawlux 25 revient, quant à elle, sur une particularité de la ville de Luxembourg : les chaussées mixtes. Il s'agit de voies où tous les modes de transports peuvent circuler librement à condition de respecter les autres (cf. chap. V-2-2.3).

« Bouof, je sais pas. Après c'est toujours compliqué de partager la même voie. Je sais pas si on peut parler de deux moyens de locomotion différents. T'as un moyen de locomotion, la voiture, et t'as les gens qui se promènent. Je pense que je préférerais des endroits bien délimités parce que tu dis : chacun a libre accès au truc mais bon tu marches moins vite que la voiture ne peut rouler même si c'est elle roule au pas. Donc c'est chiant pour les usagers. Toi tu te sens pressé aussi. Donc t'es pas mieux... » Pawlux 25

Au final, la faisabilité, l'accessibilité et la sécurité sont trois éléments en interaction dans les choix d'itinéraires selon le contexte. Bien que toujours essentiels, le sens de priorité de ces critères peut changer lorsque le budget-temps des enquêtés est moins contraint.

2.2. Sensibilité à la qualité de l'environnement dans des situations non-contraintes

Lorsque les usagers ont du temps libre, leurs planifications d'itinéraires n'ont pas forcément pour critère principal l'efficacité mais plutôt la qualité environnementale ou encore l'intérêt des lieux. Les enquêtés choisissent alors volontiers les trajets qu'ils considèrent comme les plus jolis/agréables ou encore les plus intéressants tout en maintenant un degré d'exigence quant à l'accessibilité et la sécurité.

« Ah oui, ça par contre oui. Si c'est un itinéraire détente, on va dire, où je me ballade, c'est-à-dire où je me déplace sans avoir de lieux précis d'arriver. Là effectivement, je prendrais toujours le chemin le plus sympa. » Pawlux 7

Toutefois, les témoignages indiquent qu'une fois l'itinéraire planifié, les usagers sont peu enclins à effectuer des détours de plus de quelques minutes pour passer par des points d'intérêts en dehors de leurs trajectoires envisagées. Pour Pawlux 13, la tolérance au détour semble proportionnelle à la longueur du trajet.

« Euh... ça dépend du « un peu plus long ». Si ça me fait perdre une minute, oui je le prendrais. Parce que là il nous a fallu 10 minutes pour faire un trajet, ça me fait perdre 3-4 minutes, c'est déjà 25-30 % de mon trajet. Ce qui est énorme ! » Pawlux 13

Cette capacité de détour est par ailleurs fortement influencée par les conditions météorologiques d'après Pawlux 23.

« S'il fait beau oui, là y'a 50 % de chances que je fasse le détour alors que s'il ne fait pas beau, que le temps est gris 25 % ou qu'il pleut 0 % de chances que je fasse le détour. » Pawlux 23

Le trajet le plus joli / agréable

Les trajets considérés comme les plus agréables semblent principalement faire appel aux dimensions construites et sensibles en faisant en général appel aux sens des piétons. Le trajet le plus agréable n'est pas forcément conçu comme le plus accessible ou le plus confortable. Si les usagers prennent le temps de parcourir un itinéraire qui leur semble le plus esthétique, ils sont prêts à fournir un effort supplémentaire quitte à franchir ce qu'ils considèrent usuellement comme des obstacles ou effectuer des détours pour y parvenir. Par ailleurs, les dimensions construites et sensibles peuvent aussi intervenir dans la relation usagers-environnement de manière récurrente ou événementielle. Des facteurs comme la vue, les sons, la luminosité ou encore l'odorat sont ainsi perçus comme désagréables ou agréables selon la provenance. Si la vue est un des sens principaux utilisés pour s'orienter ou se prévenir d'obstacle, elle est également suscitée pour apprécier l'esthétique d'un environnement. Les enquêtés citant les trajets qu'ils considèrent comme les plus agréables mettent largement en avant la qualité du design urbain et la présence de végétation. Pawlux 13 s'attarde ainsi sur l'importance de l'architecture des lieux et la présence de points de vue.

« Les espaces verts, clairement. Tout ce qui est architecture, tout ça. Je vais choisir une rue où l'architecture me plaît. Les points de vue, tout ce qui est qualité paysagère. D'ailleurs, largement avant tout ce qui est aménité. Vraiment qualité paysagère en premier lieu, dont l'architecture, des points de vue, etc. » Pawlux 13

Pawlux 10 prête, quant à lui, plus particulièrement attention à la hauteur et aux façades de bâtiments.

« Ben après oui, moi je passe par là parce que c'est joli entre la place, les petits bâtiments. Parce que bon passer places d'Armes, souvent il y a beaucoup trop de monde. Enfin, c'est pas aussi esthétique que ça avec le Mc Do', le machin. » Pawlux 10

La qualité du design urbain est non seulement mentionnée au travers de l'esthétique paysagère et architecturale mais aussi de la présence d'aménagements urbains. Ainsi Pawlux 11 se sent plus à l'aise lorsque l'environnement possède du mobilier à échelle humaine tel que des bancs.

« Ben c'est plus attractif, parce que c'est plus agréable. En termes de déplacement c'est plus facile, plus sécurisé, c'est aménagé pour le piéton, donc tu as des arbres, t'as des bancs, enfin. » Pawlux 11

Par ailleurs, la présence de végétation est également régulièrement mentionnée par les enquêtés. Les usagers expliquent en partie cet engouement par la qualité visuelle de la végétation. Certains usagers, tels que Pawlux 15, cherchent alors à multiplier les passages à travers les parcs de jour.

« Yeah during day time I prefer to cross the park. I usually walk from my place to Hamilius and I can go through two parks and I always do, because it's nicer. » Pawlux 15

L'esthétique des paysages urbains n'est toutefois pas immuable. Pawlux 11 explique ainsi prendre des parcours différents en fonction du jour et la nuit.

« Si j'ai le temps, c'est en termes de beauté de paysage. Les paysages sont pas pareils. Je vais avoir des itinéraires préférés de nuit et de jour. » Pawlux 11

La luminosité dans les rues au cours de la journée est également citée par Pawlux 7 comme une raison de changement de trottoir. Il cherche ainsi à suivre les espaces les plus dégagés.

« Je pense que d'une façon assez instinctive, je choisis toujours le côté le mieux éclairé. Là où il y a le plus de lumière, là tu vois c'est sans doute l'impression que j'ai eu c'est qu'il y avait un truc qui était bouché, qui était sombre, comme je vois pas non plus super bien. » Pawlux 7

Après la vue, le sens le plus suscité semble être l'ouïe où les situations de calme et d'animation sont alternativement mises en valeurs selon l'état d'esprit des usagers. L'absence de trafic ou de foule est ainsi associée à une sensation de calme et de silence. Pawlux 18 indique ainsi préférer les rues piétonnes aux trottoirs pour échapper au bruit des véhicules motorisés.

« Je pense que si j'ai le choix entre une rue piétonne et une rue avec de la circulation, ce serait la rue piétonne par rapport au bruit. » Pawlux 18

Pawlux 6 évalue les voitures comme une gêne sonore à partir d'une certaine fréquence de trafic. S'il cherche ainsi à éviter les grands boulevards, marcher dans les petites rues est une solution qui lui convient.

« Si c'est des boulevards très fréquentés par les voitures, de gros gros boulevards comme l'avenue de la Liberté. Je suis prête à passer par des petites rues en parallèle pour éviter le bruit des voitures. Ouais. » Pawlux 6

L'impression que laisse la présence de la foule dans un espace est ambiguë comme le souligne Pawlux 12.

« Sinon j'ai choisi le parcours parce que je le trouve plus sympathique aussi parce qu'il y a du monde. [...] Ouais la foule ça peut m'attirer comme ça peut me repousser. » Pawlux 12

Certains enquêtés, tels que Pawlux 16, l'associent à une gêne sonore selon leur état d'esprit.

« Spontanément celle avec plus de monde, mais il m'arrive aussi d'avoir envie d'un peu plus de calme, de ne vouloir voir personne, entendre personne et je peux aussi apprécier de jour d'être dans une petite rue déserte où je peux regarder les façades, les fenêtres, les portes. Ça c'est aussi quelque chose que j'apprécie. » Pawlux 16

A l'inverse, la présence de musique et de passants dans les rues peut être valorisée et qualifiée d'atmosphère vivante et chaleureuse. La présence d'animation (foule,

événementiel, présence de terrasses) est ainsi mise en valeur à condition qu'elle n'interrompe pas les flux piétons. Pawlux 15 reconnaît ainsi avoir ralenti à l'écoute de musiciens jouant dans un kiosque sur une place.

« When the musicians were there, maybe I slowed down, I don't know. I slowed down a bit because I liked to listen a bit. » Pawlux 15

Pawlux 3, quant à lui, considère la foule comme joyeuse et familière en delà d'un certain seuil de densité qui ne semble pas atteint à Luxembourg-Ville.

« Oh non, je pense pas. C'est pas rédhibitoire, ça a un côté sympa. C'est pas une foule [rire] oppressante on va dire. C'est pas la grande foule des grandes villes. J'ai l'impression que c'est une foule que je connais, c'est la foule du Luxembourg. [rire]. » Pawlux 3

Pour finir, bien que secondaires dans les choix d'itinéraires, les odeurs pourront également contraindre les routines de déplacement si elles s'avèrent récurrentes. Pawlux 2 revient, en effet, sur un des trajets effectués où une ruelle possédait une forte odeur de déjections.

« L'odeur, oui. Les bâtiments, ce ne sont que des bureaux, en plus assez laids, qui ne sont pas très beaux à voir, donc oui... c'est plus intéressant avec un peu plus d'animation urbaine, des magasins, des gens, au lieu de bâtiments de bureaux laids avec des graffitis, des odeurs. [rire] Les odeurs on ne l'a pas su à l'avance. » Pawlux 2

Bien que, la plupart du temps, les odeurs ne peuvent être anticipées, elle explique par la suite qu'elle évite toujours cette ruelle car ce genre de désagréments y est fréquent.

Les trajets les plus jolis/agréables relèvent donc particulièrement du domaine du sensible. Lorsque les usagers piétons ont du temps à consacrer à la marche, ils prennent volontiers des parcours qu'ils considèrent favorables à leur bien-être. Les entretiens révèlent que la présence de végétation est un critère déterminant chez l'ensemble des usagers pour des raisons esthétiques mais aussi pratiques (ombrage, protection de la pluie). La qualité du design urbain et la présence d'animation sont ensuite mentionnées en tant qu'éléments attractifs mais leurs influences semblent dépendre des usagers piétons et de leur état d'esprit. Au-delà de critères esthétiques, la sensibilité des usagers piétons à ce qui les entoure semble également ressortir lorsqu'ils cherchent à emprunter le trajet qu'ils considèrent le plus intéressant.

Le trajet le plus intéressant

La volonté d'emprunter les chemins *les plus intéressants* est citée par les enquêtés à la fois dans le cadre utilitaire ou récréatif de la marche. Bien que subjective, cette appellation fait référence à des parcours proposant des activités et des paysages urbains diversifiés qui vont soit susciter l'attention de l'individu, soit lui permettre de réaliser une tâche prévue dans son planning d'activités. Dans le cadre d'une marche utilitaire, les trajets les plus intéressants peuvent être choisis pour passer devant un maximum d'aménités. Ce choix d'itinéraires est énoncé dans

un contexte où le budget-temps est moins contraint ce qui laisse alors la possibilité d'effectuer quelques petits détours pour faire des achats utilitaires comme l'explique Pawlux 7.

« Ca m'arrive jamais [rire] d'avoir du temps en général. Si j'ai du temps, quand je suis en cours de trajet, je vais du coup, comme tu le disais tout à l'heure, modifier l'itinéraire pour faire un truc entre-temps. Donc, du coup, je vais remoduler le trajet, je ne vais pas passer par le trajet logique mais ça va me permettre, je sais pas, d'acheter du pain, des clopes, je ne sais quoi. » Pawlux 7

Pawlux 22 indique ainsi emprunter volontairement des trajets lui permettant de passer devant des restaurants. Bien que moins jolis, ces itinéraires lui permettent d'acheter à manger au passage.

« Souvent je prends le passage pour aller jusqu'à place d'Armes de place Guillaume. Et comme je t'avais dit, il y a le Mc Do' donc j'vais pour manger un peu et pour passer je pense que c'est pas le chemin le plus agréable non plus. [...] C'est plus l'architecture et le fait que tu as de l'espace sur la place d'Armes, peut-être un peu moins que place Guillaume. Parce que place Guillaume, il n'y a que de l'espace et rien du tout en plus. Sur la place d'Armes tu as quand même les terrasses, la restauration, quelque chose comme ça, donc c'est beaucoup plus sympa. » Pawlux 22

L'intérêt de ce type de trajet n'est pas toujours lié à une action mercantile, comme l'explique Pawlux 25. Une marche récréative peut ainsi permettre d'effectuer du repérage.

« Oui ça peut être un but de promenade sans être un but réel. Parfois on fait les magasins sans forcément y rentrer. » Pawlux 25

Pour Pawlux 8, les trajets d'intérêts offrent également l'opportunité de croiser des connaissances en favorisant les voies pédestres avec des terrasses.

« A la limite je préfère le trajet que j'ai fait à l'aller parce qu'il fait beau tu passes devant quelques bars donc tu vois un peu de gens. » Pawlux 8

Prioriser les voies dotées d'aménités permet aux usagers d'ouvrir la marche à un potentiel d'actions annexes. Le trajet le plus intéressant est également référé par certains enquêtés comme celui offrant la plus grande diversité de paysages. Pawlux 21 fait ainsi part de l'importance pour lui de combiner différentes formes de voies lors d'un parcours pour le considérer intéressant.

« Oh yes, I guess I prefer like combinations. When you have like wide squares, or wide streets, like I don't know streets and afterward very narrow streets. I would say that I prefer combination. » Pawlux 21

En fin de compte, l'étude des déplacements quotidiens en milieu intra-urbain pour une grande diversité d'usagers piétons nécessite d'envisager à la fois la présence de coupures urbaines et d'obstacles potentiels au déplacement mais aussi celle de configurations jugées comme favorables au déplacement piéton par les usagers enquêtés.

Influence des éléments de l’environnement sur la perception de la qualité environnementale

A partir des entretiens qualitatifs menés auprès d’un échantillon d’usagers piétons se déplaçant régulièrement à Luxembourg-Ville, une première hiérarchie d’éléments représentatifs de la qualité du design urbain peut-être proposée selon la fréquence de citations dans les entretiens et leurs mises en valeur par les usagers pour compléter la démarche du chapitre VI-2-2.2 (cf. figure VII-1). L’importance qu’accordent les usagers à chaque caractéristique (image, fermeture, échelle humaine, transparence, complexité) et aux éléments les décrivant permet alors d’évaluer dans quel contexte ces derniers ont une influence sur la capacité d’un espace à favoriser la marche.

Figure VII-1 : *Influence des éléments de l’environnement sur la perception de la qualité du design urbain d’après les enquêtes*

Qualité du design urbain		Poids
Image	Bâtiment remarquable (moins de 10 m)	30
	Place, cours et square	30
	Terrasse	20
	Point de vue remarquable (moins de 5 m)	10
	Oeuvre d’art (moins de 10 m)	10
	Point d’eau (moins de 5 m)	10
Fermeture	Largeur de plus d’1,50 m	30
	Voie longeant un mur (moins de 2 m)	10
Echelle humaine	Mobilier urbain (banc, poubelle, panneau)	20
	Arbre isolé et pot de fleurs	30
Transparence	Vitrine en rez-de-chaussée (moins de 5 m)	30
Complexité	Densité du bâti	20
Source : Enquête usagers Pawlux 2014-2015 Auteur : Victor N., 2016		

Parmi les cinq thèmes représentant la qualité du design urbain, l’image est celui le plus mis en avant par les usagers et plus particulièrement l’architecture des lieux. Les espaces ouverts comme les places ou les voies larges sont considérés comme lumineux et avenants. En outre, l’impression de voies fermées avec des largeurs étroites poussent régulièrement les enquêtés à changer de voies ou à marcher sur la chaussée. Enfin, la présence de végétation ainsi que de vitrines commerciales sont également fortement favorisées.

Conclusion du chapitre VII

Les entretiens effectués auprès des usagers révèlent différents degrés de priorité dans les conditions de déplacement que recherchent les piétons. La faisabilité de l’itinéraire détermine non seulement le choix de celui-ci mais aussi le

mode de déplacement. Sans surprise, les usagers possédant un PHC de moins de 42 sont fortement préoccupés par l’accessibilité et le confort des lieux en priorité. Bien que certains d’entre eux soient aussi très réceptifs à la dimension sensible de l’environnement (ambiance visuelle, sonore), la nécessité de trouver avant tout un parcours confortable semble pour eux une priorité. Le reste des conditions que cherchent à satisfaire les usagers piétons dans leur déplacement dépend du contexte. La fluidité de déplacement demeure néanmoins déterminante dans leurs comportements de mobilité pédestre. Bien que le nombre d’enquêtes n’autorise pas une estimation représentative des pratiques piétonnes à Luxembourg-Ville, l’analyse de ces entretiens permet tout de même de proposer une première pondération des indicateurs – à l’instar de la démarche utilisée dans le chapitre V-1-1.2 – pour former un Indice Synthétique de *Walkability* (ISW) (cf. chap. VI-3-3.1). A cet effet, une hiérarchie peut être proposée en fonction de l’influence de l’état de santé sur la mobilité pédestre des usagers au quotidien dans deux contextes de déplacement selon que le budget-temps soit contraint ou non.

Figure VII-2 : *Pondération des indicateurs de l’indice synthétique de walkability selon l’état de santé et le contexte de déplacement*

Indicateur ISW \ PHC	> 53		entre 43 et 52		< 42	
	Budget-temps		Budget-temps		Budget-temps	
	Contraint	Non contraint	Contraint	Non contraint	Contraint	Non contraint
Connectivité	30	20	30	20	30	30
Linéarité	30	10	30	10	30	10
Potentiel d’accessibilité	10	10	20	20	30	30
Accessibilité inclusive	10	10	20	20	30	30
Proximité aux aménités	30	20	30	20	30	20
Mixité de l’occupation du sol	10	20	10	20	10	20
Densité de végétation	10	30	10	30	10	30
Densité de population	10	20	10	20	10	20

Source : Enquête usagers Pawlux 2014-2015 | Auteur : Victor N., 2016

Dans le cadre d’un déplacement piéton avec un budget-temps contraint, la connectivité et la linéarité sont valorisées pour les trois catégories afin de tenir compte de la volonté commune des usagers d’effectuer des déplacements fluides. Si l’accessibilité, au sens de capacité d’accéder physiquement à un espace, est considérée en fonction du PHC, la proximité aux aménités est en revanche valorisée pour les trois groupes de manière à tenir compte de l’importance de l’accessibilité aux services (nœuds d’échanges multimodaux, aménités, etc.). Enfin, des poids faibles ont été attribués aux trois derniers indicateurs de manière à limiter leurs influences sur l’ISW puisque la mixité de l’occupation du sol, la présence de végétation et/ou de population ne sont pas toujours considérées de la même façon selon le contexte, voire selon les usagers. Dans le contexte d’un déplacement piéton avec un budget-temps non contraint, les enquêtés ont indiqué être moins préoccupés par la réalisation de détours bien que les traversées de chaussées

apparaissent toujours comme un obstacle. Chez les personnes dont la santé influence leur vie quotidienne (PHC > 42), la connectivité reste importante car synonyme de difficulté potentielle de franchissement. L’accessibilité aux lieux demeure une condition déterminante d’un déplacement quel que soit le contexte. La proximité aux aménités est moins prioritaire car une distance raisonnable à parcourir est synonyme de promenade. En revanche, l’intérêt des lieux, la qualité environnementale et paysagère et la possibilité d’interactions sociales apparaissent beaucoup plus importantes aux yeux des enquêtés dans ce cadre de déplacement. Si ces propositions de pondération restent ouvertes au débat et ne peuvent encore être utilisées systématiquement, un test sur le terrain de Luxembourg-Ville peut néanmoins contribuer à identifier d’éventuelles inégalités dans la capacité de l’espace à favoriser les déplacements piétons selon l’état de santé des usagers.

Chapitre VIII.

Accessibilité piétonne dans la ville de Luxembourg : un mode de déplacement ouvert à tous ?

Capitale du Grand-Duché de Luxembourg, le territoire de la ville de Luxembourg, plus communément appelé « Luxembourg-Ville », possède une surface de 52 km², soit environ 2 % du territoire national^{L1}. Il s'agit d'une ville très cosmopolite avec 69 % de résidents étrangers parmi 115 227 habitants et une densité de 2 239 habitant/km², en 2016^{LII}. Il s'agit d'une cité historique, classée patrimoine mondial par l'UNESCO, dont les rues du centre-ville peuvent se révéler sinueuses, pavées et pentues. Bâtie sur un plateau encaissé, deux rivières forment des vallées qui scindent l'espace. La ville est ainsi fortement contrainte par la présence de barrières naturelles malgré la présence de nombreux ponts et ascenseurs urbains. Avec un territoire administratif de 5 173 hectares, découpé en 24 quartiers, la ville de Luxembourg possède un réseau total de 1 250 km de voies en comptant les infrastructures routières (37 %), ferroviaires (6 %) et pédestres^{LIII} (57 %). Les voies cyclables, étant en partie aménagées sur les voies routières et pédestres, ne sont pas prises en compte dans le total mais représentaient 152 km, en 2012^{LIV}. Généralement dédoublée autour des infrastructures routières, les voies pédestres se révèlent ainsi majoritaires en milieu intra-urbain. De surcroît, l'aversion des piétons pour les détours et leurs tendances à prendre des raccourcis fait que le réseau pédestre n'inclut pas seulement des infrastructures élaborées à l'intention de ce mode. Celui-ci compte ainsi véritablement dix-sept types de voies différentes à Luxembourg-Ville – trottoir, passage piéton, traversée informelle,

^{L1} Mesure fournie par la Ville de Luxembourg, vu le 02/09/15 :

<http://www.vdl.lu/La+Ville/La+ville+en+chiffres.html>

^{LII} Statec :

http://www.statistiques.public.lu/stat/TableViewer/tableView.aspx?ReportId=12862&IF_Language=fra&MainTheme=2&FldrName=1

^{LIII} Les infrastructures pédestres sont considérées ici comme les aménagements mis à la disposition des usagers piétons par la ville : trottoir, passage piéton, allée, rue piétonne, place, traverse, escalier, ascenseur et passerelle.

^{LIV} Mesure fournie par la Ville de Luxembourg, vu le 03/09/15 :

<http://www.vdl.lu/Mobilit%C3%A9/V%C3%A9lo/Itin%C3%A9raires+et+promenades.html>

allée, chemin, sentier, rue piétonne, place, pelouse, parking, traverse, escalier, ascenseur, chaussée mixte, pont et passerelle – et s'étend au total sur 1 184 km. Toutefois, certaines de ces voies ne permettent pas d'accueillir une grande diversité d'usagers piétons. Des situations d'inadéquation peuvent en effet survenir et être à l'origine d'inégalités d'accès à certaine partie du réseau pédestre et à ses services. *Dans un contexte où garantir une liberté de déplacement à tous les usagers est un enjeu prioritaire mais aussi une réalité hétérogène selon les pays [ONU, 2006], analyser la capacité d'un réseau pédestre à être accessible et à desservir des aménités apparaît ainsi indispensable pour promouvoir la marche dans un territoire.* A cet effet, une analyse multi-échelle permet d'identifier en deux phases les situations d'enclavement et d'inégalité d'accès au réseau pour différents profils de mobilité pédestre.

Dans un premier temps, la capacité du territoire à fournir un réseau pédestre bien connecté et accessible à une grande diversité d'usagers est étudié à travers la présence de coupures urbaines naturelles et anthropiques. A travers des coûts globaux d'accessibilité temporelle et énergétique, il est alors possible d'identifier non seulement les espaces enclavés sur le territoire de Luxembourg-Ville mais aussi de révéler des inégalités d'accès au réseau pédestre selon les usagers piétons. Dans un second temps, une analyse plus approfondie du centre-ville est proposée à partir des informations collectées lors d'un audit urbain (cf. chap. IV-3-3.2). Une étude à cette échelle permet d'identifier les particularités de l'environnement urbain de la capitale ainsi que leurs effets sur l'accessibilité.

1. Présence de coupures urbaines et effets sur l'accessibilité globale piétonne

Dans le cadre de la marche, les coupures urbaines peuvent être de sources naturelles (topographie, hydrographie) mais aussi anthropiques (infrastructures de transport, bâti). Leurs présences conditionnent la morphologie du réseau, les temps d'accès mais peuvent aussi restreindre l'accessibilité à certains espaces de la ville selon les caractéristiques des usagers. Le réseau pédestre de Luxembourg-Ville s'avère globalement bien connecté avec un indice *gamma* de 0,48^{LV} quand des villes en forme de damier comme Los Angeles ou San Diego indiquent des valeurs respectives de 0,45 et 0,41. Toutefois, une mesure de la capacité du réseau à être linéaire affiche un détour moyen de 32 % indiquant des allongements de parcours pouvant être dissuasifs pour les non-motorisés. Une brève analyse de la morphologie du réseau dévoile ainsi la présence de nombreuses coupures urbaines sur le territoire. *Néanmoins, quelles implications ont-elles vraiment sur l'accessibilité globale du réseau pédestre et sur les interrelations usagers-environnement ?* Tout d'abord, ces dernières doivent être identifiées et localisées pour saisir leurs influences sur les déplacements piétons. Puis, une analyse de l'accessibilité globale du réseau pédestre peut identifier des espaces de la ville

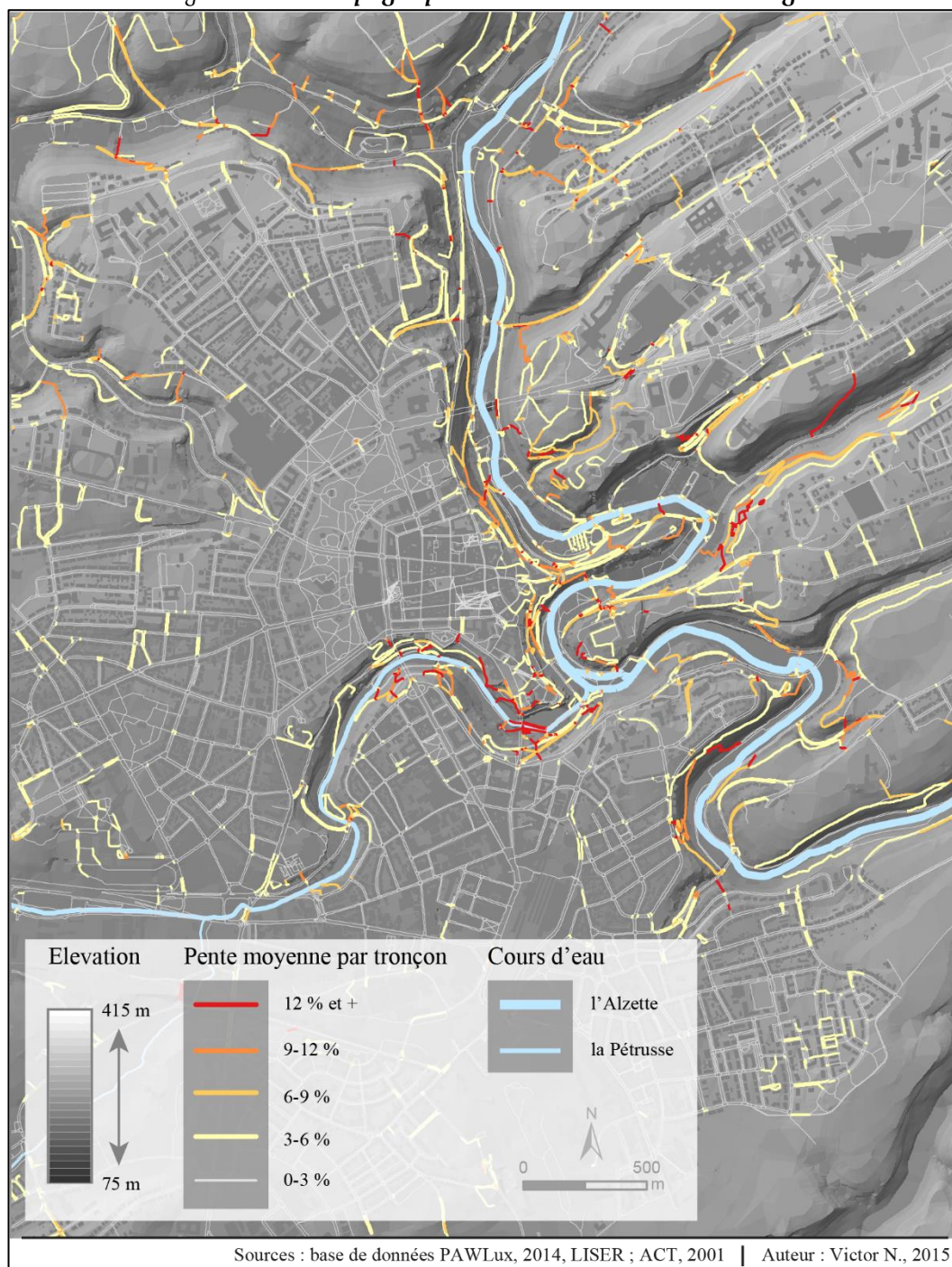
Cf. chap. VI-1-1.1 sur les indices de connectivité et de linéarité

enclavés par la présence de coupures urbaines. Enfin, dans un troisième temps, l'utilisation de diverses variables interindividuelles permet de mettre en avant des inégalités d'accès sur le réseau en fonction d'une grande diversité d'usagers.

1.1. Coupures urbaines sur le territoire de la ville de Luxembourg

La ville de Luxembourg est bâtie sur un plateau encaissé par deux rivières (la Pétrusse et l'Alzette) qui forment des vallées éponymes. Marquée par une topographie accidentée, les pentes peuvent dès lors varier de 0 à 62 % avec une pente moyenne générale à 2 %. La figure VIII-1 localise les espaces urbains les plus touchés par la topographie et l'hydrographie.

Figure VIII-1 : Topographie de la ville de Luxembourg

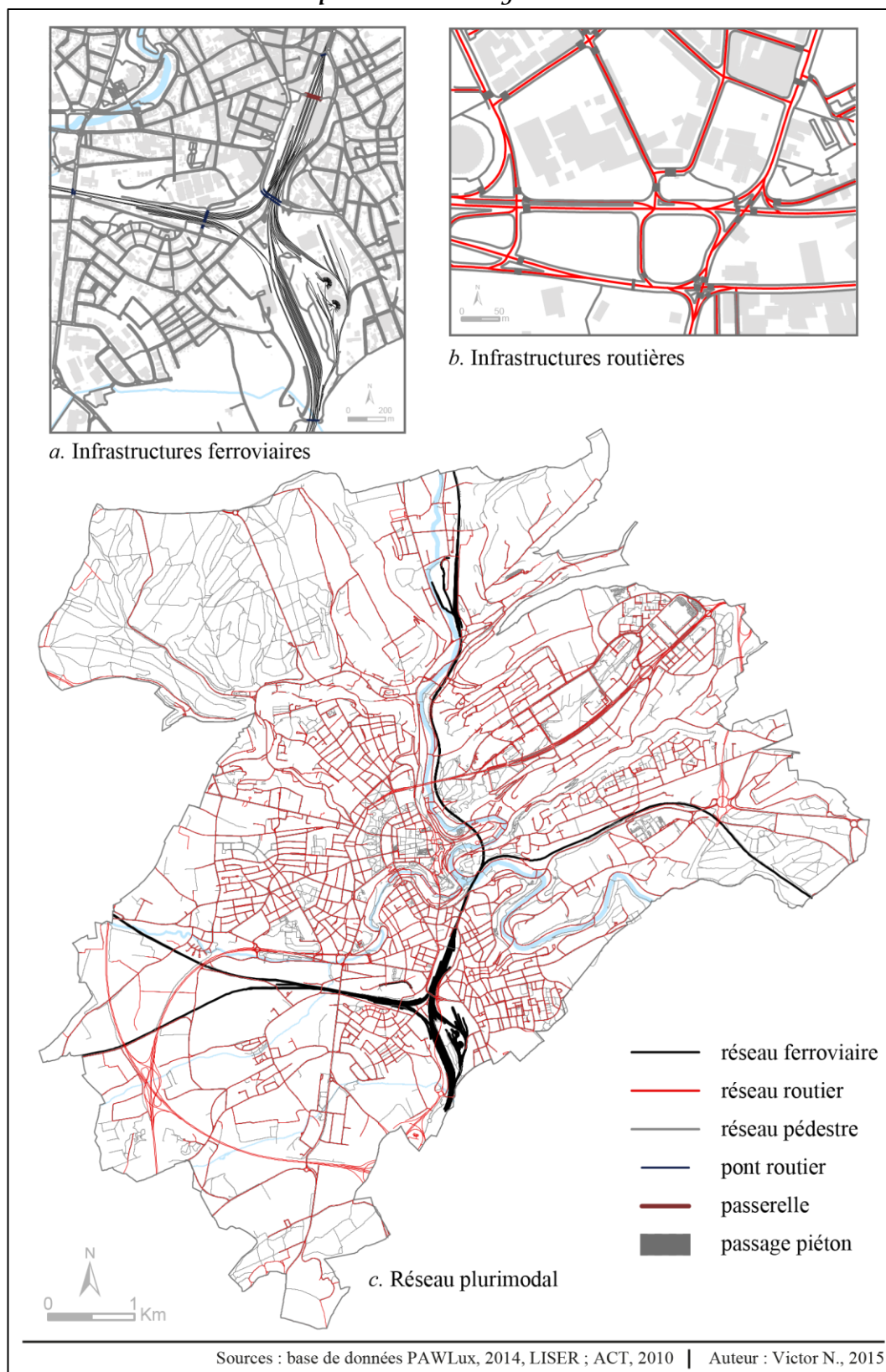


Elle illustre les pentes les plus importantes de part et d'autre des deux rivières avec des valeurs moyennes à 7 % et une valeur maximale enregistrée à 35 %. De nombreux escaliers permettent également de rejoindre les fonds de ces vallées avec environ 55 escaliers, soit un total d'approximativement 897 marches. Le plus long escalier permet de se rendre de la Cité Judiciaire à la vallée de la Pétrusse et requiert une succession de 160 marches. L'accès aux quartiers situés en fond de vallées demande donc un effort physique important qui peut même s'avérer insurmontable pour certains usagers piétons. La stratégie de la Ville de Luxembourg pour

désenclaver ces espaces a été de mettre en place des ascenseurs urbains accessibles aux piétons et aux cyclistes. Un premier ascenseur relie ainsi la Ville-Haute au Grund et un second est prévu à l'horizon 2016 pour relier la Ville-Haute au quartier de Pfaffenthal. Si un ascenseur nécessite une attente qui n'offre pas toujours des temps de trajet optimaux, sa mise en place garantit une accessibilité pour tous et requiert une consommation énergétique minimale [Victor *et al.*, 2011]. En outre, la ville est dotée de 137 ponts routiers et de 60 passerelles piétonnes en réponse à la topographie et à l'hydrographie contraignantes. Par sa topographie et son hydrographie, Luxembourg se révèle ainsi un excellent terrain d'étude pour analyser les effets de coupures urbaines naturelles sur les déplacements piétons et l'influence de la mise en place d'aménagements (passerelle, pont, ascenseur) sur l'accessibilité.

Par ailleurs, si la ville de Luxembourg possède un réseau piéton plutôt bien connecté, la présence de nombreuses infrastructures de transports crée des coupures dans certains quartiers et peuvent dès lors imposer d'importants détours ou franchissements verticaux (cf. figure VIII-2).

Figure VIII-2 : Coupures urbaines conséquentes aux infrastructures de transports routiers et ferroviaires

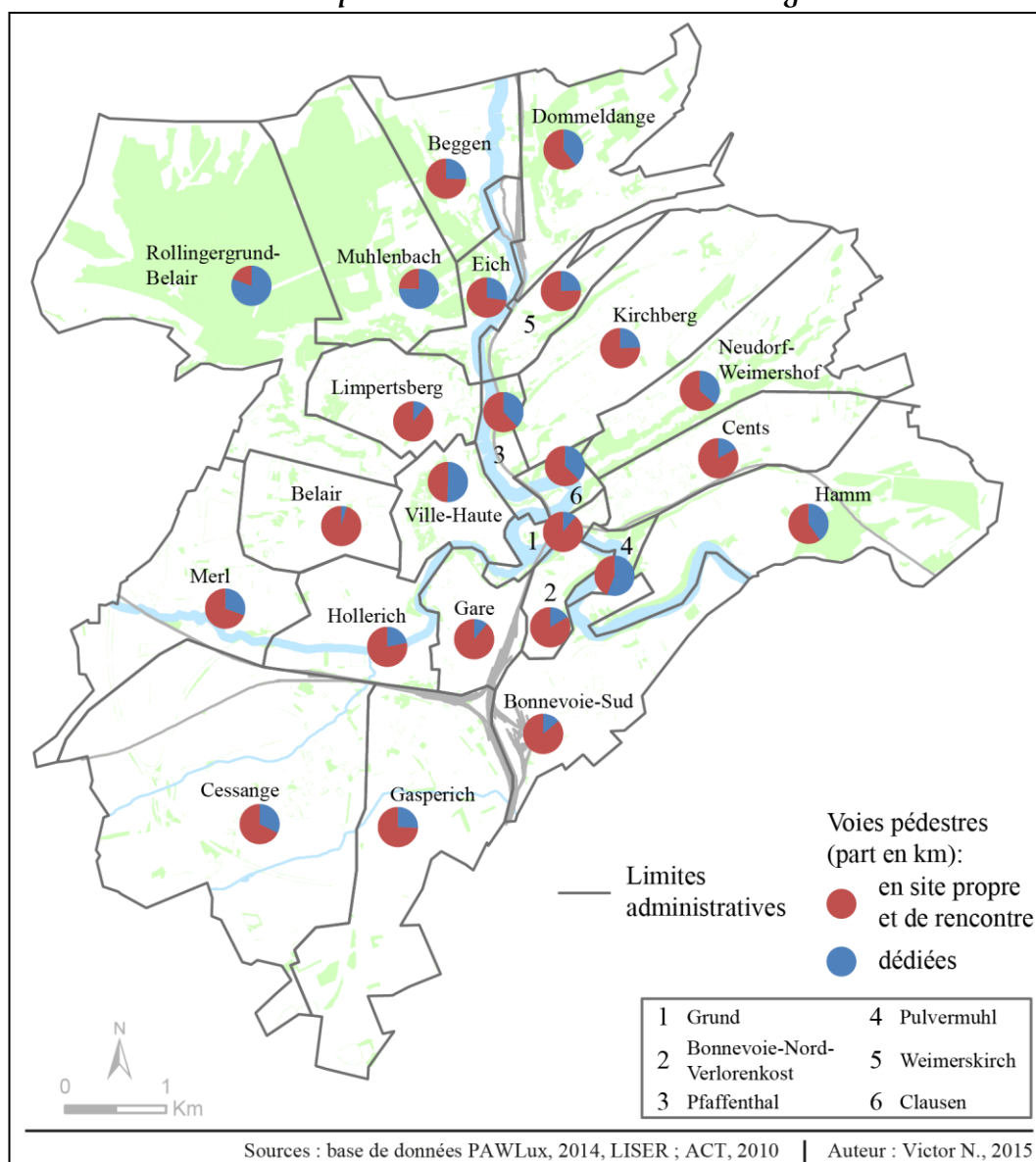


Les infrastructures routières créent tout particulièrement des effets de coupure lorsqu'elles possèdent plus de trois voies et abritent un trafic dense. Si l'aménagement de passages piétons offre une certaine continuité au réseau pédestre, dans les faits, les arrêts répétés pour traverser augmentent les coûts de déplacement (temporel, énergétique). A l'échelle du réseau de la ville de Luxembourg, il existe 453 feux piétons recensés dont 38 avec des boutons d'appel ce qui équivaldrait pour un homme (18-65 ans) à un surcoût total équivalant à 40 km sur le réseau pédestre initial de 1 184 km. En outre, si le tissu urbain est déjà contraint par la présence de routes, les infrastructures ferroviaires divisent également la ville en quatre. Le sud est particulièrement touché avec la présence de la gare et d'une plate-forme ferroviaire. La mise en place de passerelles et de ponts routiers a pour but de contrer ces effets mais, comme la figure a : *Infrastructures ferroviaires* permet de le constater, l'empreinte des voies dans un quartier peut parfois rendre toutes traversées impossibles sur de longues distances. D'ici 2020/2021, l'installation de plusieurs lignes de tramway devrait également augmenter le réseau d'infrastructures de transport en ville de 16 km environ^{LVI}. A l'échelle du piéton qui marche en moyenne sur des distances de 300-400 mètres [Carré et Julien, 2000 : p. 33], ces détours représentent de véritables barrières psychologiques, voire physiques.

Pour finir, les nuisances directes et indirectes qu'apportent les transports motorisés (pollution, bruit, sécurité, etc.) renforcent également les effets de coupures. A Luxembourg-Ville, la présence de 458 km de réseau routier rend indispensable la création d'infrastructures pour sécuriser les usagers piétons (trottoir, passage piéton). Ces dernières composent 64 % du réseau pédestre en comptant les espaces de rencontre et ceux en site propre. *A contrario*, une analyse des proportions de voies dédiées – c'est-à-dire où la circulation piétonne est prioritaire aux autres transports sur toute la voirie – au sein des 2 quartiers de la ville permet d'identifier les zones administratives les plus propices à la marche (cf. figure VIII-3).

^{LVI} Luxtram : <http://www.luxtram.lu/fr/>

Figure VIII-3 : Les espaces pédestres et la présence de véhicules motorisés dans les 24 quartiers de la ville de Luxembourg



La présence de voies contraintes par la présence d'autres modes de transports est majoritaire dans la plupart des quartiers de la ville à l'exception du Rollingergrund et de Muhlenbach, en périphérie, qui proposent de nombreux sentiers de randonnées et du Pulvermuhl qui abrite un parc urbain en bord de l'Alzette. Bien que la ville de Luxembourg soit aménagée selon un plan radioconcentrique avec des infrastructures transversales rejoignant le cœur de ville, le quartier Ville-Haute est, quant à lui, composé pour la moitié d'espaces dédiés à la circulation piétonne sur toute la voirie. Ce phénomène s'explique par l'aménagement d'un plateau piéton en cœur de quartier et d'un grand parc urbain à l'Est. Pour finir, les quartiers dotés du plus grand nombre d'espaces en site propre sont situés dans la première ceinture et entourent le quartier Ville-Haute (Gare, Grund, Belair et Limpertsberg). Il s'agit dans l'ensemble d'espaces résidentiels traversés par des rues à voies uniques, complétés par des routes collectrices à plusieurs voies où se concentrent les aménités. Afin de

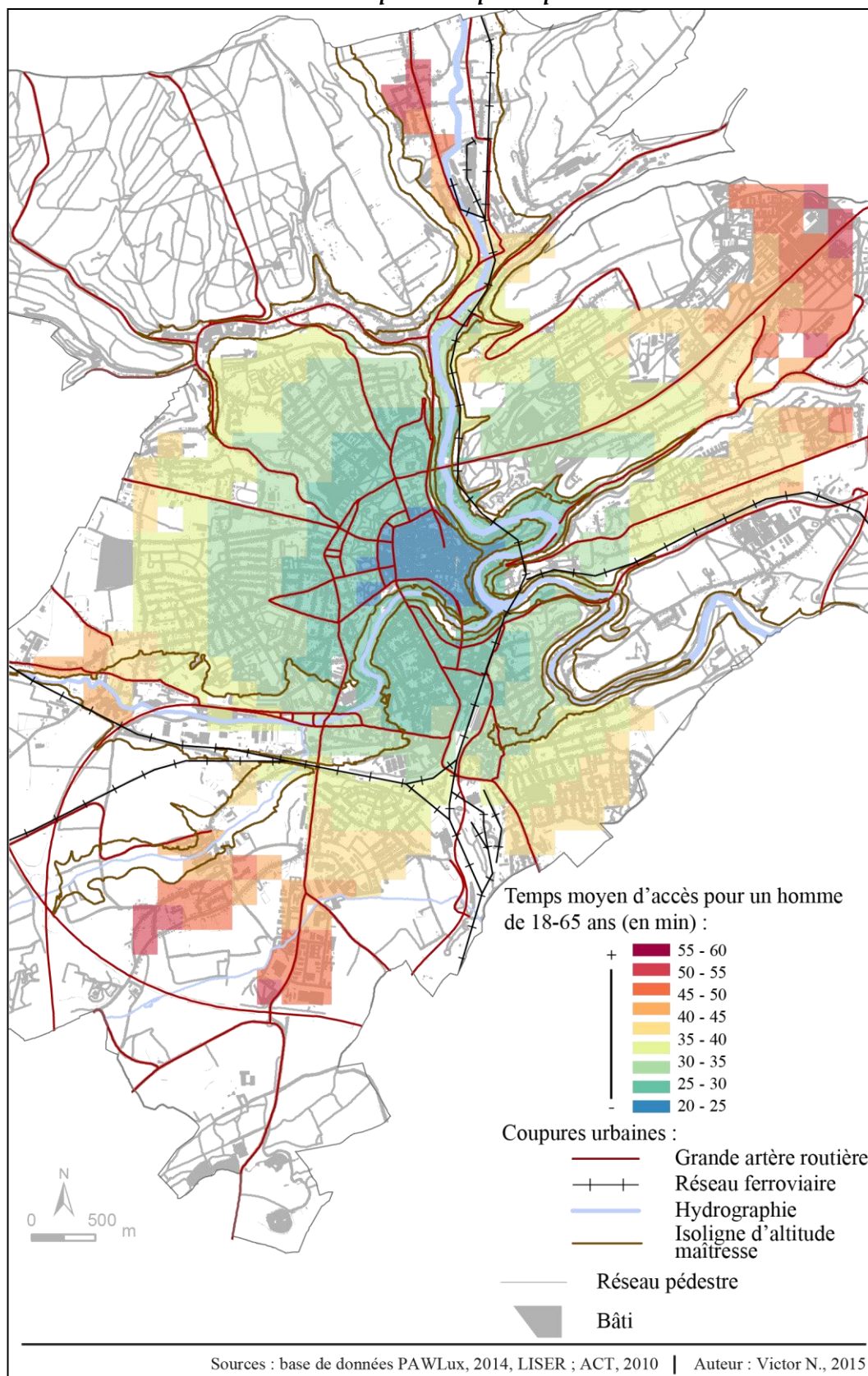
minimiser les nuisances associées à la circulation motorisée, la Ville de Luxembourg y a pratiqué une politique d'apaisement du trafic avec la création de *zones résidentielles* où la vitesse est limitée à 20 km/h et les piétons peuvent emprunter toute la largeur de la voie publique sans pour autant entraver la circulation des autres usagers de la route (article 162ter du Code de la route) dans les rues qui desservent les résidences. Elles s'apparentent aux *zones de rencontre* en milieu résidentiel et/ou commercial, à la différence que les enfants de plus de 10 ans sont autorisés à jouer sur la chaussée. Ces aménagements contribuent ainsi à concentrer les infrastructures routières les plus contraignantes au déplacement piéton sur les grands boulevards où la circulation est plus dense et rapide.

En conclusion, les coupures urbaines présentes dans la capitale ont un impact sur la morphologie du réseau pédestre mais également sur sa typologie de voies. L'ensemble des aménagements mis en place pour atténuer ces effets coupures (ascenseur, passerelle, régulation du trafic) offre une bonne connectivité générale du réseau pédestre mais la non-linéarité du réseau suggère des temps d'accessibilité moyens fortement influencés par la présence de coupures urbaines. Par ailleurs, la topographie accidentée du terrain laisse également présager de fortes contraintes sur les coûts de déplacement en général.

1.2. Accessibilité au réseau pédestre

Une analyse des temps moyens de déplacement ou encore de l'énergie moyenne nécessaire permet de localiser des espaces particulièrement enclavés par la présence de coupures telles que la topographie, l'hydrographie ou encore la présence d'infrastructures de transport (route, voie ferrée). Mesurer un coût moyen d'accès sert à positionner un point par rapport à l'ensemble du réseau. Un calcul de tous points vers tous points permet alors d'analyser la forme globale de l'espace urbain ainsi que des particularités locales (cf. chap. VI-1-1.1 et figure VIII-4).

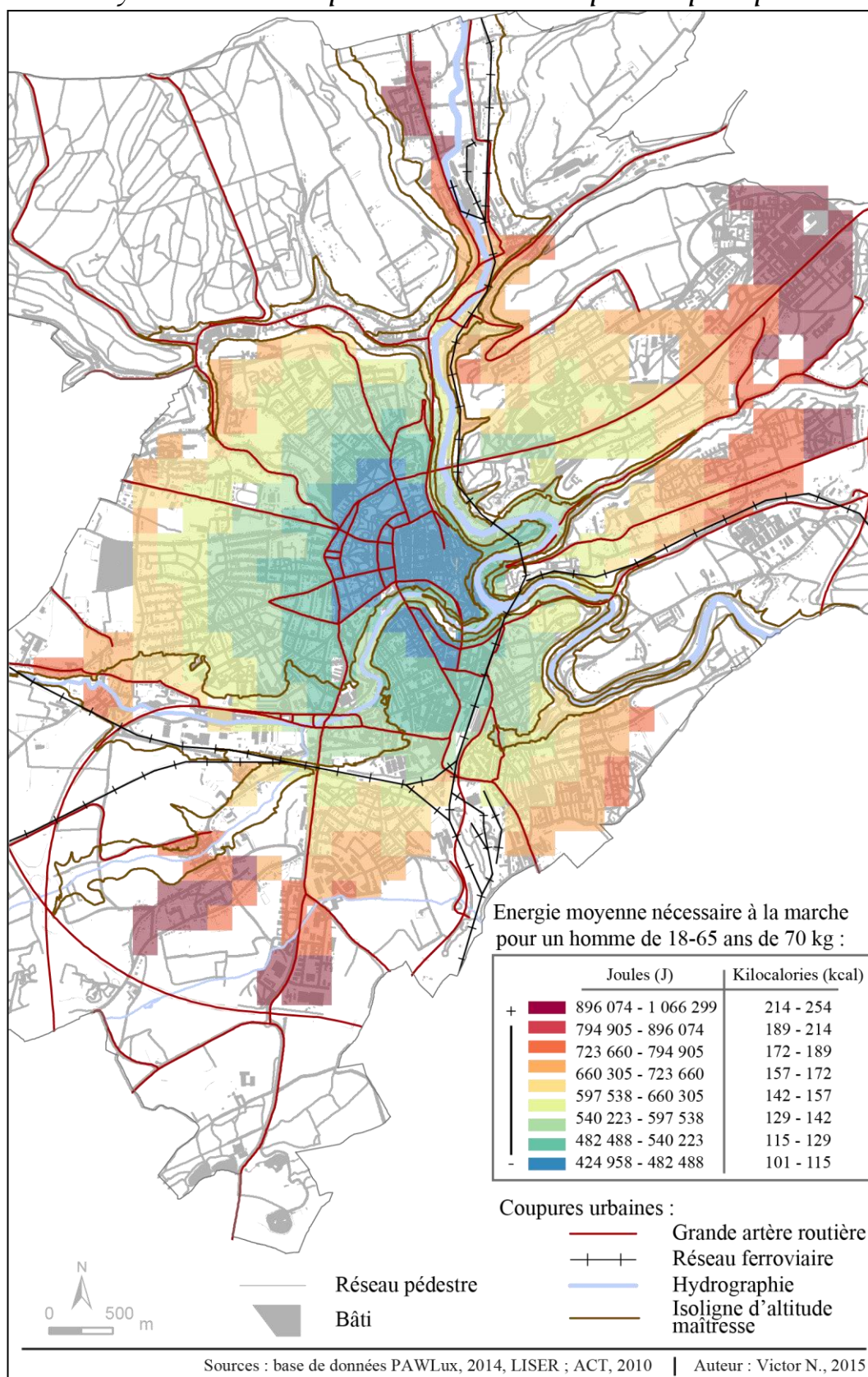
Figure VIII-4 : *Effets de coupures urbaines sur les temps moyens d'accès au réseau pédestre principal*



La forme générale n'est pas circulaire malgré une organisation concentrique de la ville. La présence de coupures urbaines contraint donc fortement le réseau pédestre et les déplacements piétons. Les vitesses utilisées correspondent à celles d'un homme de 18-65 ans et évoluent en fonction de la pente et de la typologie de voies (traversées de route, présence de feux piétons, attente d'ascenseur, etc.). Si à l'Est de la ville, la topographie et l'hydrographie apparaissent sur la carte comme les facteurs les plus contraignants, au Sud ce sont les infrastructures de transport qui créent le plus un effet barrière sur les temps d'accès. Localement, quelques exceptions s'expliquent par la présence d'aménagements urbains qui visent à minimiser l'influence de la topographie ou des infrastructures de transport sur les déplacements. Pour exemples, le fond de vallée du quartier Grund contraint par les falaises d'un côté et la rivière Alzette de l'autre possède des temps moyens d'accès peu élevés grâce à la présence d'un ascenseur urbain qui crée une connexion avec la partie haute du plateau. La présence d'une passerelle traversant les voies ferrées au niveau de la gare centrale permet également de connecter un quartier scindé entre Ouest et Est par cette infrastructure.

Les mesures temporelles offrent un premier aperçu de l'influence des coupures urbaines sur l'accessibilité globale de la ville. Toutefois, pour analyser un mode actif tel que la marche, le recours à des mesures énergétiques affine la localisation des effets barrières et des particularités locales conséquentes à la présence d'aménagements urbains (cf. chap. V-1-1.1 et figure VIII-5).

Figure VIII-5 : *Effets de coupures urbaines sur les consommations énergétiques moyennes nécessaires pour accéder au réseau pédestre principal*



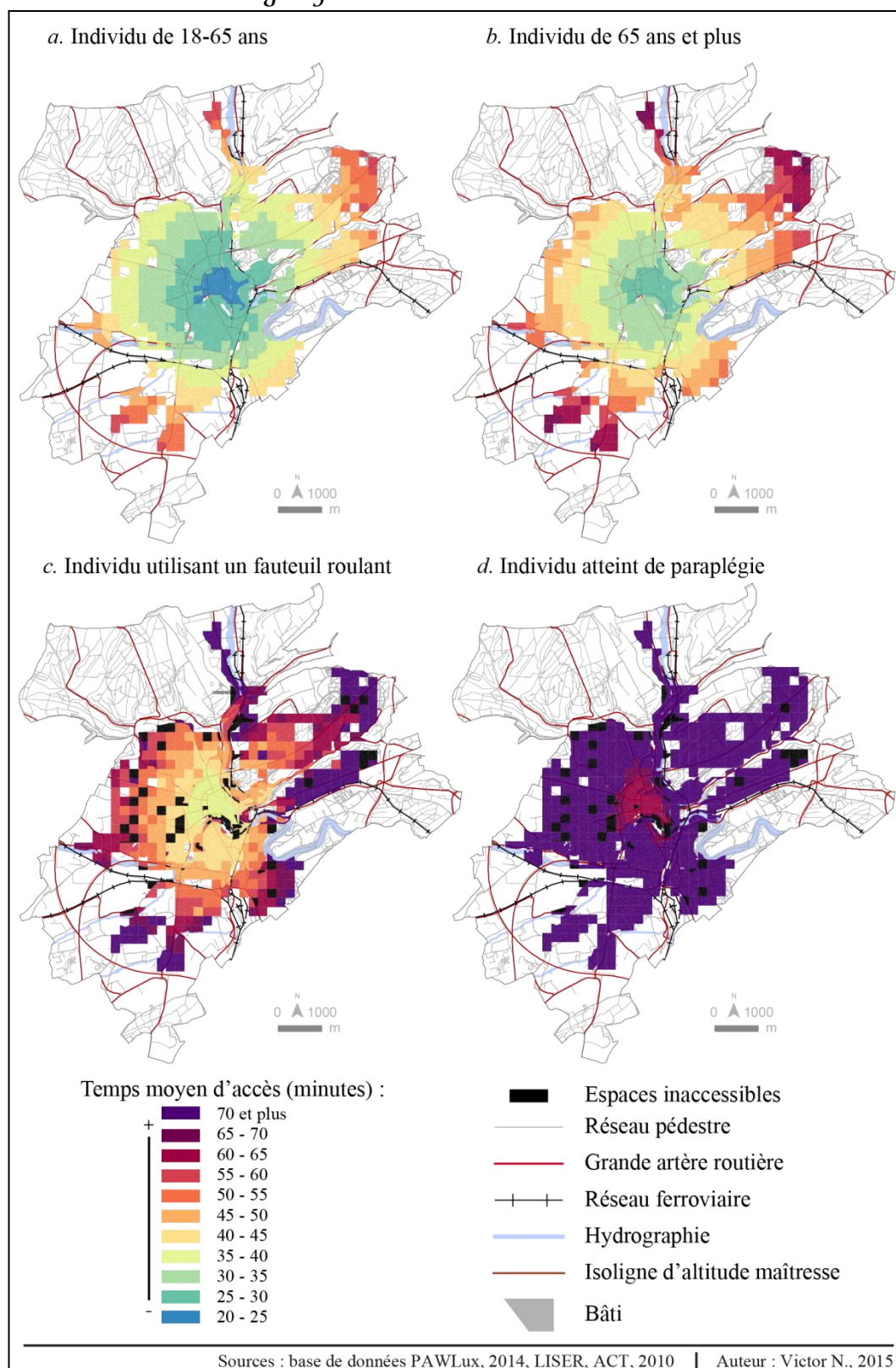
L'énergie moyenne globale nécessaire à la marche est estimée ici pour un homme de 18-65 ans, pesant 70 kg et évolue en fonction de la pente et de la typologie de voies (traversées de route, présence de feux piétons, attente d'ascenseur, etc.). L'énergie mesurée en joules est également convertie en kilocalories pour obtenir une idée de l'équivalence alimentaire. A titre d'information, un verre de Coca (250 ml) équivaut à 100 kcal, un croissant à 180 kcal ou encore 100 g de frites à 254 kcal. Les mesures effectuées montrent que la topographie dans les vallées est à l'origine d'effets barrières qui influent de manière importante la pratique de la marche dans la ville de Luxembourg. Les contournements provoqués par la présence d'infrastructures de transport semblent également influencer l'effort nécessaire à la marche. Toutefois, la mise en place de ponts, passerelles et ascenseurs urbains permet de diminuer fortement cet effet localement. Pour exemple, la Ville-Haute et le plateau de la Gare demeurent connectées par la présence de deux ponts malgré la topographie de la vallée de la Pétrusse.

Au final, la présence de nombreuses coupures urbaines dans la ville influe aussi bien sur les temps d'accès que sur l'effort à fournir pour marcher. Si des aménagements urbains permettent d'améliorer l'accessibilité globale de Luxembourg-Ville, la présence de coupures urbaines telles que le dénivelé interrogent néanmoins la capacité du réseau pédestre à accueillir tous les usagers piétons. L'utilisation de variables interindividuelles peut alors mettre en avant des inégalités d'accès au sein du réseau pédestre.

1.3. Accessibilité au réseau pédestre selon les usagers piétons

L'utilisation de variables interindividuelles telles que l'âge, l'utilisation d'une aide au déplacement ou encore la motricité offre un premier aperçu d'éventuelles inégalités d'accès selon les usagers liées à la présence de coupures urbaines (cf. figure VIII-6).

Figure VIII-6 : Comparaison de temps moyens d'accès global à la ville de Luxembourg en fonction de variables interindividuelles



Selon les variables interindividuelles mises en avant, les temps moyens d'accès global varient fortement. Un ensemble de restrictions a été appliqué selon les profils

de mobilité pédestre communément associés dans la littérature aux variables interindividuelles utilisées (cf. chap. V-1-1.2). Ainsi, l'utilisation d'un fauteuil roulant ne permet pas d'emprunter des pentes de plus de 8 % et certains types de voies comme les traversées informelles (en dehors des passages piétons), les escaliers ou encore les sentiers. Pour les personnes atteintes d'hémiplégie, les restrictions ne permettent pas d'emprunter des pentes de plus de 5 %, font éviter au maximum celles de plus de 5 % et interdisent certains types de voies comme les traversées informelles et les sentiers. Les valeurs moyennes mesurées montrent des inégalités d'accès selon les variables interindividuelles qui peuvent aller jusqu'à une incapacité totale à se déplacer sur certaines voies. L'analyse établit également que certaines parties du réseau pédestre peuvent être inaccessibles aux utilisateurs d'un fauteuil roulant et à ceux atteints d'hémiplégie.

Pour finir, les valeurs de temps d'accès moyens mesurées interrogent sur les coûts de trajets que peuvent endurer les usagers mais aussi plus simplement, leurs habitudes de mobilité pédestre – dans la littérature les trajets piétons continus durent en moyenne de 6 à 12 minutes [Papon, 2003 ; Carré et Julien, 2000]. La marche en complément à d'autres modes de transport peut dès lors se révéler être une alternative pour accéder à l'ensemble du réseau pédestre. A cet effet, une agrégation d'aires potentielles de déplacements piétons (temporelles/métriques/énergétiques) accessibles à partir de nœuds d'échanges intermodaux permet de mesurer la part de réseau pédestre potentiellement accessible à la marche intermodale en tenant compte des limites de déplacements conséquentes aux conditions physiques et aux habitudes de déplacement pédestre. Pour obtenir une couverture assez large du réseau pédestre et comparer différentes catégories d'usagers, nous proposons de nous concentrer sur des aires de 6 minutes à partir de points de dépôt d'autres modes de transports comme les arrêts de bus, les parkings publics ou les stations *Vel'oh* !^{LVII}. En utilisant les mêmes règles de restrictions que pour les calculs de temps d'accès moyens, il est alors possible d'évaluer l'accessibilité au réseau pédestre par la marche intermodale.

^{LVII} Vel'oh ! est une entreprise de location de vélos à Luxembourg-Ville : <http://www.veloh.lu/>

Tableau VIII-1 : *Comparaison réseau pédestre entier et réseau accessible depuis divers nœuds d'échanges intermodaux (arrêt de bus, parking public et station Vel'oh !)*

A partir des Variables inter-individuelles	18-65 ans	Plus de 65 ans	Fauteuil roulant	Hémiplégie
Arrêts de bus * / gares **	75 %	71 %	73 %	72 %
Parkings publics **	20 %	16 %	22 %	6 %
Stations Vel'oh ! **	42 %	37 %	n/a	n/a
Tous modes utilisables	76 %	72 %	75 %	74 %
Réseau potentiellement accessible	1 184 km	1 184 km	737 km	738 km
Sources : base de données PAWLux 2.0, 2014, * données de 2010, ** données de 2015, LISER				Auteur : Victor N., 2015

Les résultats montrent qu'en seulement 6 minutes à partir de ces nœuds d'échanges modaux, 76 % du réseau pédestre est accessible aux piétons de 18-65 ans, sans difficultés de mobilité – avec des aires de déplacements de 12 minutes, c'est 88 % du réseau qui le devient. Sur un réseau potentiellement accessible à des utilisateurs de fauteuil roulant ou atteints d'hémiplégie, c'est alors respectivement 75 % et 74 % de leur réseau potentiel qui est atteignable en 6 minutes. Les plus faibles résultats d'accès au réseau pédestre se justifient essentiellement par l'implantation et le nombre de nœuds comme c'est le cas à partir des stations *Vél'oh !* qui sont essentiellement installées en centre-ville ou encore des parkings publics faibles en nombre. Toutefois, l'accessibilité à partir des parkings publics révèlent également des inégalités selon les variables interindividuelles. Les personnes atteintes d'hémiplégie en particulier ne pourraient atteindre que 6 % du réseau pédestre depuis leur voiture si les emplacements pour les personnes à mobilité réduite n'étaient pas implantés en surface pour répondre à leurs besoins spécifiques. Au final, l'utilisation de la marche en complément des arrêts de bus est la stratégie de mobilité qui a la plus grande couverture du réseau pédestre en 6 minutes pour tous les usagers (de 71 à 75 %). La marche complémentaire à d'autres modes de transports semble ainsi offrir une alternative à l'ensemble des usagers piétons pour accéder à la quasi-totalité du territoire urbain.

En conclusion, les coupures urbaines conditionnent non seulement la morphologie du réseau pédestre mais ont aussi une forte influence sur son accessibilité qu'elle soit mesurée selon le temps d'accès ou l'énergie nécessaire au parcours. Bien que la mise en place d'aménagements urbains tels que les ponts ou les ascenseurs urbains permettent d'améliorer l'accessibilité générale du réseau pédestre, certains espaces se retrouvent malgré tout enclavés selon les usagers piétons. Le recours à des modes complémentaires est alors possible sur le territoire de Luxembourg-Ville et offre une alternative à la voiture privée en permettant d'accéder jusqu'à 75 % du réseau en utilisant les transports en commun et la marche intermodale. Pour aller plus loin dans notre analyse de la capacité du réseau pédestre à accueillir une grande diversité d'usagers, nous proposons ensuite

d'étudier l'influence d'obstacles potentiels à la marche comme l'absence d'aménagements handicapé ou encore un revêtement de sol défavorable à certains types d'usagers. Ce niveau de détail requiert cependant une collecte d'informations spécifiques sur le territoire. Nous proposons d'en tester le potentiel d'analyse sur un espace de la ville de Luxembourg.

2. Révéler des obstacles potentiels à la marche et leurs influences sur l'accessibilité : réalisation d'un audit urbain

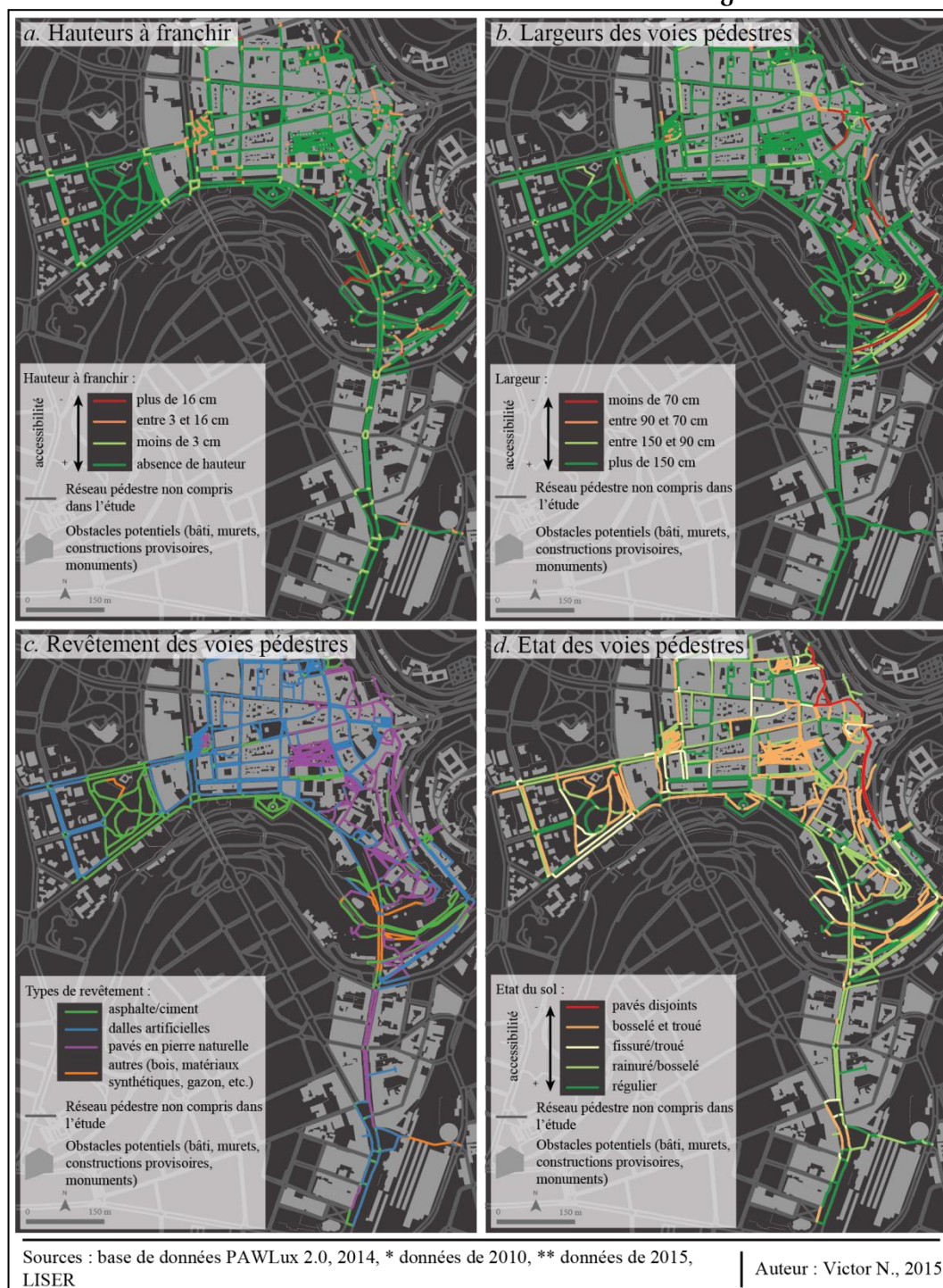
Le Luxembourg est un des pays signataires de la convention des Nations Unies relative aux droits des personnes handicapées de 2006 qui vise à garantir « aux personnes handicapées la possibilité de vivre de façon indépendante et de participer pleinement à tous les aspects de la vie » [ONU, 2006] (cf. chap. III-2-2.2). Suite à cet engagement, la création d'un guide [Info Handicap, 2000] préconise des normes d'accessibilité pour les espaces publics et un label d'accessibilité évalue leurs fonctionnalités. *Dès lors, quelle influence cette démarche a-t-elle sur le réseau pédestre et sur son potentiel à accueillir une grande diversité d'usagers piétons ?* L'application de mesures de l'espace public peut conduire à une évaluation de l'accessibilité du réseau pédestre à tous. A cet effet, la réalisation d'un audit urbain dans le centre-ville de Luxembourg a permis d'obtenir des données spécifiques au terrain en tenant compte d'obstacles potentiels à la marche (aménagement handicapé, hauteur à franchir, largeur, texture, etc.). La prise en compte de ces obstacles permet ainsi d'identifier des situations d'inadéquation entre les caractéristiques physiques des usagers piétons et les propriétés de l'environnement urbain lors de leurs déplacements. Dans un premier temps, une description de la zone d'étude est proposée de manière à étudier les spécificités du terrain et leurs influences potentielles sur la marche. Dans un deuxième temps, une analyse statistique des tronçons aux propriétés et aménagements de l'environnement similaires permet de révéler les espaces susceptibles d'être accessibles à tous. Enfin, dans troisième temps, des parcours selon des variables interindividuelles seront testés pour analyser l'influence de la présence d'obstacles sur l'accessibilité et le confort lors d'un déplacement piéton.

2.1. Spécificités de l'environnement urbain dans le centre-ville et potentiels obstacles à la marche

La démarche proposée est testée sur le centre-ville de Luxembourg formant un réseau pédestre de 33 km où 44 % sont des espaces en site propre et 53 % sont des espaces dédiés aux usagers piétons. Seuls 3 % sont dans des espaces de rencontre. Cette zone d'étude propose un ensemble de services assez diversifiés avec 19 % des segments permettant un accès à des bars restaurants (dont 65 % dotés de terrasses), 16 % à des magasins, 11 % à des bâtiments administratifs ou des centres culturels (bibliothèque/médiathèque, théâtre) et 22 % des segments se révélant être à proximité d'espaces verts. Elle semble, par ailleurs, assez verte avec 28 % de segments où la présence d'arbres et de buissons est constatée de manière ponctuelle à 44 %, en quantité moyenne à 27 % et forte à 29 %.

Néanmoins, une analyse des propriétés des voies pédestres révèle un bilan mitigé quant à leur capacité à accueillir une grande diversité d’usagers (cf. figure VIII-7).

Figure VIII-7 : *Eléments et propriétés pouvant potentiellement restreindre la marche dans le centre-ville de Luxembourg*



La zone étudiée est majoritairement recouverte de dalles artificielles (41 %), de pavés en pierre (32 %) et d’asphalte-ciment (24 %). Les voies pédestres à l’Est du centre-ville possèdent plus particulièrement des revêtements avec des pavés en

pierre qui peuvent restreindre partiellement ou totalement l'accès selon les usagers piétons. Les sols compacts (99 %) et majoritairement granuleux/rugueux (91 %) garantissent une bonne stabilité du sol par tout temps mais 29 % des tronçons ont été relevés comme dégradés avec à la fois la présence de trous et de bosses. Dans l'ensemble, les dimensions des tronçons garantissent, quant à elles, une bonne accessibilité aux usagers piétons avec 87 % d'entre eux dotés d'une largeur suffisante (plus d'1,5 mètre) pour permettre à un utilisateur de fauteuil roulant ou de béquilles d'effectuer un demi-tour. De même, 62 % des segments ne posent pas de problèmes de franchissements, quel que soit le type d'usagers, en état plat ou présentant une hauteur de moins de 3 cm. La répartition des hauteurs à franchir de plus de 3 cm apparaît toutefois assez homogène sur le réseau pédestre et suggère des problèmes de connectivité ayant pour résultat de restreindre l'accessibilité de certains usagers.

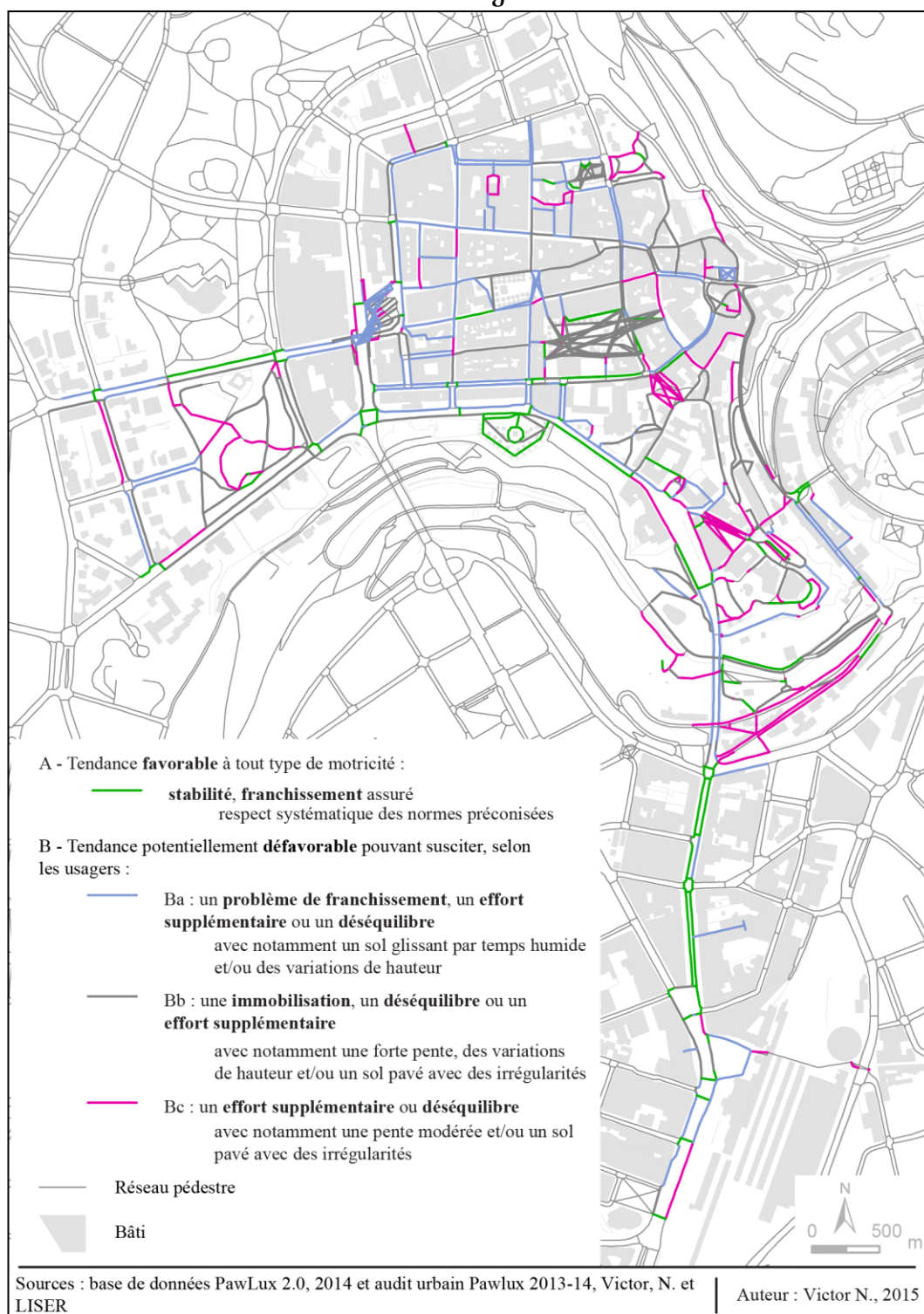
Si globalement les éléments et propriétés des voies dans le centre-ville se révèlent ainsi plutôt favorables aux déplacements piétons, la répartition d'obstacles potentiels sur le réseau pédestre laisse présager d'inégalités d'accès locales pour les usagers piétons selon leurs caractéristiques intrinsèques.

2.2. Voies publiques favorables ou défavorables à l'accessibilité piétonne en fonction d'une grande diversité d'usagers

Le recours à un audit urbain permet de localiser les obstacles potentiels au déplacement piéton et ses caractéristiques. Une évaluation de l'accessibilité peut alors être proposée selon des degrés de restrictions – absente, faible, moyenne, forte, accès impossible (cf. chap. V-1-1.2). Néanmoins, une approche ordinale de l'accessibilité ne permet ni d'évaluer la capacité d'un réseau pédestre à accueillir divers usagers dans le même espace, ni de saisir l'influence de combinaisons d'obstacles sur la marche.

Une analyse des correspondances multiples va bien plus loin en fournissant quatre unités d'espaces à traverser aux capacités similaires d'accès, selon les propriétés et éléments recensés dans l'audit (cf. chap. VI-1-1.2). Dès lors, une évaluation du potentiel de la zone à accueillir une grande diversité d'usagers piétons devient possible (cf. figure VIII-8).

Figure VIII-8 : *Qualification des espaces pour l'ensemble des usagers piétons à Luxembourg-Ville*



La qualification de ces espaces permet tout particulièrement de révéler les configurations favorables à l'accessibilité pour tout type de motricité. La classe A – *stabilité, franchissement assuré* – regroupe majoritairement des tronçons en asphalte, réguliers, avec des pentes et des dévers ressentis plats-doux dont les surfaces n'imposent pas de franchissements de plus de 3 cm. Une telle configuration garantit

des déplacements excluant tout risque de chute, butée ou encore d'effort supplémentaire à fournir pour franchir des obstacles. Dans notre zone d'étude, la classe *A* représente 13 % du réseau pédestre. Les configurations pouvant potentiellement contraindre le déplacement des usagers en fonction de leurs caractéristiques physiques sont donc majoritaires. Ces espaces peuvent toutefois s'avérer conjointement défavorables pour certains usagers et demeurer encore favorables pour d'autres. La sous-classe *Ba* – *un problème de franchissement, un effort supplémentaire ou un déséquilibre par temps humide* – est représentative de tronçons majoritairement recouverts de dalles artificielles et occasionnellement lisses/polies. Si les dalles artificielles sont favorables aux déplacements piétons, la granulométrie lisse-polie correspond généralement à la présence de carrelage qui, combiné à une météo humide, peut être facteur de déséquilibres voire de chutes. La moitié des tronçons dans cette classe ont une hauteur mesurant entre 3 et 16 cm, indiquant la présence d'une séparation avec la chaussée ou des marches d'escalier. Des difficultés de franchissement peuvent dès lors survenir et interdire totalement l'accès aux tronçons à certains usagers ou requérir un effort supplémentaire pour se déplacer à d'autres. De plus, l'absence d'aménagements handicapés, sur 95 % des tronçons, laisse prévoir de possibles difficultés de franchissement supplémentaires. La sous-classe *Bb* – *une immobilisation, un déséquilibre ou un effort supplémentaire* – est constituée en majorité de tronçons avec des pentes modérées à fortes, pouvant exiger un effort supplémentaire, voire parfois insurmontable pour franchir certaines montées. La présence de pavés en pierre naturelle indique également des risques potentiels de déséquilibre ou d'immobilisation en fonction des usagers et de leurs supports de déplacement. Pour finir, la sous-classe *Bc* – *un effort supplémentaire ou un déséquilibre* – caractérise ainsi des espaces en mauvais état où une forte présence de bosses et de trous a été constatée. L'état du sol, tout comme la forte présence de pavés en pierre naturelle possédant des interstices en général à joints larges et creusés, augmente le risque de chutes ou de torsions chez les usagers mais peut également générer des butées en fonction de la profondeur et de la largeur des trous pour les usagers en fauteuil roulant, en poussette ou encore déambulateur. Ces surfaces à risques requièrent donc une certaine prudence, voire un contournement d'obstacle mais n'interdisent pas, en général, l'accès aux tronçons. Par ailleurs, la moitié des tronçons représentés dans cette classe ont des pentes modérées ou encore fortes, supposant des problèmes d'inertie aux fauteuils roulants, ou encore poser des difficultés aux personnes ayant une santé fragile (problème cardiaque, asthme, etc.). L'influence des tronçons présentant des difficultés d'accès varient ainsi de ralentissements ou contournements à des incapacités totales à franchir un segment en fonction des caractéristiques de chacun.

En fin de compte, ce type de diagnostic a le mérite de faire abstraction des particularités conséquentes aux interrelations usagers-environnement en se concentrant sur les problèmes d'accessibilité que peuvent potentiellement susciter certaines configurations spatiales. Afin de différencier les situations d'inadéquation selon les usagers piétons, une comparaison entre des aires de déplacement calculées selon différentes variables interindividuelles peut, par la suite, permettre de

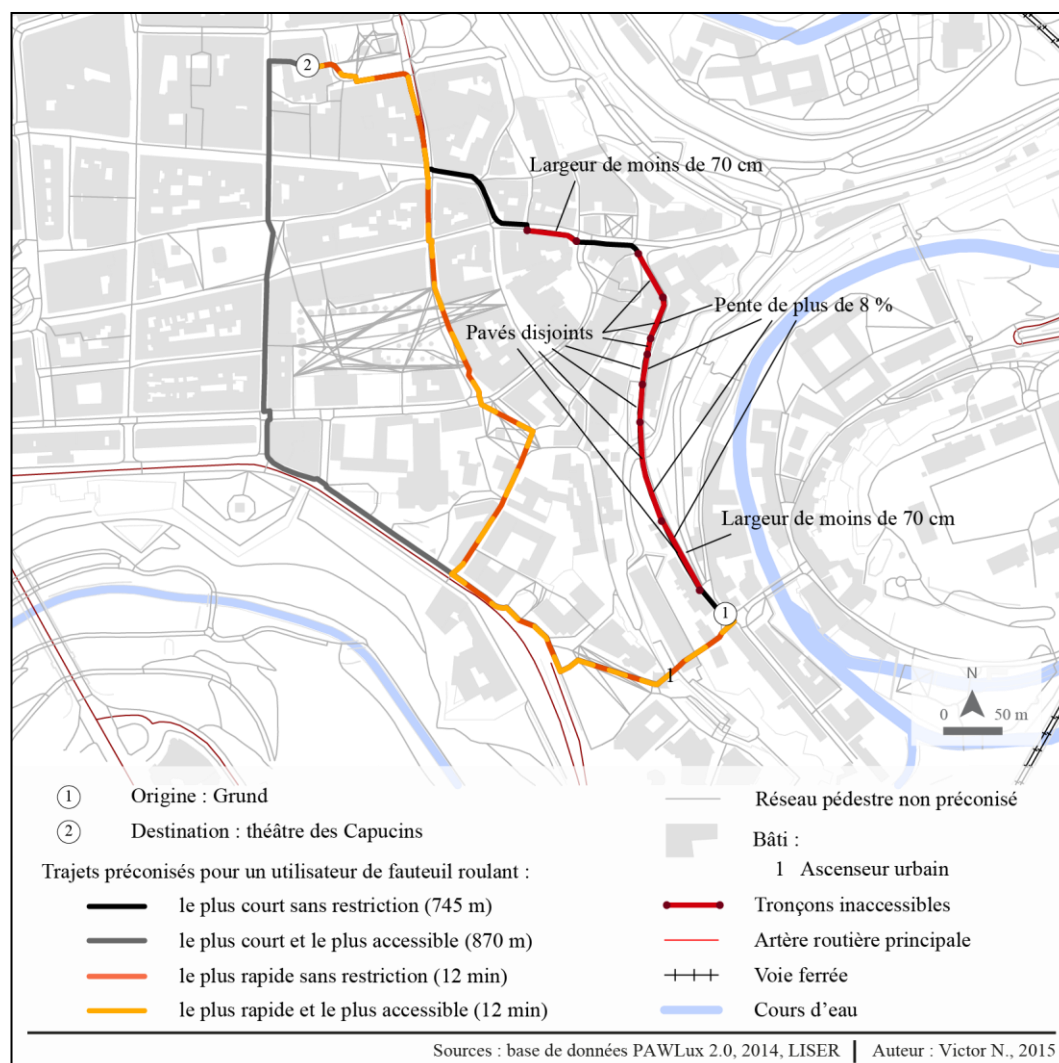
constater si les classes évoquant une tendance défavorables aux déplacements ont une influence similaire selon les interrelations usagers-environnement.

2.3. Marcher en ville avec des contraintes ponctuelles : parcours selon des variables interindividuelles

Au Luxembourg, les normes d'accessibilité ne sont pas fixées par des décrets et des arrêtés mais font office de préconisations. La mise en place de labels d'accessibilité permet de valoriser les espaces publics accessibles aux personnes dotées d'un handicap. Ces labels ne peuvent cependant garantir un déplacement porte-à-porte sur le réseau pédestre. L'utilisation d'un calculateur d'itinéraires possédant une base de données adaptée aux problèmes d'accessibilité permet de proposer des trajets respectant les normes préconisées selon des variables interindividuelles. Cette échelle d'analyse permet de fixer des niveaux de restrictions selon les obstacles (cf. chap. V-1-1.2 et annexe 8). Ainsi, la présence d'un obstacle peut soit impliquer une interdiction complète d'accès à un tronçon, soit chercher à l'éviter fortement, moyennement ou encore faiblement en fonction de la variable interindividuelle mise en avant. Ce système d'évitement permet d'intégrer une notion de confort dans le déplacement. Par exemple, de mauvaises conditions météorologiques ne nécessitent pas forcément d'interdire l'accès d'un tronçon mais peut permettre de se reporter sur un itinéraire plus confortable moyennant un temps ou une distance de détour plus ou moins réduit selon le niveau d'évitement requis.

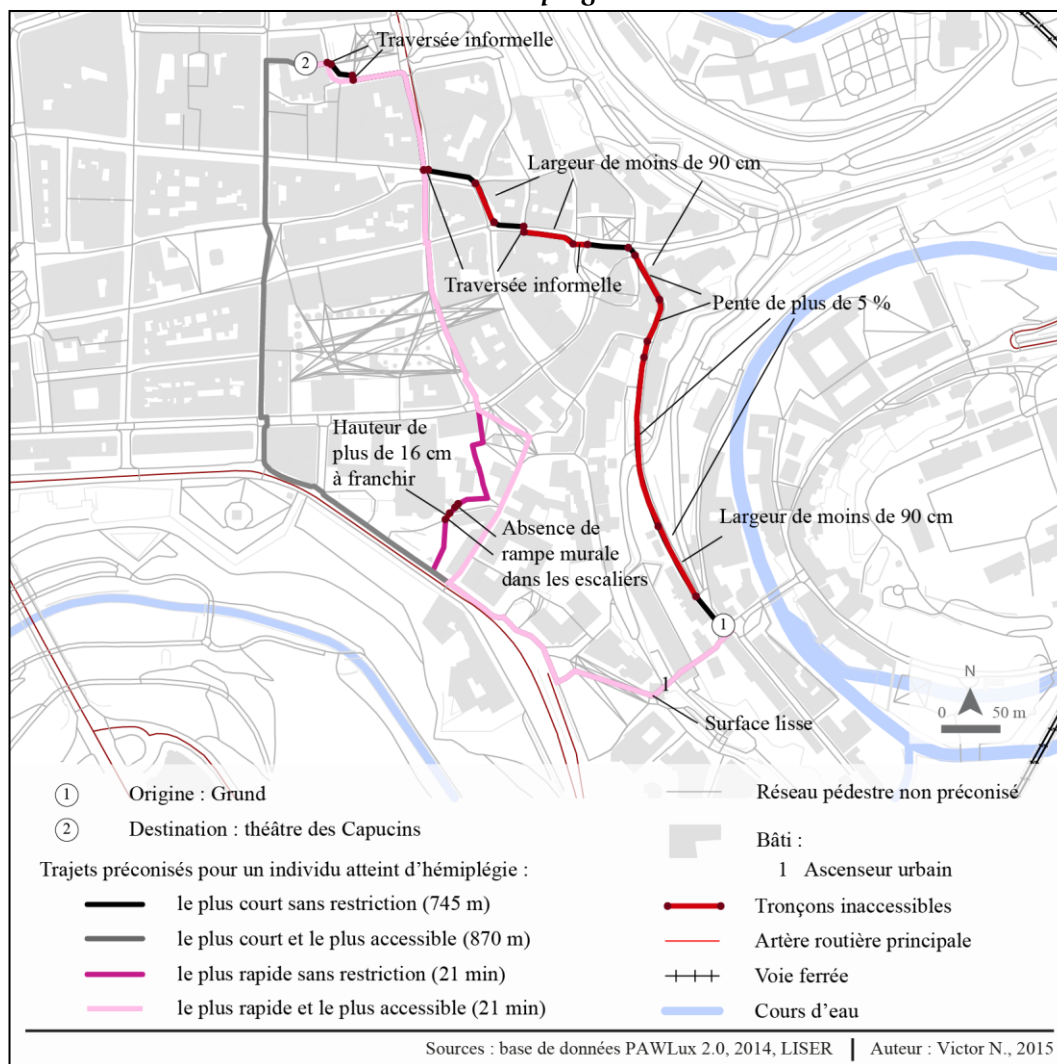
Une fois les points d'origine et de destination définis, différents itinéraires peuvent être proposés en privilégiant le temps ou la distance selon les préférences des usagers. L'utilisation de restrictions en fonction des normes d'accessibilité préconisées modifient les trajets préconisés selon la présence d'obstacles sur le parcours.

Figure VIII-9 : *Itinéraires piétons préconisés pour un utilisateur de fauteuil roulant*



La présence de différents obstacles sur le trajet le plus court préconisé incite à proposer une solution alternative plus accessible aux utilisateurs de fauteuil roulant qui requiert toutefois un allongement de distance de 14 %. Trois types d'obstacles sont recensés sur le parcours le plus court : une largeur insuffisante, l'absence de joints entre les pavés et enfin, des pentes supérieures à 8 %. Certains tronçons possèdent à la fois une pente trop importante et des pavés disjoints. En outre, pour se rendre du Grund au Théâtre des Capucins, les parcours proposés sont similaires quelles que soient les conditions météorologiques (soleil/nuages ou pluie/gel-neige). Enfin, si les itinéraires les plus courts diffèrent complètement l'un de l'autre, les plus rapides avec ou sans restrictions sont identiques. C'est aussi le cas, pour les individus atteints d'hémiplégie qui font face à d'autres obstacles sur le trajet le plus rapide sans restriction.

Figure VIII-10 : *Itinéraires piétons préconisés pour un individu atteint d'hémiplégie*

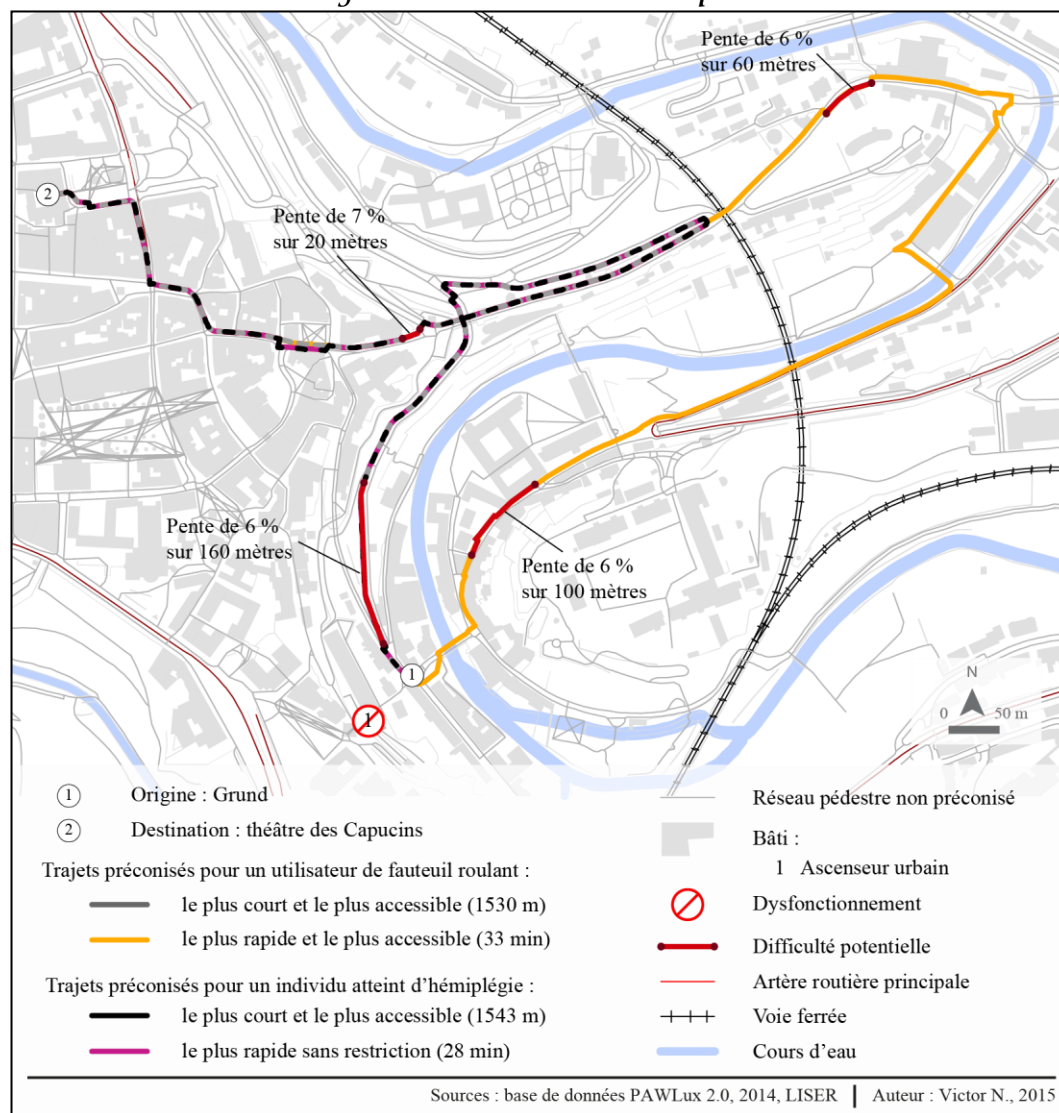


Une partie de l'itinéraire le plus rapide abrite deux escaliers ne possédant pas de rampe murale. Par ailleurs, les marches du premier escalier sont également d'une hauteur supérieure à 16 cm. Un itinéraire plus accessible est alors proposé. Lorsqu'il pleut ou neige, le parcours préconisé demeure identique mais le revêtement en carrelage lisse à la sortie de l'ascenseur urbain peut néanmoins se révéler glissant et nécessiter quelques précautions. Les parcours les plus courts avec ou sans restriction diffèrent, à l'instar de ceux préconisés pour les utilisateurs de fauteuil roulant. Certains tronçons du parcours le plus court ne permettent pas une largeur suffisante pour un appui de deux béquilles pour se déplacer. En outre, des pentes fortes requièrent un effort trop important pour être franchies. Enfin, ce parcours nécessite d'effectuer plusieurs traversées informelles et ne peut donc garantir ni des hauteurs de trottoirs à franchir adaptées, ni la sécurité des individus face à la circulation.

La préconisation d'itinéraires permet également d'intégrer des scénarii de contournements en cas de travaux ou de dysfonctionnements d'aménagements urbains. La simulation d'une panne de l'ascenseur urbain permet, par exemple,

d’observer les itinéraires piétons bis accessibles selon les variables interindividuelles « aide à la marche » ou « déficience motrice ».

Figure VIII-11 : *Itinéraires alternatifs pour un individu atteint d’hémiplégie et/ou un utilisateur de fauteuil roulant en cas de panne d’ascenseur urbain*



En cas de panne d’ascenseur, le trajet le plus court et le plus accessible pour les utilisateurs de fauteuil roulant mesure 1,5 km et exige un premier franchissement de pente à 6 % sur une distance de 160 mètres, puis un second à 7 % sur 20 mètres. Le plus rapide et le plus accessible nécessite un déplacement de 33 minutes et requiert, quant à lui, de franchir deux pentes à 6 % sur 100 mètres et 60 mètres, puis une à 7 % sur 20 mètres. Pour les individus atteints d’hémiplégie, le trajet le plus court et le plus accessible est identique (1,5 km) à celui le plus rapide et le plus accessible (28 min). Les trajets nécessitent un premier franchissement de pente à 6 % sur 100 mètres et un second à 7 % sur 20 mètres. Or, pour l’une ou l’autre variable interindividuelle utilisée, les normes d’accès préconisées indiquent une tolérance à la pente inférieure à 5 % sur de longues distances. Les itinéraires alternatifs en cas

de panne d'ascenseur urbain suggèrent donc l'utilisation de modes complémentaires avec l'utilisation d'un transport en commun ou d'une voiture en complément.

La préconisation de parcours optimisés en matière de distance/temps et d'accessibilité permet ainsi de simuler l'influence sur les déplacements piétons des obstacles présents sur le réseau pédestre non seulement en fonction de variables interindividuelles mais aussi de temporalités événementielles (panne, travaux, mauvaise condition météorologique). Cette influence est exprimée par des pondérations permettant de paramétrer la volonté d'évitement de tels ou tels obstacles et permet ainsi de proposer des chemins dotés d'un certain niveau de confort quand le détour exigé n'est pas trop important. Le surcoût (temporel, métrique) toléré est défini en fonction de l'influence de l'obstacle sur le déplacement de l'usager. Le confort est ainsi exprimé à travers la notion de moindre effort et de déplacement le plus sûr en matière de stabilité.

Conclusion du chapitre VIII

Le réseau pédestre de la ville de Luxembourg est fortement contraint par la présence de coupures urbaines, d'une part, et par la présence d'obstacles aux déplacements piétons, de l'autre. Si la présence de coupures urbaines conditionne la morphologie du réseau, ces dernières influent également sur les temps d'accès et sur l'effort à fournir pour marcher. Les valeurs moyennes mesurées questionnent ainsi les coûts de trajets que peuvent endurer les usagers piétons selon leurs caractéristiques physiques. Lorsqu'un déplacement entièrement par la marche semble impossible, le recours à des modes complémentaires durables reste néanmoins concurrentiel à la voiture individuelle avec la quasi-totalité du réseau accessible à tous depuis divers nœuds d'échanges intermodaux. Par ailleurs, lorsque la capacité du réseau pédestre à accueillir une grande diversité d'usagers est analysée dans le centre-ville de Luxembourg, il ressort que l'influence des obstacles présents varie de ralentissements ou contournements à des incapacités totales à franchir un tronçon selon la configuration des lieux et les caractéristiques de chacun. ***Pour promouvoir la marche à Luxembourg-Ville tout en garantissant une liberté de déplacement à tous les usagers, le réseau pédestre doit donc garantir des itinéraires accessibles selon les profils de mobilité pédestre de chacun tout en laissant la possibilité de recourir à des modes complémentaires de mobilité douce lorsqu'aucune solution pédestre n'est envisageable.*** L'évaluation globale de l'accessibilité de Luxembourg-Ville indique que les quartiers les plus contraints sont dans les fonds de vallées pour rejoindre le parc de la Pétrusse, le quartier de Pfaffenthal et l'Est du quartier Gare. La mise en place d'un ascenseur urbain ou d'une passerelle a déjà fait ses preuves en tant que franchissement d'obstacle à condition de respecter les normes d'accessibilité. Un deuxième ascenseur urbain pour lier la Ville-Haute à Pfaffenthal vient par ailleurs d'être mis en service cette

année 2016^{LVIII}. L'évaluation locale du centre-ville révèle ensuite que seule l'Avenue de la Gare garantit véritablement à tous les usagers piétons des déplacements ininterrompus par la présence d'obstacles entre la gare et le plateau piéton. L'utilisation d'un outil de préconisations d'itinéraires adaptés aux interrelations entre l'usager et l'environnement offre alors un support d'information s'adressant à la fois au grand public et aux aménageurs et associations (cf. chap. VI-3). Toutefois, si l'accessibilité est une condition déterminante du choix modal, la promotion de la marche passe également par la capacité du réseau pédestre à proposer des environnements attractifs. Un diagnostic de la capacité des espaces publics à favoriser la marche complète alors l'analyse.

^{LVIII} Article du *Wort*, consulté le 31/07/2016 : <http://www.wort.lu/fr/luxembourg/reliant-le-parc-pescatore-au-pfaffenthal-montez-dans-l-ascenseur-panoramique-avant-son-inauguration-5790e4a7ac730ff4e7f63d7f>

Chapitre IX.

La ville pas à pas. Diagnostics de la capacité des espaces publics à favoriser la marche

La ville de Luxembourg est une ville historique dont le plus vieux bâtiment date de 963 (château Lucilinburhuc sur le promontoire rocheux Bock). Ancienne place militaire, surnommée la Gibraltar du Nord, le démantèlement de la forteresse suite au Congrès de Londres de 1867 fait place à la création de nombreux parcs urbains et à une politique d'urbanisme homogène (hauteur des immeubles, alignement) qui ont eu un effet durable sur la qualité architecturale de la cité [Yegles-Becker et Pauly, 2009 ; Philippart, 2009]. Elle fut réaménagée selon un plan radioconcentrique *via* d'importants travaux de nivellement, de remblaiements et d'aménagement de pentes artificielles afin de construire un espace urbain aux chemins courts et d'aspect « pittoresque » avec squares, promenades publiques agrémentées de vestiges de la forteresse transformées en ruines artificielles [Philippart, 2009 : p. 36]. Au final, cette politique d'aménagements spécifique a eu non seulement des conséquences sur le design urbain mais aussi sur l'architecture des quartiers dont les aménagements mis en place reflètent leur fonctionnalité. Par exemple, les quartiers des affaires bénéficient d'un tracé de rues et d'avenues basé sur des axes visuels pour souligner leur importance.

La diversité de paysages et d'aménagements urbains selon les fonctionnalités des quartiers laisse présager de propensions diverses à être considérées comme conviviales pour la marche selon les usagers piétons. ***Dès lors, comment évaluer la capacité de la ville de Luxembourg à favoriser la pratique de la marche urbaine au quotidien pour une grande diversité d'usagers ?*** Pour cela, une mesure du réseau pédestre et de la qualité de l'environnement peut offrir une évaluation de la capacité d'un espace urbain à faciliter et à favoriser les déplacements piétons. Le recours à un Indice Synthétique de *Walkability* (ISW) offre alors un excellent outil pour diagnostiquer les interrelations usagers-environnement dans divers milieux urbains. Le chapitre qui suit propose des évaluations selon deux approches. Dans un premier temps, une entrée par l'environnement est présentée au travers de diagnostics de trois espaces au design urbain et aux fonctionnalités variables afin d'identifier de quelles façons des environnements urbains différents

influencent la capacité de ces espaces à favoriser la marche. Dans un second temps, une approche par les usagers propose de comparer des aires de déplacement calculées au sein d'un même quartier selon différents profils de mobilité pédestre pour évaluer la capacité d'un espace à proposer une offre de qualité similaire ou équivalente à une grande diversité d'usagers.

1. Capacités d'un milieu urbain à favoriser la marche dans trois aires de déplacements différentes

Afin d'évaluer la capacité d'un milieu urbain à favoriser la marche, des aires de déplacement de 6 minutes sont, tout d'abord, calculées à partir de trois profils de mobilité pédestre (vitesses, restrictions) : sans difficultés motrices pour des 18-65 ans, avec utilisation d'une aide au déplacement (fauteuil roulant mécanique) et avec une déficience motrice (hémiplegie). Ces aires sont construites dans trois quartiers aux fonctionnalités différentes à partir de trois points d'intérêts : l'*office de tourisme* situé sur le plateau piéton du quartier Ville-Haute dans l'hypercentre, l'*entrée principale de la gare* entourée de nombreuses infrastructures de transports (train, bus, voiture, vélo) et enfin le *parking du parc de la Pétrusse* au croisement des vallées de la Pétrusse et de l'Alzette dans le quartier semi-résidentiel du Grund. De là, à partir des entretiens présentés dans le chapitre VII, des ISW pondérés sont construits de manière à intégrer une hiérarchie des conditions de déplacement que les usagers piétons considèrent comme prioritaires dans leurs déplacements selon leur capacité de déplacement, l'influence de leur état de santé sur leur mobilité pédestre et le contexte de déplacement (budget-temps) (cf. tableau IX-1).

Tableau IX-1 : *Evaluation de trois quartiers de Luxembourg-Ville pour une grande diversité d'usagers à travers des Indices Synthétiques de Walkability*

Aires	Ville-Haute			Gare			Grund		
	Non pondéré	Budget temps contraint	Budget temps non contraint	Non pondéré	Budget temps contraint	Budget temps non contraint	Non pondéré	Budget temps contraint	Budget temps non contraint
T-score / motricité									
> 53 / sans pb	56 %	64 %	51 %	58 %	65 %	52 %	52 %	51 %	46 %
[43-52] / sans pb	56 %	63 %	52 %	58 %	65 %	54 %	52 %	52 %	48 %
< 42 / sans pb	56 %	62 %	53 %	58 %	66 %	57 %	52 %	53 %	49 %
< 42 / Hémiplegie	50 %	58 %	46 %	46 %	49 %	46 %	43 %	43 %	44 %
< 42 / Fauteuil	46 %	52 %	44 %	50 %	53 %	49 %	41 %	39 %	42 %

Sources : base de données PAWLux 2.0, 2014 et enquête usagers Pawlux 2014-2015, LISER | Auteur : Victor N., 2016

La prise en compte de pondérations selon le contexte de déplacement permet ensuite d'identifier des différences de capacité de l'environnement à favoriser la marche selon l'état de santé des usagers. Pour les usagers sans difficulté de motricité, l'évaluation montre ainsi que les aires de déplacement étudiées ont tendances à être particulièrement favorables à la marche lorsque leur budget-temps est contraint. Cette tendance diffère toutefois pour les personnes atteintes d'hémiplegie ou utilisatrices d'un fauteuil roulant comme c'est le cas dans les aires évaluées dans le Grund. Par ailleurs, la capacité d'attractivité des aires de

déplacement n'est pas proportionnelle aux contraintes d'accès liées aux profils de mobilité pédestre. Les résultats des ISW varient selon le contexte, le profil de mobilité pédestre des usagers et l'environnement urbain. Ils montrent bien que les interrelations usagers-environnement relèvent du cas par cas et du contexte de déplacement. La plus petite valeur de l'ISW est de 41 % – non pondéré – et correspond à l'aire de déplacement depuis le parking de la Pétrusse dans le Grund d'un individu en fauteuil roulant. La valeur la plus élevée est de 66 % dans une aire mesurée à partir de la gare pour une personne dotée d'une santé ayant une forte influence sur sa mobilité pédestre sans difficulté motrice avec un budget non contraint.

Afin d'identifier de quelles façons des environnements urbains différents influencent la capacité de ces espaces à favoriser la marche, le cas des individus atteint d'hémiplégie est particulièrement intéressant : les ISW mesurés correspondent à des configurations agréables pour la marche alors que les aires de déplacement sont les plus contraintes parmi les variables testées (cf. tableau IX-1). Par ailleurs, quel que soit le contexte de déplacement, les indices synthétiques de *walkability* évaluant l'aire de déplacement à partir de l'office de tourisme pour un individu atteint d'hémiplégie sont globalement plus favorables aux déplacements piétons (50 % ; 58 % et 46 %) que ceux dans les quartiers Gare (46 % ; 49 % et 46 %) et Grund (43 % ; 43 % et 44 %). Dans le détail, les indicateurs retenus par l'ISW ne sont toutefois pas systématiquement les plus favorables dans l'aire de la Ville-Haute par rapport à celles des deux autres quartiers (cf. tableau IX-2).

Tableau IX-2 : *Configurations favorables à la marche dans trois quartiers pour un individu atteint d'hémiplégie*

Indicateurs de l'ISW non pondérés \ Aires	Ville-Haute	Gare	Grund
Connectivité	100 %	57 %	52 %
Linéarité	100 %	39 %	39 %
Potentiel d'accessibilité	71 %	100 %	88 %
Accessibilité inclusive	10 %	16 %	25 %
Mixité de l'occupation du sol	23 %	49 %	40 %
Proximité aux aménités	39 %	41 %	6 %
Densité de végétation	1 %	0 %	18 %
Densité de population	52 %	66 %	79 %

Sources : base de données PAWLux 2.0, 2014, LISER | Auteur : Victor N., 2016

Chaque quartier possède donc des atouts et des inconvénients pour susciter la pratique de la marche. Tout d'abord, l'accessibilité du réseau pédestre est étudiée afin d'identifier la capacité des lieux à garantir la pratique de la marche aux individus atteints d'hémiplégie au sein des aires de déplacement évaluées. Puis, une analyse du potentiel de desserte et de fonctionnalité des aires permet de déterminer l'intérêt des lieux. Enfin, la capacité de chaque aire à proposer des espaces agréables est

évaluée à travers la présence de végétation puis complétée par une évaluation de la qualité du design urbain.

1.1. Accessibilité et présence d'obstacles dans des aires de déplacement dans trois quartiers selon une variable interindividuelle

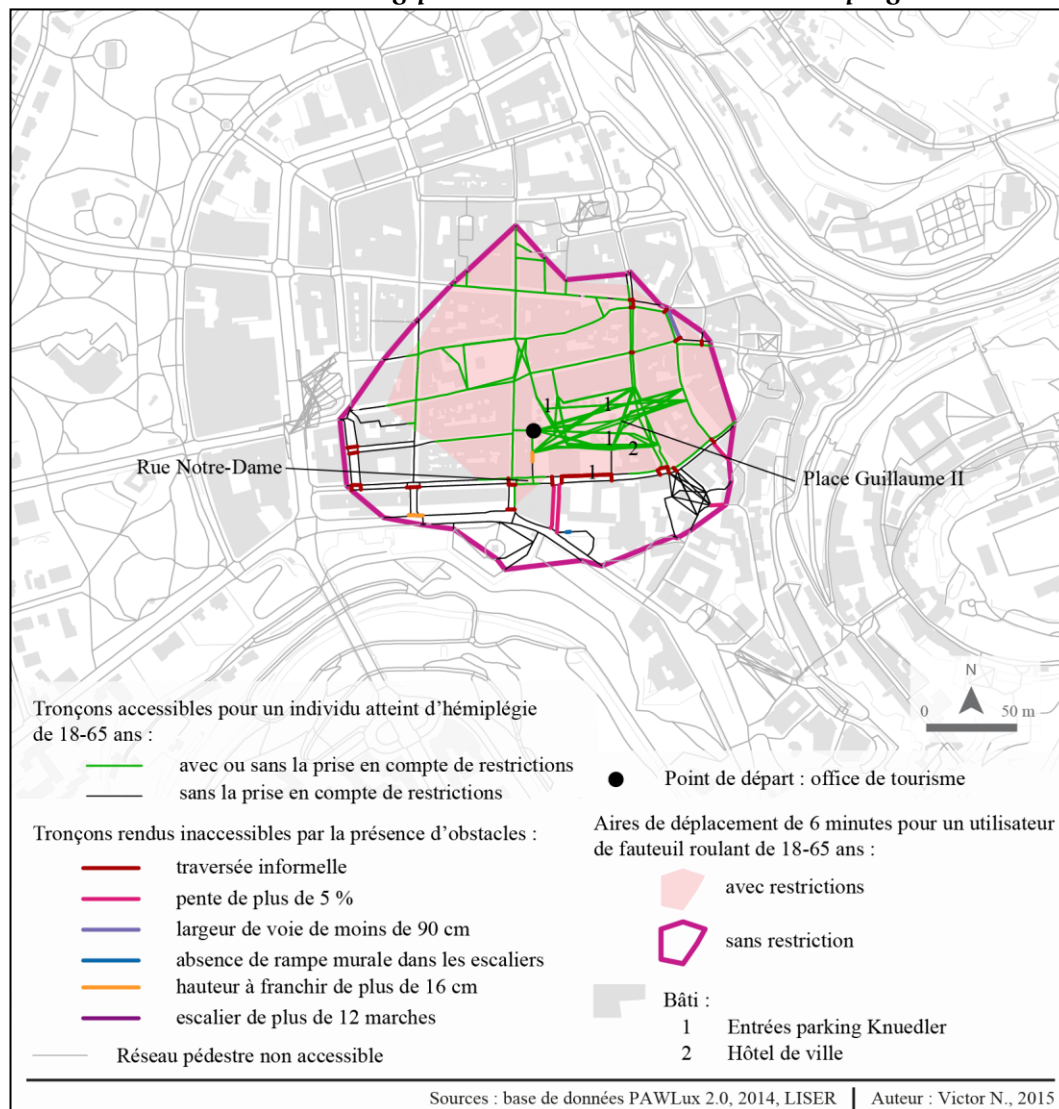
Le réseau pédestre de la Ville-Haute est en grande partie composé de voies entièrement dédiées aux usagers piétons avec notamment la présence d'un plateau piéton en son cœur. Cette caractéristique offre des conditions optimales de connectivité et de linéarité dans l'aire de déplacement de six minutes mesurée à partir de l'office de tourisme pour un individu atteint d'hémiplégie. A l'inverse, la présence de coupures urbaines anthropiques et naturelles a une forte influence sur les quartiers Gare et Grund. Des indices de linéarité de 39 % dans les deux aires mesurées supposent un réseau pédestre fortement contraint et de nombreux détours. Dans le quartier Gare, de nombreux aménagements urbains (passage piéton, passerelle, ascenseur) permettent néanmoins de franchir les diverses infrastructures de transports implantées. Ils améliorent ainsi la connectivité du réseau malgré les coupures et permettent au réseau pédestre dans l'aire de déplacement de 6 minutes mesurées à partir de l'entrée principale de la Gare d'obtenir malgré tout un score de 57 %. Le quartier Grund est, quant à lui, situé au croisement de deux talwegs formés par la présence de deux rivières la Pétrusse et l'Alzette. La présence de ponts et passerelles ainsi que d'un ascenseur urbain permet de minimiser les contraintes fortes de l'hydrographie et de la topographie. Ces aménagements permettent au réseau pédestre d'être connecté à 52 % dans l'aire de déplacement mesurée. Comme le révèle le chapitre VIII, la présence de coupures urbaines à Luxembourg crée des inégalités d'accès au réseau pédestre et enclave certains espaces comme c'est le cas dans le Grund. Ces résultats viennent également confirmer les entretiens des usagers piétons pratiquant la ville de Luxembourg (cf. chap. VII-2-2.1) où les questions de verticalité apparaissaient comme un enjeu majeur pour la marche dans cette cité.

Partant de ce constat, l'accessibilité de ces trois quartiers pour des personnes avec des difficultés motrices comme celles atteintes d'hémiplégie laisse présager de fortes inégalités. Contre toute attente, il apparaît cependant que l'aire de déplacement dans la Ville-Haute possède le plus faible potentiel d'accessibilité (71 %) par rapport aux aires de la Gare (100 %) et du Grund (88 %) pour un individu atteint d'hémiplégie. Cette aire possède également le plus faible indice *d'accessibilité inclusive* avec seulement 10 % du réseau pédestre accessible à tous contre 16 % pour celle de la Gare et 25 % pour celle du Grund. En effet, les interrelations entre les usagers et l'environnement lors de la marche peuvent conduire à des situations d'inadéquation pour les uns qui sont invisibles pour d'autres. En s'appuyant sur les données collectées par l'audit urbain, des analyses d'obstacles potentiels à l'échelle des aires de déplacement conduisent dès lors à identifier les éléments à l'origine de ces inadéquations.

Situé au cœur du plateau piéton, la première aire de 6 minutes au départ de l'office de tourisme permet à un individu atteint d'hémiplégie d'atteindre

potentiellement 8 597 m de réseau pédestre. Le revêtement est essentiellement composé de dalles artificielles avec des pentes faibles à l'exception des rues situées dans la partie vieille ville, au Sud-est, qui sont en pavés en pierres naturelles avec de fortes pentes. Une comparaison entre les aires de déplacement de 6 minutes à partir de l'office de tourisme *sans* et *avec restrictions* révèle que les obstacles se concentrent essentiellement au sud de l'hypercentre (cf. figure IX-1).

Figure IX-1 : *Obstacles aux déplacements pédestres dans l'hypercentre de la ville de Luxembourg pour un individu atteint d'hémiplégie*

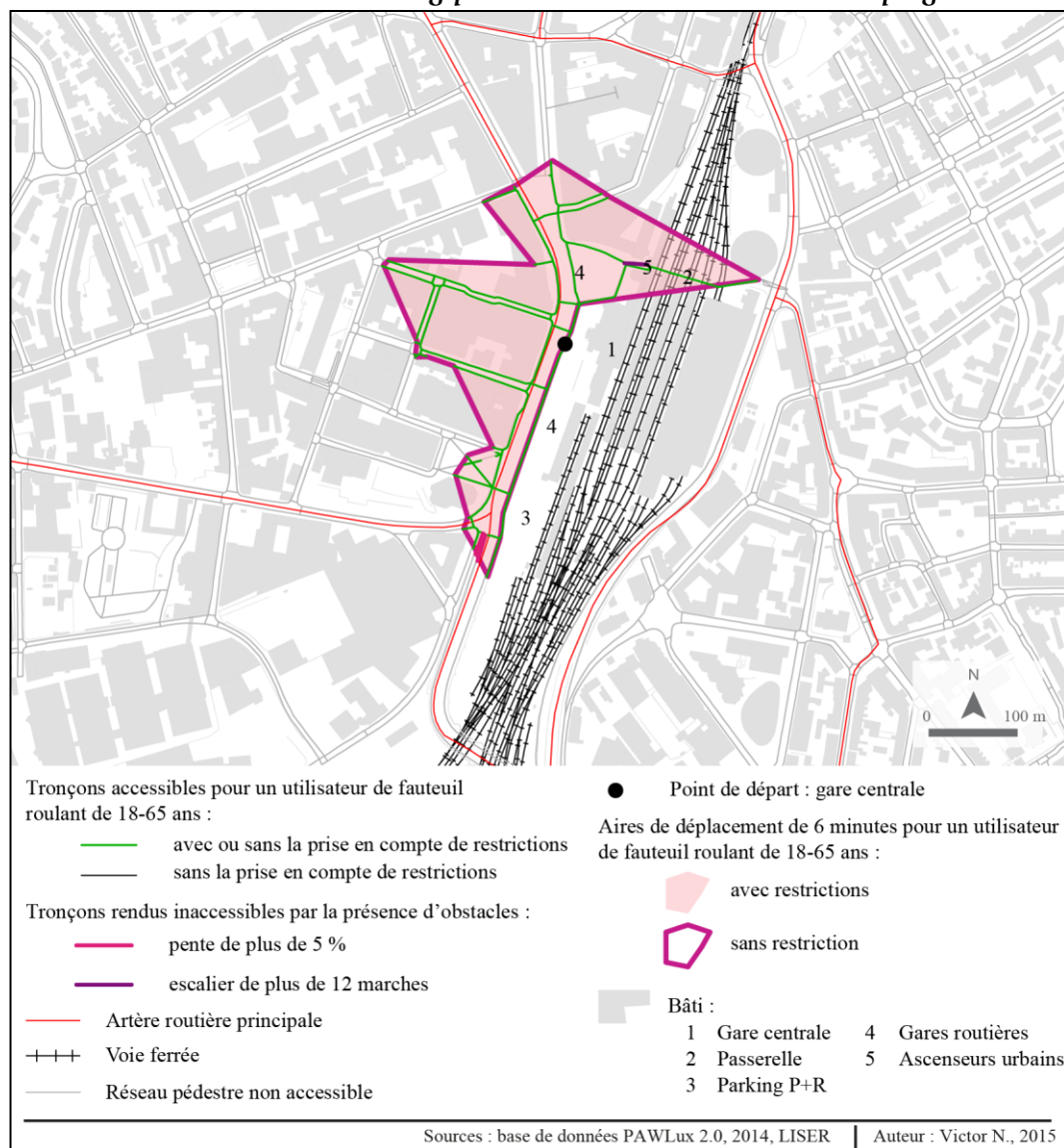


Ce sont les traversées informelles de chaussée qui sont la source majeure de restrictions dans cette zone avec 29 tronçons concernés. Les pentes de plus de 5 % sont ensuite les obstacles les plus présents (100 m de tronçons concernés) et les hauteurs à franchir de plus de 16 cm (37 m). Etant en travaux au moment de l'audit urbain (2014), nous ne disposons pas des informations nécessaires pour analyser l'accessibilité des deux escaliers présents aux entrées Sud de la place Guillaume II où se situe l'office de tourisme. Toutefois, s'ils sont similaires à celui à l'Est de l'office de tourisme, c'est-à-dire avec plus de 12 marches, cette place apparaît peu

accessible par le sud aux personnes atteintes d'hémiplégie. Au final, si le plateau-piéton par lui-même s'avère favorable à l'accessibilité piétonne, l'architecture médiévale de certaines rues de la partie historique (à l'Ouest) ainsi que le manque d'aménagement pour traverser la chaussée dans la rue Notre-Dame (au Sud) sont les obstacles majeurs aux déplacements piétons pour ces deux catégories d'usagers.

La deuxième aire au départ de l'entrée principale de la gare centrale permet d'accéder à 2 155 m de réseau pédestre. Elle correspond à un nœud important d'échanges intermodaux avec à la fois des infrastructures routières, ferroviaires et cyclables qui imposent une certaine verticalité au réseau pédestre (cf. figure IX-2). L'accessibilité autour de la gare, aux arrêts de bus et au P+R est toutefois garantie malgré la forte présence d'infrastructures de transport avec de nombreux passages piétons munis de bateaux et un revêtement majoritairement en asphalté et dalles artificielles. Par ailleurs, deux ascenseurs permettent d'accéder à la passerelle qui passe au-dessus des voies ferrées et permet de rejoindre l'arrière de la gare. Pour les individus atteints d'hémiplégie, seuls 100 m de tronçons contiennent des obstacles lorsque les restrictions sont prises en compte dans l'aire de déplacement en 6 minutes à partir de la Gare.

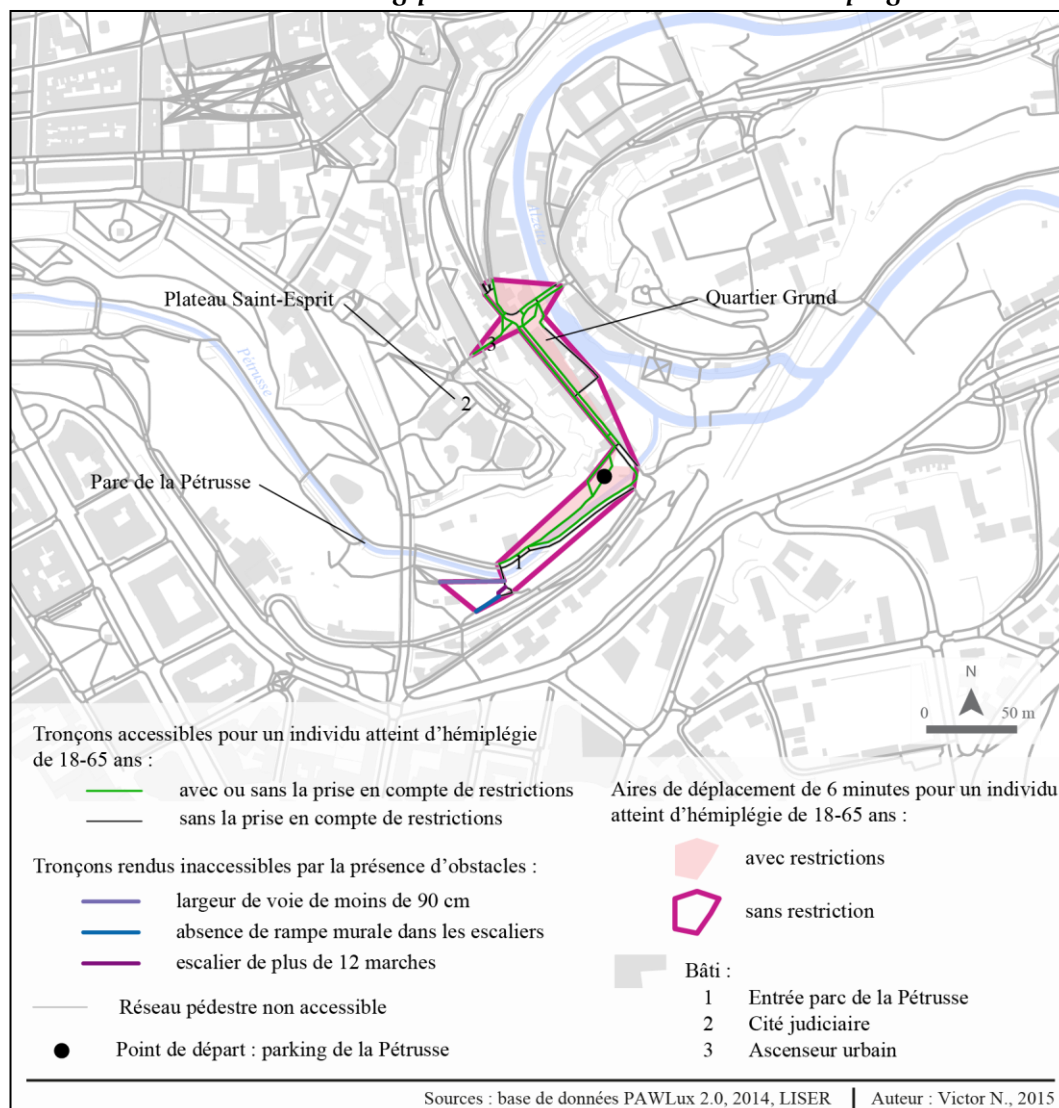
Figure IX-2 : *Obstacles aux déplacements pédestres autour de la Gare centrale de la ville de Luxembourg pour un individu atteint d'hémiplégie*



L'escalier permettant d'accéder à la passerelle possède plus de 12 marches mais un ascenseur est proposé pour les usagers les plus vulnérables en remplacement. En outre, les différents services intermodaux (gares routières, parking P+R) sont accessibles aux individus atteints d'hémiplégie en 6 minutes en partant de la gare.

Enfin, la troisième aire au départ du parking du parc de la Pétrusse permet d'accéder à 2 812 m de réseau pédestre. La comparaison d'aires de déplacement *avec* ou *sans restriction* pour les individus atteints d'hémiplégie montre que peu d'obstacles influencent leur mobilité (cf. figure IX-3).

Figure IX-3 : *Obstacles aux déplacements pédestres en fonds de vallées dans la ville de Luxembourg pour un individu atteint d'hémiplégie*



La quasi-totalité des tronçons dotés d'obstacles au déplacement se trouve au Sud de l'aire évaluée, dans la montée conduisant au quartier de la Gare. Les deux fonds de vallée sont ainsi accessibles à pied, depuis le parking, en 6 minutes aux personnes atteints d'hémiplégie. Les quelques obstacles identifiés correspondent à des pentes de plus de 5 % (251 m de tronçons concernés), des escaliers de plus de 12 marches (43 m) et l'absence de rampe dans des escaliers (79 m). Au final, si la topographie et l'hydrographie contraignent fortement le réseau pédestre dans cette partie de la ville, ce dernier permet d'accéder au parc urbain de la Pétrusse ainsi qu'à l'espace résidentiel et ses aménités dans le Grund.

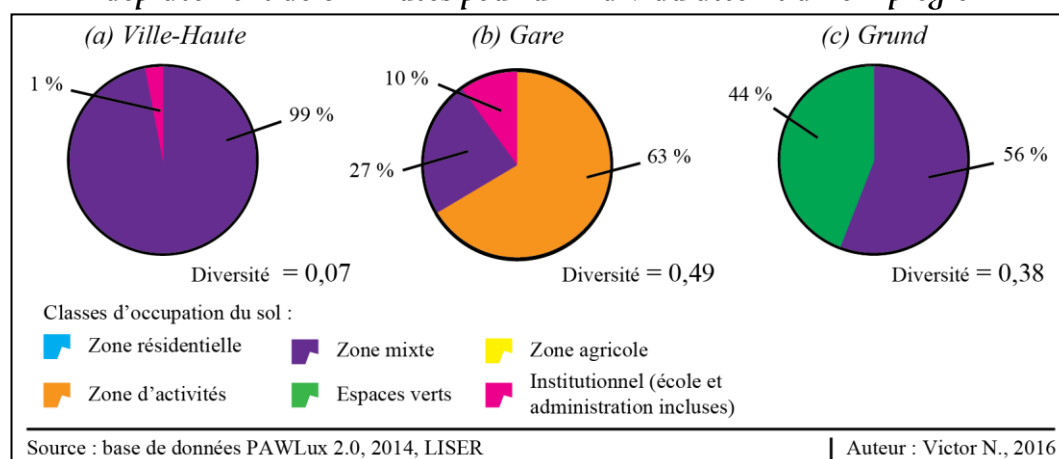
L'analyse de trois espaces urbains différents dans la ville de Luxembourg montre que, si l'architecture et les aménagements urbains diffèrent selon les fonctionnalités des espaces, les situations d'obstacles pour les individus atteints d'hémiplégie correspondent principalement à des *incapacités de franchissement de hauteurs* (escalier ou trottoir) ou de *pentres trop importantes*. Si la présence d'un

nombre important d'aménagements urbains et handicapés facilite leurs déplacements, le réseau pédestre n'est pas intégralement accessible. Toutefois, malgré ces obstacles, l'accès à une diversité de fonctions urbaines est-elle garantie ? Une analyse d'accessibilité à des aménités diversifiées dans les aires de déplacement peut ensuite permettre de déterminer si le réseau demeure fonctionnel malgré la présence d'inégalités.

1.2. Fonctionnalité et intérêt des lieux dans des aires de déplacement dans trois quartiers selon une variable interindividuelle

Le territoire de la Ville de Luxembourg est caractérisé par une grande mixité fonctionnelle. L'occupation du sol dans l'aire de la Ville-Haute possède une spécification de services plus importante que celles du Grund et de la Gare. Parmi six grandes classes identifiées sur le territoire, seules quatre sont représentées dans la figure ci-contre.

Figure IX-4 : Répartition et diversité de l'occupation du sol dans trois aires de déplacement de 6 minutes pour un individu atteint d'hémiplégie



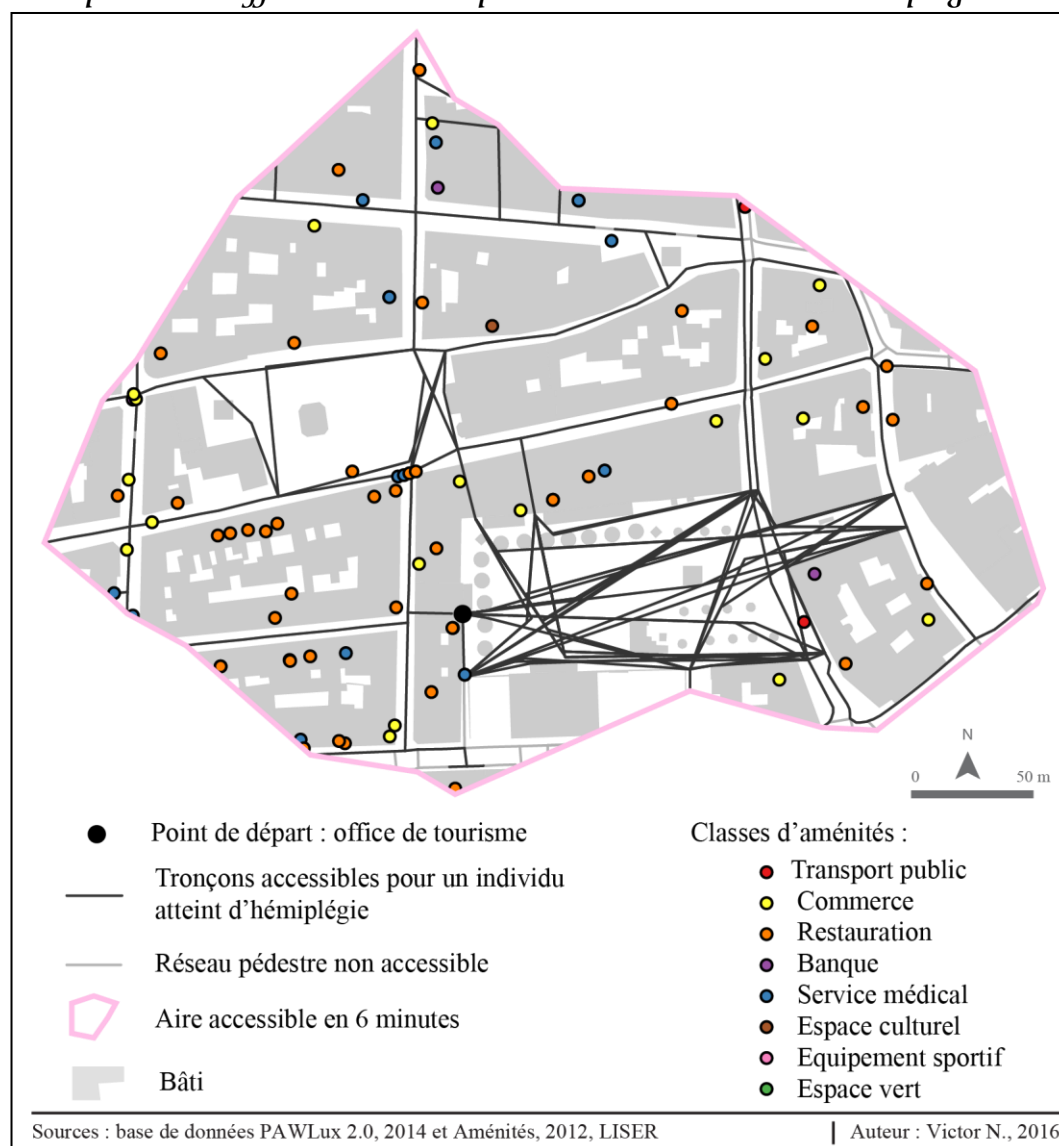
L'aire de déplacement de 6 minutes à partir de l'office de tourisme pour une personne atteinte d'hémiplégie dans la Ville-Haute permet principalement d'accéder à une zone mixte avec la présence de nombreux commerces et services (restauration, banques, etc.). Quelques institutions comme l'hôtel de ville ou certains services de la ville sont également accessibles. Avec une occupation du sol principalement mixte et une densité de population résidentielle de 62 habitants par hectare, il s'agit d'un espace avec un potentiel de flux piétons important. La diversité de l'occupation du sol laisse ainsi présager d'un espace attractif pour des déplacements à buts utilitaire et récréatif. L'aire de déplacement évaluée dans le quartier Gare propose une occupation du sol plus diversifiée avec trois classes identifiées. L'implantation principale correspond à une zone d'activités représentant les infrastructures dédiées aux transports ferroviaires de voyageurs et de fret. Cette fonction principale ainsi qu'une densité de population résidentielle de 44 habitants par hectare indique, ici aussi, un potentiel important de flux piétons. Avec des ratios de 63 % de l'aire de déplacement permettant d'accéder à une zone d'activité, 27 % à une occupation mixte et 10 % à des institutions, l'espace étudié est le plus

diversifié de nos exemples et apparaît principalement attractif pour des déplacements à but utilitaire. Enfin, l'aire dans le quartier du Grund permet d'accéder à une zone mixte dans la vallée de l'Alzette et au parc de la Pétrusse dans celle susnommée. La densité de population résidente est la plus faible des trois aires évaluées avec 27 habitants par hectare. La diversité d'occupation du sol et le peu de densité de population présument d'un espace attractif pour des déplacements à but principalement récréatif.

Toutes les aménités n'ayant pas le même intérêt au quotidien, calculer la proximité des commerces et des services en tenant compte de leurs fréquences d'utilisation permet d'évaluer la fonctionnalité de chaque aire (cf. chap. VI-2-2.1). Malgré son plateau-piéton, l'indice *local de proximité des aménités* dans l'aire en Ville-Haute indique une concentration un peu plus faible autour de l'office de tourisme (39 %) que celle dans le quartier Gare (41 %). Avec des aménités dispersées, peu nombreuses et éloignées par rapport au parking, l'aire du Grund possède, quant à elle, un score très faible (6 %).

L'aire dans la Ville-Haute concentre 87 aménités référencées accessibles à une personne atteinte d'hémiplégie en six minutes à partir de l'office de tourisme. Bien que plus nombreuses par rapport au quartier Gare, ces dernières sont toutefois plus dispersées dans l'aire (cf. figure IX-5).

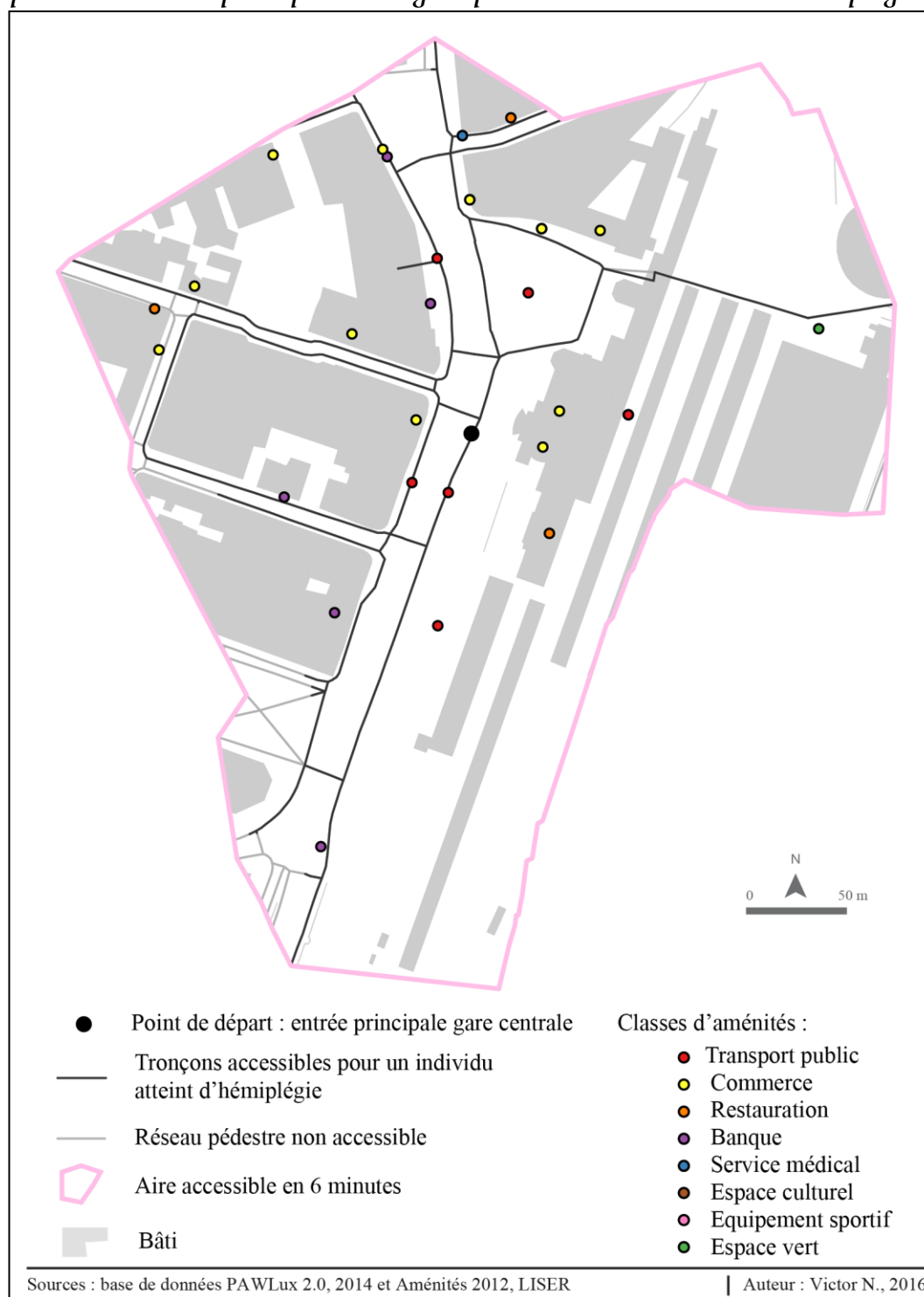
Figure IX-5 : *Aménités accessibles dans une aire de déplacement de 6 minutes à partir de l'office de tourisme pour un individu atteint d'hémiplégie*



Les aménités dans cette aire se révèlent très diversifiées et présentent d'une fonctionnalité mixte à la fois utilitaire et récréative de l'espace. Ce sont les restaurants et cafés qui sont le plus référencés (42 unités) dont les plus proches sont accolés à l'office de tourisme. Dix-huit commerces de proximité (boulangerie, boucherie, tabac et coiffeur) sont également disséminés dans l'aire dont les premiers se situent à moins de deux minutes. Les arrêts de bus dans l'aire se révèlent, en revanche, peu nombreux et dispersés avec le plus proche de l'autre côté de la place à 3 minutes. Aucun équipement sportif ou espace vert ne sont, par ailleurs, accessibles en 6 minutes depuis l'office de tourisme. Un ensemble d'aménités fréquentées au quotidien telles que les commerces de proximité (boulangerie, boucherie, tabac-journaux, etc.) ou les arrêts de transport en commun sont toutefois assez proches de l'office de tourisme (2-3 minutes en moyenne).

L'aire calculée depuis l'entrée de la gare centrale compte 30 aménités référencées accessibles à une personne atteinte d'hémiplégie en six minutes. Bien que moins nombreuses qu'en Ville-Haute, ces dernières sont plus concentrées et proposent majoritairement des services du quotidien (cf. figure IX-6).

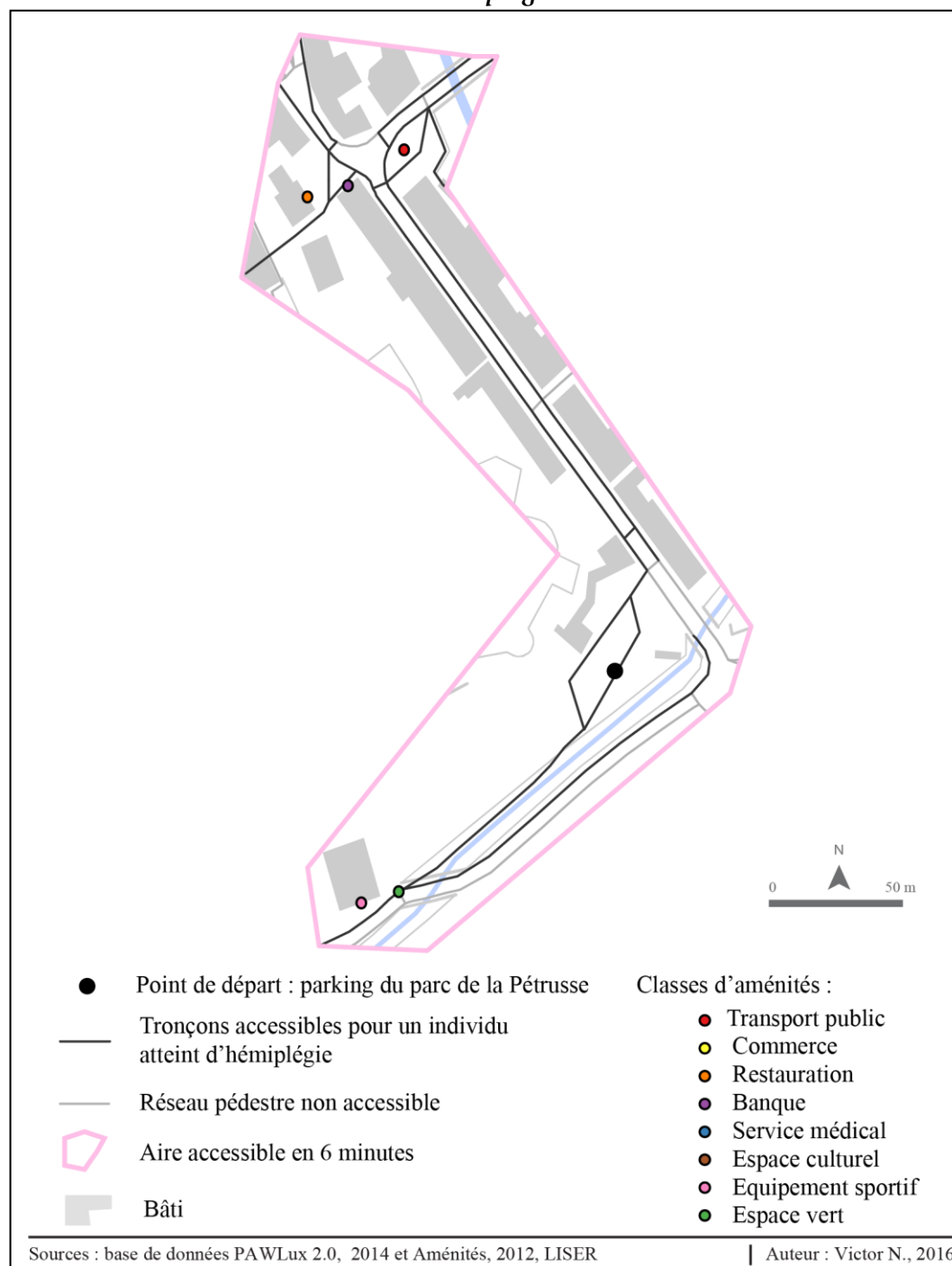
Figure IX-6 : *Aménités accessibles dans une aire de déplacement de 6 minutes à partir de l'entrée principale de la gare pour un individu atteint d'hémiplégie*



Douze commerces de proximité sont ainsi référencés dont les plus proches sont dans la gare (boulangerie et tabac-journaux). En plus de la gare, la présence de nombreux arrêts de bus (6 unités) facilitent l'utilisation d'autres modes complémentaires pour se rendre vers l'ensemble de la ville. Les aménités présentes dans l'aire du quartier Gare correspondent formellement à une fonction utilitaire de l'espace. Leurs répartitions et leurs natures indiquent un nœud de transit avec de nombreux relais de transports publics et des commerces de proximité à une distance quasi immédiate.

L'aire de déplacement à partir du parking du parc de la Pétrusse ne donne accès qu'à cinq aménités référencées avec deux pôles d'attractivité : le premier au Nord dans la vallée de l'Alzette et le second au Sud dans la vallée de la Pétrusse (cf. figure IX-7).

Figure IX-7 : *Aménités accessibles dans une aire de déplacement de 6 minutes à partir du parking du parc de la Pétrusse pour un individu atteint d'hémiplégie*



Les aménités identifiées dans l'aire du quartier Grund indiquent une fonctionnalité récréative de l'espace avec, à 5 minutes au Nord, la présence d'un café et d'un distributeur, et à 3 minutes au Sud, un parc urbain et un mini-golf.

Au-delà des scores de proximité aux aménités très variables, les trois aires analysées possèdent ainsi des fonctionnalités bien distinctes. Si celles de la Ville-Haute offrent des services aux fonctions mixtes attractives (utilitaires/récréatives),

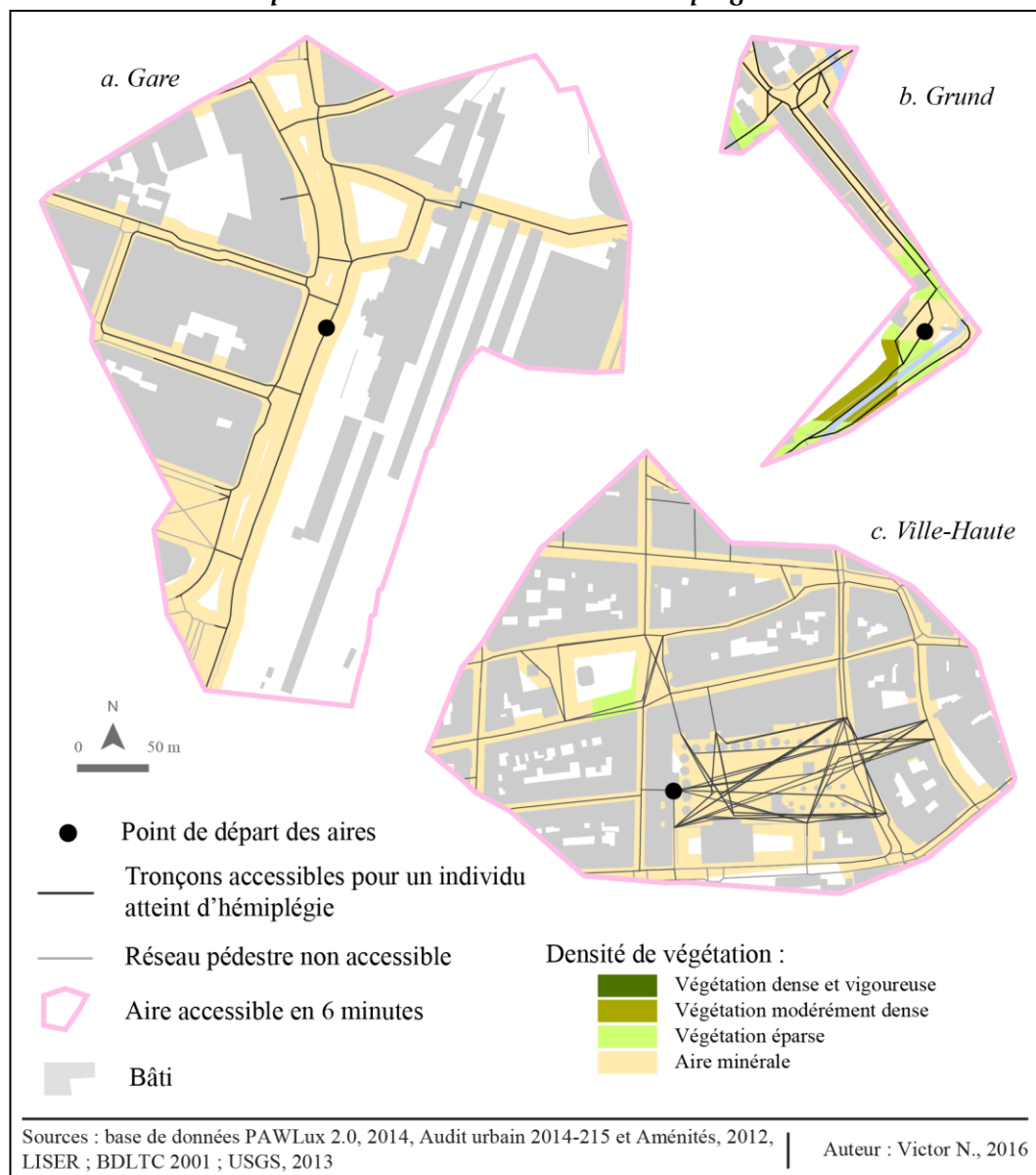
celles de la Gare et du Grund semblent être beaucoup plus spécialisées avec respectivement une fonction principalement utilitaire pour la première et une fonction récréative pour la seconde. Bien que l'aire de déplacement à partir de la gare offre une occupation du sol plus diversifiée, elle manque d'espaces de loisirs pour susciter des déplacements piétons à but récréatif. *A contrario*, l'aire dans le Grund manque de certaines fonctions utilitaires telles que des commerces de proximité. Ces différences de fonctionnalités laissent présager de qualités paysagères très différentes selon les aires mais aussi des attentes très différentes des usagers piétons pour chacune d'entre elles puisque ces derniers indiquaient dans les entretiens être particulièrement sensibles à l'esthétique de l'environnement dans un cadre récréatif.

1.3. Qualité environnementale et paysagère dans des aires de déplacement dans trois quartiers selon une variable interindividuelle

Les entretiens effectués révèlent que, lorsque le budget-temps le permet ou lorsqu'il s'agit d'une marche récréative, les usagers piétons sont beaucoup plus sensibles à la qualité de l'environnement qui les entoure. Ainsi, l'aire de déplacement évaluée dans le quartier Grund apparaît légèrement plus favorable à la marche dans un budget-temps non contraint aux yeux des individus atteint d'hémiplégie – 44 % contre 43 % avec un budget-temps contraint. *A contrario*, dans les aires de déplacement de la Ville-Haute et quartier Gare les ISW sont plus favorables dans un contexte de budget-temps contraint – 58 % contre 46 % avec un budget non-contraint en Ville-Haute et 49 % contre 46 % dans le quartier Gare. La végétation est particulièrement citée dans les entretiens effectués et ce, dans différents contextes de déplacement. Si les frondaisons abritent, en effet, les usagers piétons de la pluie ou de la chaleur au quotidien, la présence de verdure est également considérée comme très attractive. Dans un premier temps, une mesure de la présence de végétation est réalisée pour localiser les îlots de verdure en milieu intra-urbain. Puis, dans un second temps, une démarche de localisation d'éléments de l'environnement susceptibles d'influencer la perception du design urbain chez les usagers piétons est proposée, en complément, pour identifier la qualité environnementale et paysagère des aires.

L'aire de déplacement dans le Grund possède l'indice de *verdure* le plus élevé (79 %) avec la présence de plusieurs îlots de verdure aux densités diverses. Les aires dans la Ville-Haute (1 %) et le quartier Gare (0 %) se révèlent, en revanche, essentiellement minérales.

Figure IX-8 : *Présence de végétation dans trois aires de déplacement calculées pour un individu atteint d'hémiplégie*



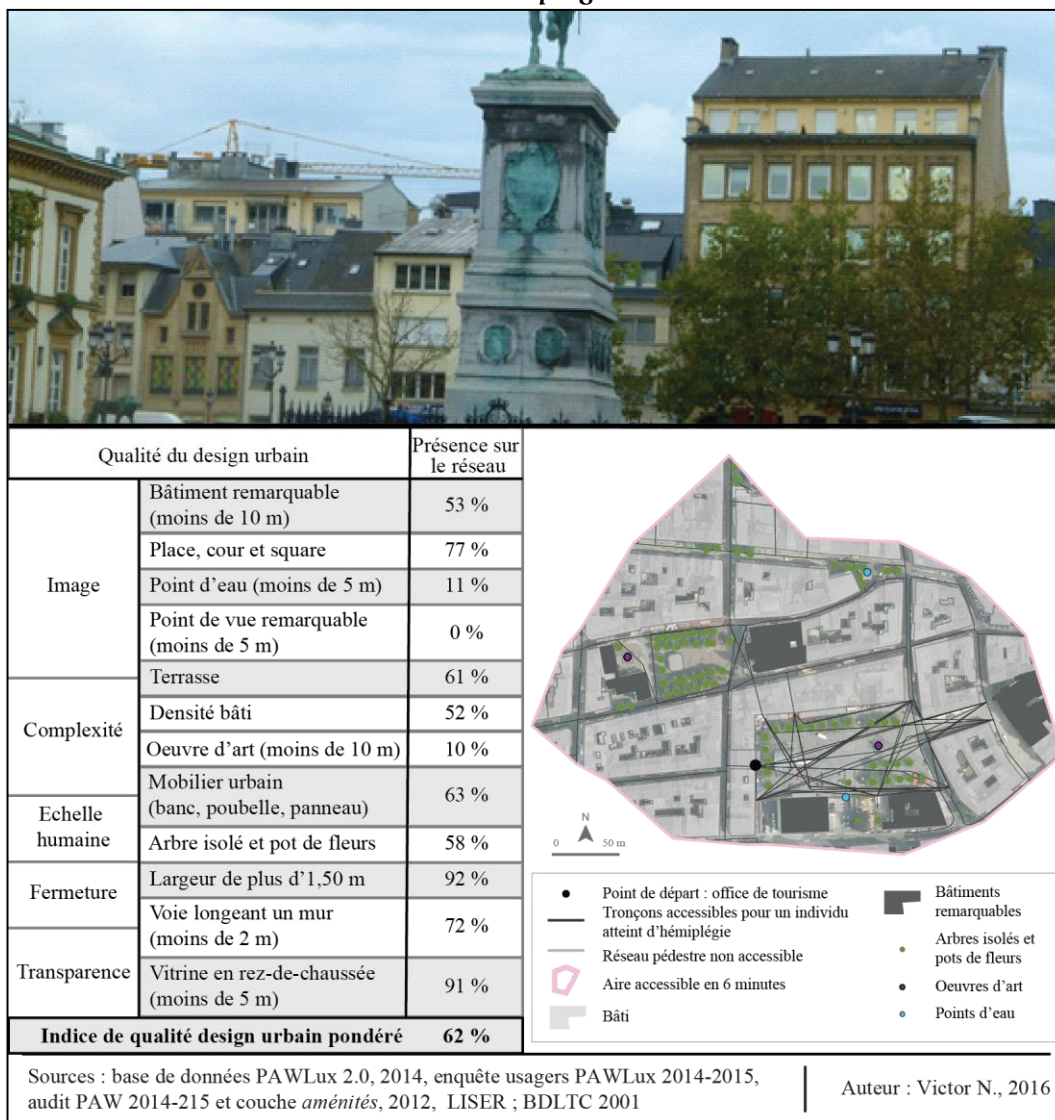
Avec la présence du parc urbain, le Sud de l'aire dans le Grund possède un îlot important de végétation allant de modérément dense à éparse. Un autre est également identifié au Nord avec une végétation éparse. Dans l'aire de la Ville-Haute, seule la place d'Armes possède des arbres dont les frondaisons sont suffisamment importantes pour être prises en compte lors de la mesure de la densité de végétation. Enfin, bien que le quartier Gare possède quelques arbres isolés en guise d'agrément aucun d'entre eux n'est suffisamment mature pour contribuer à l'impression de vert décrite dans les entretiens ou encore protéger des intempéries (cf. figure IX-8).

La qualité environnementale et paysagère d'un espace est ensuite évaluée à travers la capacité des aires à proposer un design urbain de qualité. Bien qu'encore en développement car sujet à des effets de taille, l'indice de qualité du design

urbain, pondéré grâce aux entretiens de l'enquête-usagers (cf. chap. VII-2-2.2), évalue la présence sur le réseau pédestre d'éléments de l'environnement ayant une influence sur les perceptions d'*image*, de *fermeture*, d'*échelle humaine*, de *transparence* et de *complexité* chez les usagers (cf. chap. III-1-1.2). L'aire calculée dans la Ville-Haute apparaît comme celle possédant la meilleure qualité de design urbain d'après les centres d'intérêts identifiés dans les entretiens avec un indice de 62 % contre 25 % pour celle de la Gare et 35 % pour celle du Grund.

Le réseau pédestre accessible en 6 minutes depuis l'office de tourisme à un individu atteint d'hémiplégie propose un ensemble d'éléments nombreux et diversifiés jugé appréciable par les usagers piétons lorsqu'ils prêtent attention à ce qui les entourent.

Figure IX-9 : *Qualité du design urbain dans une aire de déplacement de 6 minutes à partir de l'office de tourisme pour un individu atteint d'hémiplégie*

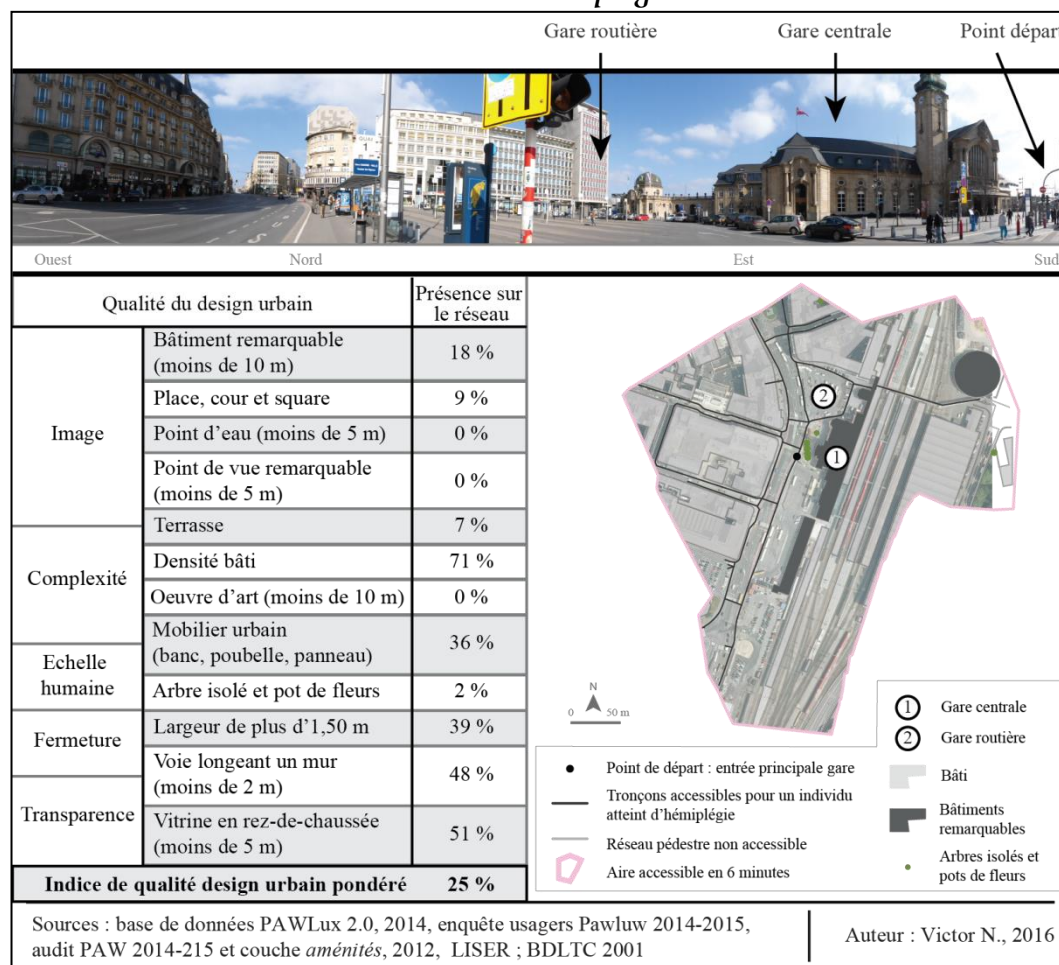


L'architecture des lieux est diversifiée et propose le long du réseau de nombreux bâtiments remarquables (53 % des tronçons) ainsi que plusieurs places et

cours (77 %). Si le bâti est relativement dense (52 %), un ensemble d'aménagements urbains est également présent avec des terrasses (61 %), des œuvres d'art (10 %), des points d'eau (11 %) et du mobilier urbain (63 %) garantissant une bonne image mais contribuant également à la complexité des lieux. La majorité des voies pédestres dans l'aire sont larges grâce au plateau-piéton (92 %). Par ailleurs, 72 % du réseau pédestre longe des murs favorisant ainsi l'impression de fermeture et de « chambre extérieure », tout en conservant une bonne transparence sur les activités humaines avec 91 % du réseau longé par des vitrines en rez-de-chaussée. Enfin, de nombreux aménagements à échelle humaine sont présents sur le réseau tels que le mobilier urbain (63 %) et l'implantation d'arbres et de pots de fleurs (58 %). Globalement, les cinq critères contribuant à la qualité du design urbain sont ainsi particulièrement bien représentés dans cette aire.

Le réseau existant depuis l'entrée principale de la gare centrale ne permet pas d'accéder à un grand nombre d'éléments jugés comme représentatifs d'une bonne qualité environnementale.

Figure IX-10 : *Qualité du design urbain dans une aire déplacement de 6 minutes à partir de l'entrée principale de la Gare centrale pour un individu atteint d'hémiplégie*

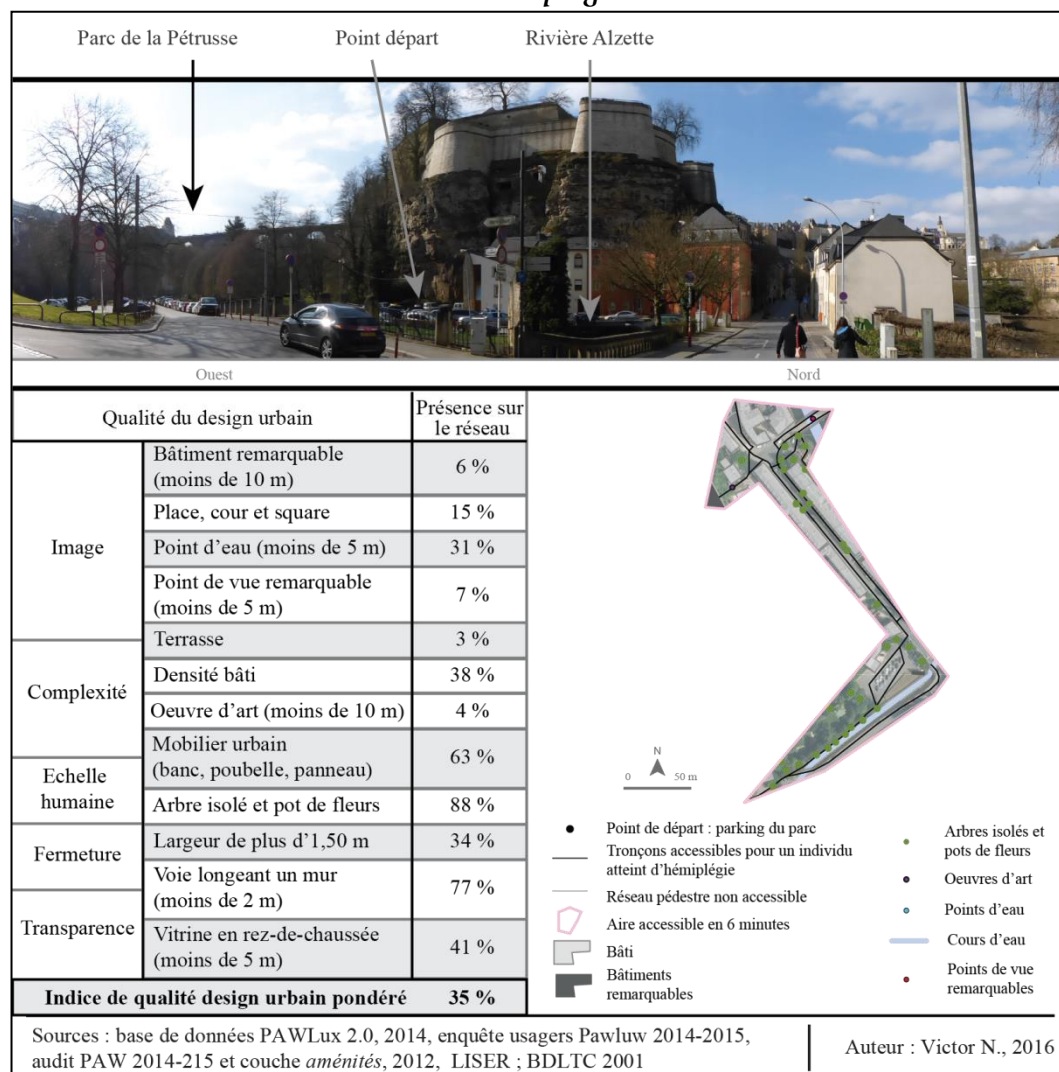


Peu d'éléments contribuent à l'image ou à la complexité du paysage dans l'aire. Malgré une densité du bâti importante (71 %), seuls les bâtiments du complexe de

la gare sont remarquables depuis le réseau pédestre (18 %) ainsi que l'esplanade qui se situe devant (9 %). Par ailleurs, seulement 36 % du réseau pédestre dispose de mobilier urbain alors que la quasi-absence d'arbres isolées ou de pots de fleurs relevés n'offre pas l'impression d'une aire à échelle humaine. En outre, le réseau pédestre apparaît relativement exposé à l'environnement extérieur (circulation, intempéries) avec seulement 39 % de voies larges et 48 % longeant un mur. Pour finir, 51 % du réseau est composé de vitrines en rez-de-chaussée qui offrent une impression de transparence et une certaine visibilité sur l'activité humaine. L'évaluation du design urbain dans l'aire du quartier Gare laisse ainsi un bilan assez défavorable quant à l'impression de qualité environnementale et paysagère dans le contexte de la marche.

Enfin, si l'indice de qualité du design urbain dans l'aire calculée à partir du parking du parc de la Pétrusse dans le Grund possède un score assez faible (35 %), la configuration des lieux laisse une évaluation mitigée quant à la qualité environnementale et paysagère des lieux.

Figure IX-11 : *Qualité du design urbain dans une aire de déplacement de 6 minutes à partir du parking du parc de la Pétrusse pour un individu atteint d'hémiplégie*



L'atout principal en matière d'image dans l'aire de déplacement évaluée est la présence de points d'eau avec la Pétrusse et l'Alzette avec 31 % du réseau pédestre accessible donnant vue sur les rivières. Le pont passant sur l'Alzette offre également un point de vue remarquable. L'aire propose des espaces publics à échelle humaine avec un véritable effort d'aménagement urbain tant sur l'implantation de mobiliers (63 %) que d'arbres et de pots de fleurs (88 %). Avec la présence du parc et du parking au Sud, la densité du bâti dans l'aire est assez faible (38 %) et se concentre essentiellement au Nord. L'aire est donc divisée en deux sous-espaces où la partie Nord propose des paysages urbains plus complexes mais des voies pédestres assez étroites qui donnent une impression de fermeture. Toutefois, 77 % du réseau longe des murs et contribue ainsi à une impression de « chambre extérieure » et de transparence avec la présence de nombreuses vitrines (41 %). Au final, cette aire possède quelques atouts contribuant à la qualité du design urbain mais leur répartition est dispersée entre le Nord et le Sud de l'aire qui créent deux paysages urbains différents. Cet exemple montre ainsi les limites actuelles de l'indice de

qualité de design urbain qui subit ici un effet de taille avec un score évalué assez faible (35 %) bien que possédant des éléments estimés comme favorables à la marche dans l'un ou l'autre des sous-espaces.

En somme, évaluer la qualité environnementale et paysagère à travers la présence de végétation et la qualité du design urbain dans les trois aires permet d'exprimer un potentiel d'influence de l'environnement sur le point de vue des usagers. Bien que l'indice de qualité du design urbain nécessite encore quelques ajustements, les premiers résultats offrent des perspectives intéressantes et incitent à continuer les recherches dans ce sens. Des éléments additionnels pourraient être intégrés, par la suite, comme la hauteur des bâtiments ou la couleur des façades. Une évaluation de la qualité du design urbain sur l'ensemble de la ville pourrait également être une piste pour lisser les effets de tailles. Enfin, la pondération pourrait être affinée par une enquête-usager avec une cohorte représentative. Une fois ajouté aux scores ISW, cet indicateur permettra ainsi d'inclure le point de vue des usagers sur la qualité environnementale et paysagère et d'en répercuter l'importance sur les diagnostics de la capacité d'un espace à favoriser la marche.

Au final, les trois aires de déplacement accessibles en 6 minutes pour un individu atteint d'hémiplégie proposent des configurations très variables. Une analyse plus approfondie à travers les indicateurs contribuant à l'ISW démontre bel et bien une tendance des quartiers à être aménagés selon leurs fonctionnalités dans la ville de Luxembourg. Sans surprise, l'aire évaluée dans l'hyper-centre avec son plateau piéton se révèle la plus favorable à la marche urbaine au quotidien (utilitaire et récréative) en garantissant une morphologie du réseau très adaptée (connectivité, linéarité) aux comportements des usagers piétons, des commerces de proximité très proches et variés ainsi qu'une bonne qualité environnementale et paysagère. Les deux autres aires se révèlent moins favorables mais plus spécialisées selon l'objectif et le contexte de déplacement. L'aire dans le quartier Gare est ainsi essentiellement consacrée à la marche utilitaire et favorise en priorité les flux piétons avec un budget-temps contraint. L'environnement urbain met ainsi rapidement à disposition des commerces de proximité et garantit une bonne accessibilité à une grande diversité d'usagers malgré un réseau pédestre fortement contraint par la présence d'infrastructures de confort. Lieu de passage, la qualité environnementale et paysagère du site y est quelque peu délaissée. Néanmoins, dans le contexte de déplacements avec un budget-contraint, les usagers piétons indiquent ne se préoccuper que très peu de l'environnement qui les entoure en faveur de la fonctionnalité du réseau. Enfin, celle dans le Grund propose un design urbain clairement dédié à la marche récréative avec des aménagements dévoués aux activités de plein air au Sud (parc urbain, mini-golf) et à la restauration au Nord (café et restaurant, terrasses). Le réseau pédestre y est fortement marqué par la topographie et l'hydrographie qui imposent de nombreux détours et limitent son potentiel d'accessibilité. Toutefois, les témoignages des usagers indiquent que la forme du réseau est moins déterminante dans le choix des itinéraires dans le cadre de déplacements récréatifs. En résumé, la capacité d'un milieu urbain à favoriser la

marche dépend donc des interrelations usagers-environnement et du contexte de déplacement.

2. Capacités d'un milieu urbain à favoriser la marche pour une grande diversité d'usagers

Une première analyse de la capacité de l'environnement urbain de la ville de Luxembourg à favoriser la marche en comparant trois aires de déplacement dans trois quartiers a pu démontrer que le réseau pédestre offre un service adapté à la fonctionnalité des quartiers. Cette spécialisation de ce réseau semble répondre aux attentes des usagers piétons enquêtés dont les conditions à satisfaire lors de leurs déplacements varient non seulement selon leurs caractéristiques physiques intrinsèques mais aussi selon le contexte de déplacement. Cependant, la pratique de la marche urbaine peut aussi conduire à des situations d'inadéquation entre les caractéristiques des usagers et l'environnement où certains obstacles, invisibles aux uns, peuvent apparaître insurmontables aux autres. Bien qu'un ensemble de normes soient mises en place pour garantir une liberté de déplacement à tous, une accessibilité universelle à l'ensemble du réseau pédestre est difficilement applicable et des conflits d'usages entre les aménagements handicapés peuvent toujours survenir (cf. chap. III-2-2.3). *Dès lors, comment considérer qu'un milieu urbain met à disposition des configurations favorisant la marche pour une grande diversité d'usagers ?* A cet effet, comparer des aires calculées pour divers profils de mobilité pédestre permet d'évaluer la capacité d'un espace à proposer une qualité de services et d'environnements similaires.

L'analyse du réseau pédestre dans le chapitre VIII a permis de constater un certain nombre d'inégalités d'accès selon les usagers piétons. Pour autant, l'offre du réseau pédestre peut tout de même garantir à une grande diversité d'usagers piétons une qualité de services du quotidien et d'environnement équivalente à défaut d'être similaire. Pour cela, l'utilisation d'un *score d'inclusion* qui compare des *indices synthétiques de walkability* (ISW) à un profil de référence – 18-65 ans, sans difficulté motrice et dont l'état de santé n'influe pas sur le quotidien (PHC > 53) – identifie si un environnement urbain propose des configurations équivalentes favorisant la marche. Les scores d'inclusion calculés permettent ainsi de constater que les aires à partir de l'office de tourisme dans la Ville-Haute garantissent globalement une offre légèrement plus équitable que celles dans les quartiers Gare et Grund (cf. tableau IX-3).

Tableau IX-3 : *Capacités d'aires de déplacement à proposer une qualité de marche équivalente dans trois quartiers pour une grande diversité d'usagers piétons à travers un score d'inclusion*

Aires	Ville-Haute			Gare			Grund		
	Non pondéré	Budget temps contraint	Budget temps non contraint	Non pondéré	Budget temps contraint	Budget temps non contraint	Non pondéré	Budget temps contraint	Budget temps non contraint
T-score / motricité									
[43-52] / sans pb	1	0,98	1,02	1	1	1,04	1	1,02	1,04
< 42 / sans pb	1	0,97	1,04	1	1,02	1,1	1	1,04	1,07
< 42 / Hémiplégie	0,88	0,91	0,90	0,80	0,75	0,88	0,84	0,84	0,96
< 42 / Fauteuil	0,81	0,81	0,86	0,86	1,08	0,94	0,80	0,76	0,91

Sources : base de données PAWLux 2.0, 2014 et enquête usagers Pawlux 2014-2015, LISER | Auteur : Victor N., 2016

Les aires dans la Ville-Haute présentent pourtant systématiquement les résultats de *potentiel d'accessibilité* et d'*accessibilité inclusive* les plus faibles par rapport à celles des autres quartiers étudiées. L'étude de la capacité de la Ville-Haute à favoriser la marche selon différentes variables interindividuelles peut ainsi se révéler un moyen de diagnostiquer des inégalités d'accès tout en proposant une qualité équivalente de services et d'environnement. Dans un premier temps, des aires calculées à partir de l'office de tourisme selon trois profils de mobilité pédestre (sans difficulté motrice, avec difficulté motrice et avec utilisation d'une aide au déplacement) ont ainsi été évaluées pour déterminer la capacité d'un espace à proposer un réseau fonctionnel équivalent à une grande diversité d'usagers. Puis, dans un second temps, la capacité des aires à proposer une qualité de végétation et de design urbain est ensuite prise en compte.

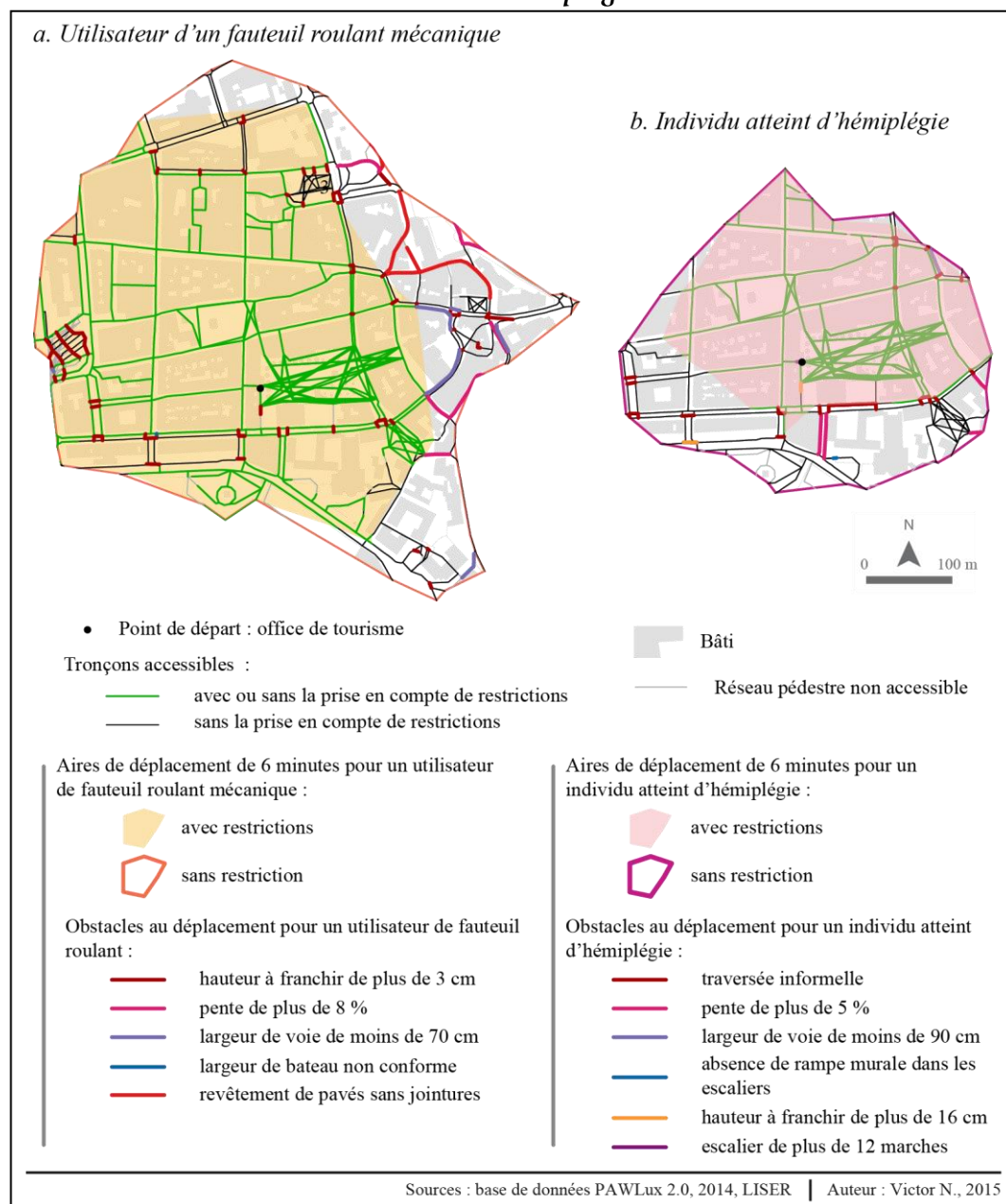
2.1. Accessibilité et fonctionnalité du réseau pédestre pour une grande diversité d'usagers

Afin de déterminer si un réseau pédestre est fonctionnel et répond à la demande de manière équitable, les inégalités d'accès selon les usagers piétons doivent tout d'abord être identifiées pour se consacrer ensuite aux aménités à disposition dans les différentes aires.

Inégalités d'accès et différences d'obstacles selon les profils de mobilité pédestre

Les dimensions des aires calculées depuis l'office de tourisme varient énormément selon les profils de mobilité pédestre utilisés. La superficie du réseau pédestre accessible aux 18-65 ans sans difficultés motrices se révèle ainsi deux fois plus grande que celle des utilisateurs de fauteuil roulant et trois fois plus que celle des individus atteints d'hémiplégie. Par ailleurs, la répartition des obstacles au déplacement dans les aires diffèrent selon les variables interindividuelles (cf. figure IX-12).

Figure IX-12 : *Obstacles aux déplacements pédestres dans l'hyper-centre de la ville de Luxembourg pour un utilisateur de fauteuil roulant et un individu atteint d'hémiplégie*



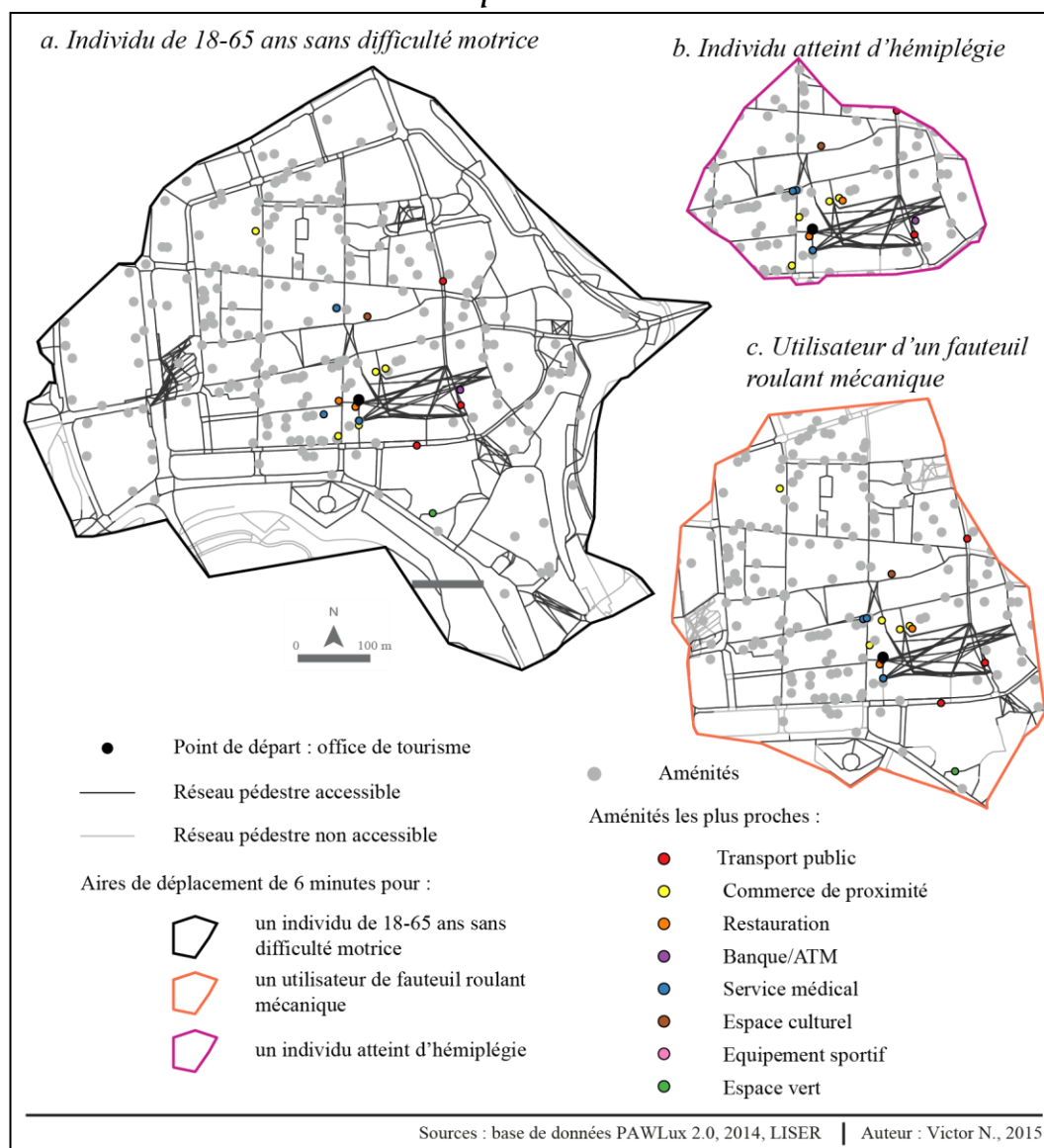
Pour un usager en fauteuil roulant, les obstacles se concentrent essentiellement dans l'Est et le Sud-est de l'hyper-centre alors que pour les individus atteints d'hémiplégie, ces derniers se localisent essentiellement au Sud. Parmi les restrictions spatiales conséquentes à l'utilisation d'un fauteuil roulant, ce sont les hauteurs à franchir de plus de 3 cm qui ressortent le plus fréquemment en tant que restriction totale avec 454 mètres de réseau concernés. Dans 87 % des cas, il s'agit de situations de traversées informelles. Ce sont ensuite les revêtements de pavés sans jointures (314 m de réseau) et les pentes de plus de 8 % (719 m) qui se révèlent en tant qu'obstacles au déplacement les plus présents dans l'hyper-centre. Pour un individu atteint d'hémiplégie, ce sont aussi les traversées informelles de chaussée qui

sont la source majeure de restrictions dans cette zone (cf. chap. IX-1-1.1). Les pentes de plus de 5 % sont ensuite les obstacles les plus présents (100 m de tronçons concernés) et les hauteurs à franchir de plus de 16 cm (37 m). Au final, si le plateau-piéton par lui-même s'avère favorable à l'accessibilité piétonne, l'architecture médiévale de certaines rues de la partie historique (à l'Ouest) ainsi que le manque d'aménagements pour traverser la chaussée dans la rue Notre-Dame (au Sud) constituent les obstacles majeurs aux déplacements piétons pour ces deux catégories d'usagers. En conséquence, les aires de déplacements à partir de l'office de tourisme ne permettent pas d'accéder aux mêmes aménités et environnement urbain selon les usagers piétons.

Proximité aux aménités et fonctionnalité

Les différences de superficie entre les aires laissent, en effet, présager d'une offre d'accès aux aménités diversifiée voire inégale selon les profils de mobilité pédestre. Néanmoins, si le score le plus bas correspond bien à l'aire des individus atteints d'hémiplégie avec 39 %, celui de l'aire des utilisateurs de fauteuil roulant est de 53 % contre 58 % pour celle des 18-65 ans sans difficulté motrice. Les résultats des indicateurs de proximité aux aménités ne sont donc pas proportionnels à la taille des aires. Les aménités les plus proches de l'office de tourisme offrent donc un service assez diversifié qui répond bien aux demandes du quotidien dans les trois exemples (cf. figure IX-13).

Figure IX-13 : *Aménités les plus proches de l'office de tourisme sélectionnées selon leurs domaines d'activité pour trois variables interindividuelles*



Les aménités considérées dans notre indice comme les plus fréquentées au quotidien sont les arrêts de transports publics et les commerces de proximité tels que les boulangeries, les boucheries, les supérettes ou encore les points de vente de tabac/journaux (cf. chap. VI-2-2.1). Bien que plus restreinte, l'aire *b* permet ainsi d'accéder à un grand nombre d'aménités diversifiées et à une offre de services du quotidien quasi équivalente à celles des autres profils.

Au final, bien que les aires au départ de l'office de tourisme révèlent des inégalités d'accès au réseau selon les usagers piétons, les aménités dans cet espace sont suffisamment diversifiées et bien réparties pour pouvoir proposer une offre équitable. Toutefois, les inégalités d'accès au réseau posent également la question de la qualité environnementale et paysagère des espaces à traverser. Les entretiens avec les enquêtés ont, en effet, démontré que l'environnement urbain peut fortement influencer le ressenti des individus selon le contexte de déplacement. Le fait que

certaines parties de la ville soient inaccessibles selon les profils de mobilité pédestre influence ainsi fortement la capacité d'un espace à favoriser la marche pour une grande diversité d'utilisateurs.

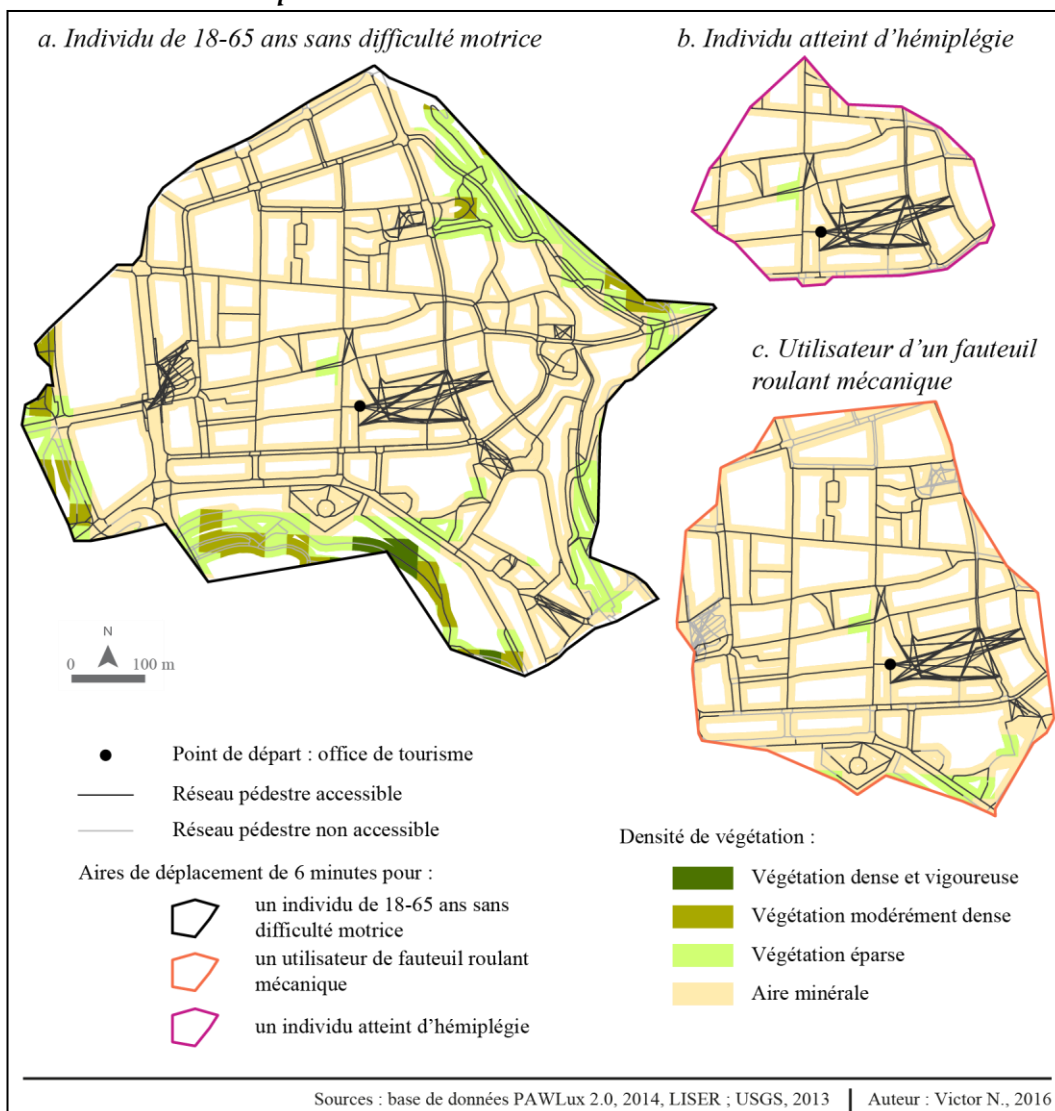
2.2. Favoriser la marche selon le contexte de déplacement pour une grande diversité d'utilisateurs piétons

Les déplacements piétons dépendent des interrelations usagers-environnement, d'une part, et du contexte de déplacement, de l'autre. Selon le budget-temps, certains usagers piétons peuvent ainsi ressentir comme discriminant de ne pouvoir accéder à une qualité environnementale et paysagère équivalente aux autres. Après le démantèlement de la forteresse, la création de nombreux parcs urbains, de squares et de promenades a eu un effet durable sur la qualité architecturale de la ville avec l'apport d'un patrimoine naturel important [Philippart, 2009]. La localisation d'îlots de verdure permet tout d'abord d'estimer si toutes les aires bénéficient d'une densité de végétation équivalente. Puis, bien qu'encore en développement, la prise en compte de l'indicateur pondéré de *qualité du design urbain* révèle ensuite si l'accessibilité selon différents profils de mobilité pédestre est à l'origine d'inégalités dans un contexte de budget-temps non contraint.

Présence de végétation et îlots de verdure

L'ensemble des entretiens montre un véritable engouement des usagers piétons pour la présence de verdure lors de leurs déplacements. Néanmoins, les résultats de présence de végétation varient selon les aires de déplacement évaluées. Si les individus de 18-65 ans sans difficulté motrice peuvent accéder à une partie du réseau avec un indice de verdure de 10 %, ce n'est pas le cas des individus atteints d'hémiplégie (1 %), ni des utilisateurs de fauteuil roulant (2 %).

Figure IX-14 : *Présence de végétation dans trois aires de déplacement calculées pour trois variables interindividuelles*

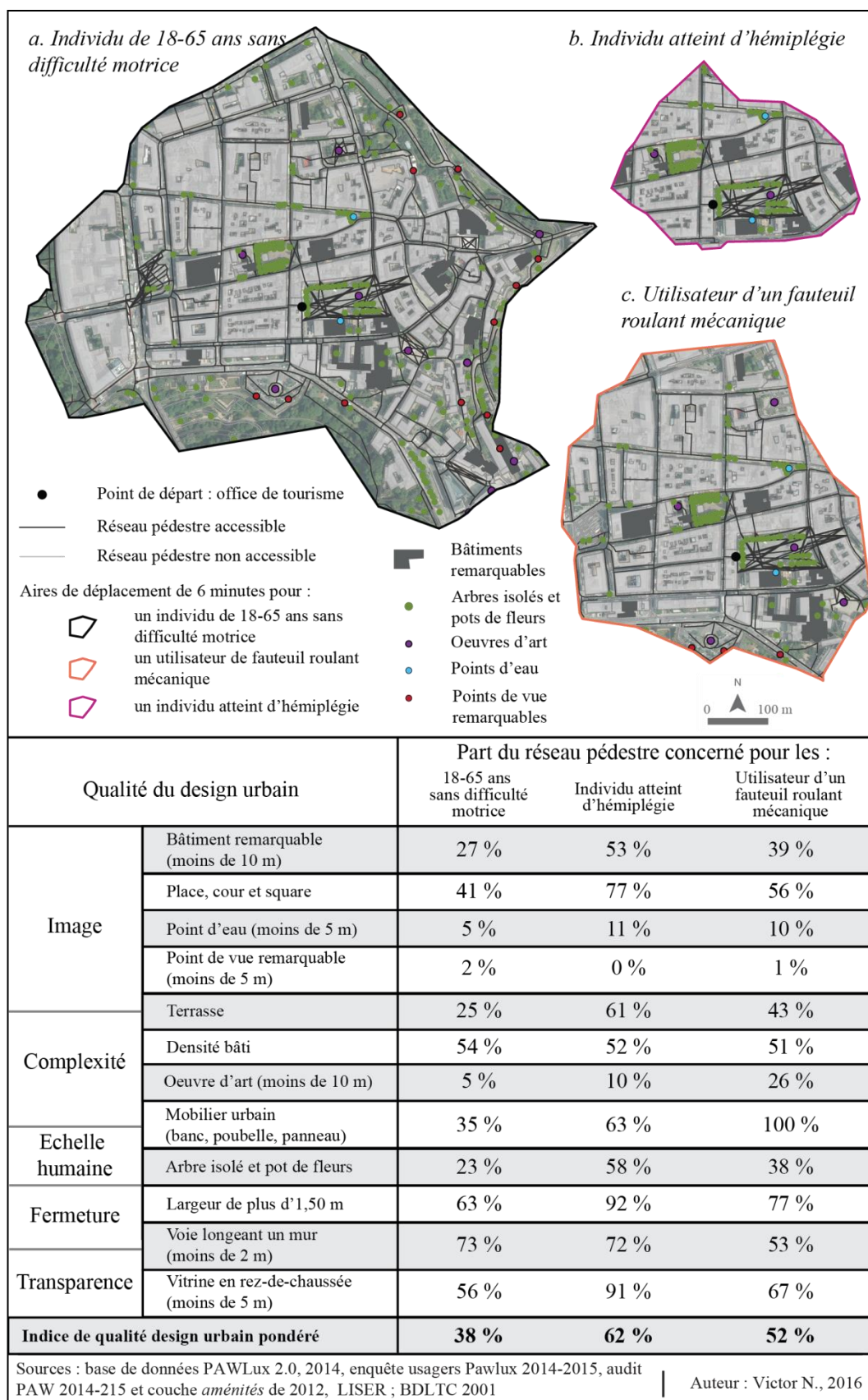


La Ville-Haute est entourée de parcs urbains. Toutefois, seule l'aire des individus sans difficulté motrice de 18-65 ans permet d'y accéder en six minutes à partir de l'office de tourisme. Si les aires *b* et *c* apparaissent ainsi plutôt minérales, les utilisateurs de fauteuil roulant peuvent tout de même accéder à un îlot de verdure avec le square situé au Sud de l'aire *c*. Ainsi, la répartition de la végétation en centre-ville ne permet pas de considérer que l'accès à de la verdure soit équitable selon les usagers piétons.

Qualité du design urbain

Si l'effet de taille ne permet pas de comparer les aires, la prise en compte de la qualité du design urbain offre tout de même un aperçu de la qualité environnementale et paysagère que les usagers piétons sont potentiellement amenés à traverser en six minutes à partir de l'office de tourisme.

Figure IX-15 : *Qualité du design urbain selon trois variables inter-individuelles*



La qualité du design urbain des aires *a* et *c* est très hétérogène avec une concentration des éléments favorables dans le Sud et l'Est. Plus petite, l'aire *b* offre un environnement avec une concentration d'éléments contribuant efficacement à la qualité du design urbain lorsque le ressenti des usagers quant aux éléments qu'ils considèrent comme attractifs ou esthétiques est pris en compte. Logiquement, plus une aire de déplacement est grande, plus les usagers ont des chances de traverser des environnements de qualités différentes. Néanmoins, la forme des aires semblent également jouer un rôle puisque malgré sa taille, celle accessible aux utilisateurs de fauteuil roulant possède un indice de qualité de design urbain plutôt élevé (52 %). En somme, l'indice de *qualité de design urbain* ne peut pas encore être intégré en tant que tel à l'ISW pour évaluer un score d'inclusion dans le cadre d'un déplacement piéton avec budget-temps non contraint. Toutefois, le mentionner permet d'ores et déjà d'observer si une aire propose une qualité environnementale et paysagère homogène.

Dans le cadre d'un budget-temps non contraint où les usagers prêtent plus attention à ce qui les entoure, les aires étudiées révèlent des inégalités d'accès à un environnement de qualité environnementale et paysagère selon les usagers piétons. La possibilité d'accéder à une aire de déplacement plus vaste en direction du Nord et de l'Ouest de la Ville-Haute ne favorise pas les individus de 18-65 ans sans difficultés motrices. Bien que beaucoup plus restreintes, les aires accessibles aux individus atteints d'hémiplégie et aux utilisateurs de fauteuil roulant proposent au final une meilleure répartition d'éléments contribuant à un environnement de qualité. Le réseau pédestre des 18-65 ans sans difficultés motrices permet toutefois d'accéder à un plus grand nombre de parcs urbains en frange de leur aire de déplacement et donc d'atteindre un plus grand nombre d'îlots de verdure en 6 minutes à partir de l'office de tourisme.

En conclusion, si la prise en compte des interrelations usagers-environnement permet de localiser des inégalités d'accessibilité au réseau pédestre au sein de la Ville-Haute, l'espace autour de l'office de tourisme demeure fonctionnel pour une grande diversité d'usagers avec une bonne répartition des commerces de proximité et des arrêts de transports en commun. Toutefois, dans un contexte de déplacement non contraint où les usagers piétons prêtent plus attention à ce qui les entoure, les aires accessibles en six minutes depuis l'office de tourisme ne permettent pas toutes d'accéder à une qualité environnementale et paysagère équivalente.

Conclusion du chapitre IX

Les aménagements urbains agencés selon les fonctionnalités des quartiers dans la ville de Luxembourg influencent différemment le ressenti des usagers quant à la capacité du territoire à favoriser la marche. Leurs attentes lors de leurs déplacements varient toutefois selon l'objectif (utilitaire/récréatif) et le contexte (budget-temps) de déplacement. Pour exemples, si la configuration du quartier Gare est particulièrement favorable aux transferts multimodaux et à la marche à but

utilitaire, celle du quartier du Grund tend à favoriser les déplacements à but récréatif. Par ailleurs, si le réseau pédestre apparaît inégalement accessible selon les caractéristiques physiques des usagers piétons (capacité de déplacement, état de santé), sa capacité à être considéré comme favorable à la marche n'est pas systématiquement en lien et dépend fortement de sa faculté à répondre à la demande. Ainsi, un même espace peut interdire l'accès de certaines aménités selon les profils de mobilité pédestre et demeurer fonctionnel en proposant des services équivalents à proximité. A l'inverse, le fait de pouvoir se déplacer plus librement dans un territoire ne garantit pas une qualité environnementale et paysagère homogène. *Evaluer la capacité de la ville de Luxembourg à favoriser la pratique de la marche urbaine pour une grande diversité d'usagers nécessite donc de tenir compte des interrelations usagers-environnement et du contexte de déplacement.* L'utilisation d'indices synthétiques de *walkability* pondérés et l'expérimentation d'un indicateur de *qualité du design urbain* permettent d'intégrer cette spécificité. Les ISW pondérés intègrent l'influence du contexte de déplacement sur la capacité d'un environnement à favoriser la marche alors que celui sur le design urbain introduit l'intérêt des usagers pour la qualité environnementale et paysagère lorsque leurs déplacements ne sont pas contraints par leur budget-temps. Toutefois, appliquer ces mesures sur un terrain concret a confirmé la nécessité de s'appuyer sur les témoignages d'un plus grand nombre d'usagers pour améliorer les pondérations et l'importance des critères les uns par rapport aux autres. A cet effet, pour collecter une quantité représentative d'informations, nous proposons de développer une interface utilisateur sous la forme d'un prototype en guise de perspectives de recherche.

Chapitre X.

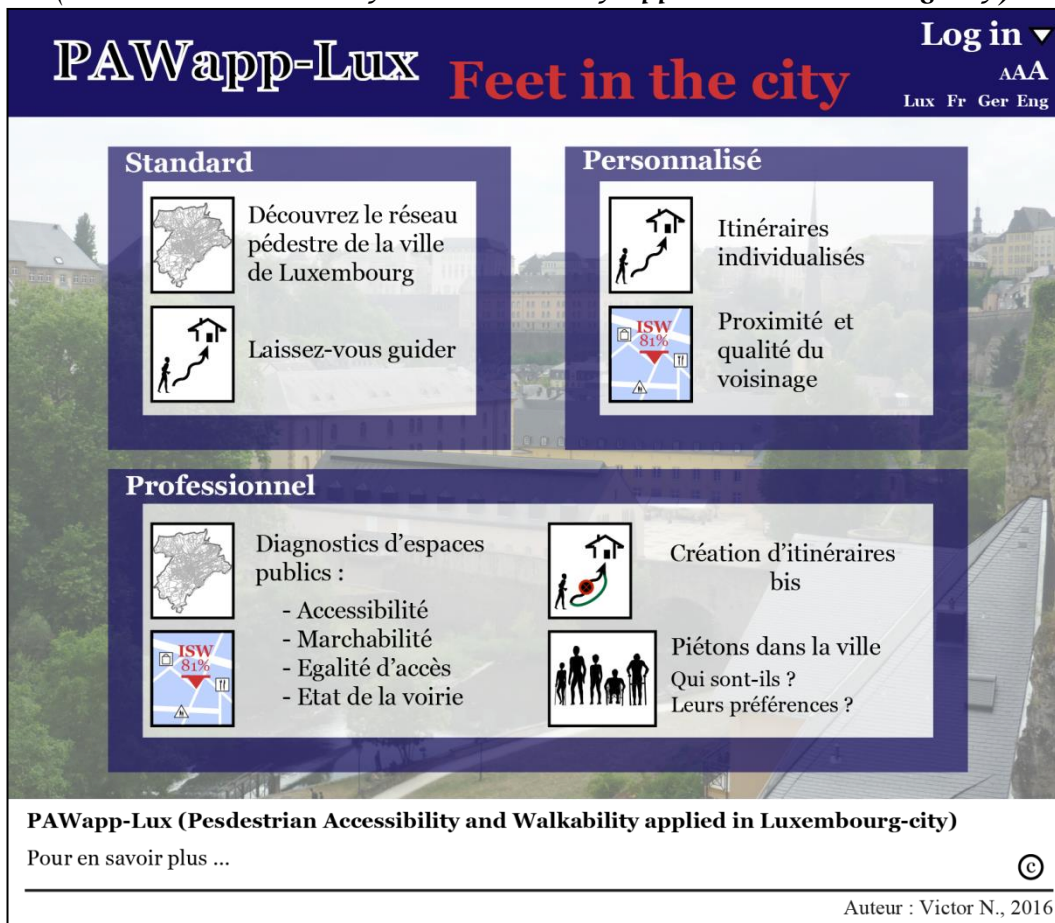
Restitution et perspectives de recherche : solutionner les limites à la modélisation de la relation usagers-environnement à l'aide d'un SIG

La création d'un modèle de déplacement piéton intégrant les interrelations usager(s)-environnement à l'aide d'un SIG a démontré de nombreux avantages mais aussi quelques limites lors de notre expérience sur la Ville de Luxembourg. Premièrement, en accord avec la littérature (cf. chap. IV-1-1.3), établir une base de données détaillée a requis un coût temporel, économique et humain élevé. Si de nombreuses informations étaient disponibles au sein de la ville, leur obtention s'est confrontée à un système répartissant les données par services où chaque département exige une autorisation spécifique de l'échevin pour y accéder. Parallèlement, à la lenteur du processus administratif, l'utilisation des données s'est également révélée limitée par des droits de propriété. Ces difficultés nous ont conduites à développer notre propre méthodologie de collecte de données *via* un audit urbain. Néanmoins, l'aspect chronophage du procédé nous a obligés à nous concentrer seulement sur un échantillon dans le cadre de cette thèse. Par ailleurs, la mise à jour des données reste une problématique en suspens. Deuxièmement, la préconisation d'itinéraires individualisés aux usagers piétons nécessite une grande flexibilité pour tenir compte du contexte de déplacement (état de santé et physique, conditions météorologiques, accompagnement, etc.). La mise en place d'un questionnaire usagers a permis d'obtenir des informations personnelles pour établir des profils de mobilité pédestre. Néanmoins, contacter une grande diversité d'usagers s'est révélé une démarche complexe malgré le soutien d'associations pour les handicapés et des services de la Ville. Lors de nos tentatives de prises de contact, il s'est avéré que les micro-déplacements piétons se sont pas intégrés dans les mentalités comme des trajets en soi. Les refus s'appuyaient donc régulièrement sur le fait que les enquêtés potentiels utilisaient systématiquement la voiture ou des transports médicalisés. Enfin, troisièmement, la configuration du modèle selon les interrelations usagers-environnement s'appuie actuellement sur une revue de

littérature et non sur une cohorte représentative de la population locale. Les témoignages des enquêtés nous ont cependant démontré que s'il existe des pratiques collectives de déplacement piéton, les préférences et/ou réticences pour certains critères de l'environnement relèvent de goûts personnels.

En réponse aux problématiques de mise à jour de données et d'obtention d'une cohorte représentative, la création d'un outil d'aide à la décision *PAWapp-Lux* (*Pedestrian Accessibility and Walkability applied in Luxembourg-city*), utilisant une interface utilisateur sur internet peut mettre à disposition des fonctions de visualisations d'informations géographiques localisées sur la marche en échange de données sur l'utilisateur et le terrain pour améliorer le service. A cet effet, *PAWapp-Lux* propose trois modes (cf. figure X-1) : un premier *Standard* avec des itinéraires proposés selon des catégories d'utilisateurs suivant la capacité motrice, le genre et l'âge ; un second *Personnalisé* avec un *login* où l'utilisateur peut remplir le questionnaire MoCaPA (*Mobility's Capacity of a Person Assessment*), en ligne, de manière à déterminer son profil utilisateur et obtenir des itinéraires préconisés personnalisés ; un troisième *Professionnel* avec une interface destinée aux aménageurs et associations offrant des diagnostics de l'espace urbain et des statistiques sur les profils des utilisateurs piétons inscrits.

Figure X-1 : Page d'accueil de l'outil d'aide à la décision *PAWapp-Lux* (*Pedestrian Accessibility and Walkability applied in Luxembourg-city*)



Cet outil d'aide à la décision s'appuie sur la base de données SIG du modèle de déplacement piéton *PAWLux* créée dans le cadre de ce projet de thèse^{LIX} et de la base de données sur la *walkability* issues du projet CURHA^{LX}.

A ce stade, l'outil d'aide à la décision *PAWapp-Lux* est encore un prototype et pourra être développé dans le cadre de projets futurs. Nous proposons néanmoins de présenter dans ce chapitre final, les cas d'utilisation pour définir les besoins attendus par les acteurs dans un premier temps, puis la logique pour les satisfaire en guise de perspectives de recherche, dans un second temps.

1. Les acteurs et leurs besoins

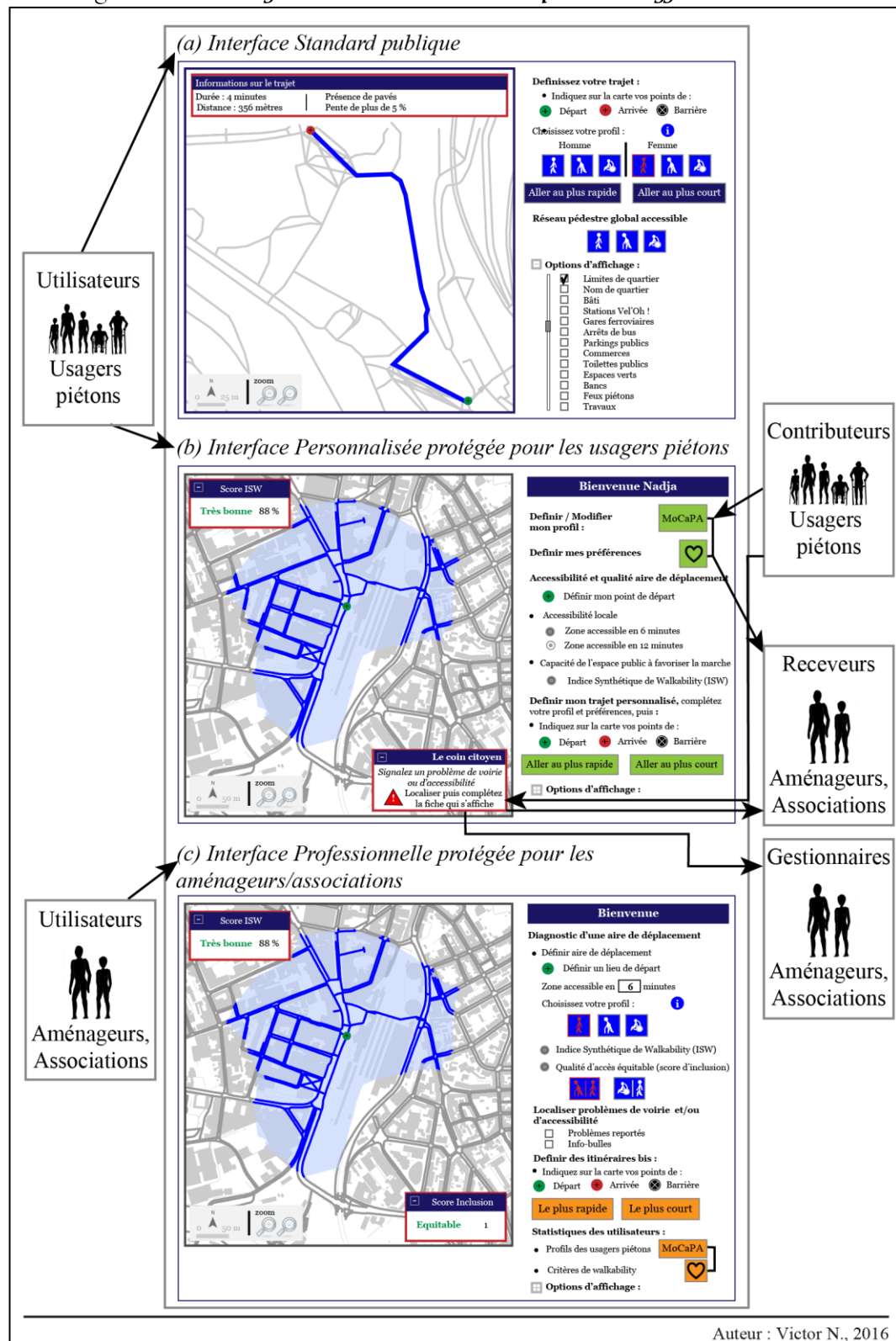
L'outil d'aide à la décision *PAWapp-Lux* possède un double objectif : 1) restituer des informations géographiques localisées sur les déplacements piétons et 2) collecter de nouvelles données sur les usagers et l'environnement pour compléter le modèle et effectuer des mises à jour.

Les usagers piétons et les aménageurs/associations ont ainsi différents rôles d'acteurs et sont amenés à intervenir dans plusieurs situations (cf. figure X-2).

^{LIX} Projet 1183639 PAWLux (*Pedestrian Accessibility and Wayfinding in Luxembourg-City*), financé par le Fonds National de la Recherche du Luxembourg, au LISER (*Luxembourg Institute of Socio-Economic Research*)

^{LX} Projet CURHA (*Contrasting URban contexts in Healthy Aging*), LISER

Figure X-2 : Interfaces et rôle des acteurs pour les différents modes



Dans le mode (a) *Interface Standard publique*, les usagers piétons peuvent trouver une solution rapide pour se rendre d'un endroit à un autre, tout en localisant d'éventuelles aménités le long de leur trajet. Une interface publique offre

ainsi un service standard, simple d'utilisation, où les usagers sont représentés par catégories d'individus selon les variables interindividuelles « genre » et « utilisation d'une aide au déplacement ». Elle propose des itinéraires préconisés selon trois profils d'usagers : Personne à mobilité Classique (PMC), Personne à Mobilité Réduite (PMR) et Personne à Mobilité Très réduite (PMTR). Le profil PMC représente des individus dont la pratique de la marche est sans contrainte d'accessibilité. Celle PMR correspond à des personnes dont la pratique de la marche est contrainte par une déficience physique qui peut nécessiter le recours à une aide à la marche (canne, béquille, déambulateur, prothèse). Enfin, la dernière catégorie PMTR correspond à des individus dont les capacités motrices limitent ou interdisent l'utilisation des membres inférieurs et qui ont recours à une aide au déplacement (fauteuil roulant, landau).

Dans le mode (b) *Interface Personnalisée protégée pour les usagers piétons*, une solution est proposée aux usagers piétons qui souhaitent se déplacer en ville en fonction de leurs propres critères d'accessibilité et notions de confort. Une interface protégée par un login permet ainsi d'accéder à un profil personnalisable. L'utilisateur est alors suscité en tant que *serveur* pour compléter un questionnaire sur ses capacités de déplacement et son état de santé d'une part, puis pour indiquer une hiérarchie de préférences de critères à satisfaire dans son déplacement, d'autre part. Une fois le profil de mobilité pedestre complété, l'utilisateur peut visualiser des itinéraires préconisés individualisés mais aussi obtenir des informations personnalisées sur l'accessibilité et la qualité d'une aire de déplacement. Les usagers piétons peuvent également jouer un rôle de *serveur* dans la fenêtre « Le coin citoyen » qui leur permet de signaler et de localiser un problème de voirie ou d'accessibilité. Les aménageurs/associations sont en retour *facilitateurs* et veillent à apporter un retour aux usagers piétons-citoyens. Cette démarche d'usagers-serveur permet ainsi aux aménageurs/associations d'être également *receveurs* d'un ensemble d'informations sur le réseau pedestre mais aussi sur les profils des usagers piétons sur le territoire.

Enfin, dans le mode (c) *Interface Professionnelle protégée pour les aménageurs/associations*, les utilisateurs sont cette fois-ci, des aménageurs ou encore des associations (tourisme, handicap, etc.) qui souhaitent évaluer non seulement la capacité de leur ville à accueillir une grande diversité de piétons mais aussi à proposer des aménagements urbains favorisant la marche de manière équitable entre ces usagers. A cet effet, un Indice Synthétique de *Walkability* (ISW) et un score d'inclusion sont à disposition pour diagnostiquer un espace, une fois le lieu et le temps d'accès maximum à une aire de déplacement définis par l'*initiateur*. Ce dernier peut également visualiser et identifier d'éventuels problèmes d'accessibilité ou d'état de la voirie en tant que *receveur* d'informations à travers le « coin citoyen ». Un outil de simulation permet alors de calculer des itinéraires bis lorsqu'un tronçon du réseau se révèle inaccessible (travaux, panne d'ascenseur urbain, animation, etc.). Enfin, la mise à disposition de statistiques anonymes sur les utilisateurs du mode (b) offre des informations sur les profils d'usagers piétons sur le territoire mais

Dans le mode (a) *Interface Standard*, deux scénarii sont proposés à partir d'une configuration préétablie du modèle de déplacement piéton.

- Le premier scénario propose, grâce aux fonctions mises à disposition par le SIG, de calculer des trajets offrant un compromis entre le plus accessible et le plus rapide/court selon le profil choisi. A cet effet, l'interface propose à l'utilisateur d'indiquer sur la carte son point de *départ* et son point d'*arrivée*. De plus, une option *barrière* permet de générer des itinéraires bis si l'usager souhaite condamner un segment de rue. Une fenêtre d'information renseigne sur la durée et la distance du trajet calculé mais aussi sur la présence d'éléments pouvant contraindre le déplacement sans toutefois le restreindre. La configuration des profils d'usagers (PMC, PMR et PMTR) dans le calculateur d'itinéraires inclut également des mises à jour à partir des statistiques sur les usagers piétons obtenus grâce au mode (b).

- Le deuxième scénario est un outil de visualisation permettant d'afficher les tronçons du réseau pédestre accessibles selon les catégories d'usagers et la présence d'obstacles éventuels selon les profils de déplacement.

Pour finir, une *option d'affichage* permet de s'orienter sur la carte et de localiser des aménagements et aménités pouvant être suscités par les piétons. Au total, ce sont seize options d'affichage disponibles qui sont utilisables dans les trois modes proposés par PAWapp-Lux : *Limites de quartier*, *Nom de quartier*, *Bâti*, *Stations Vel'Oh !*, *Gares ferroviaires*, *Arrêts de bus*, *Parkings publics*, *Commerces*, *Toilettes publiques*, *Espaces verts*, *Bancs*, *Feux piétons*, *Travaux*, *Restauration et cafés*, *Administration et bibliothèques* et *Ecoles*.

L'*interface publique* offre ainsi une première couche d'informations sur la marche et l'accessibilité piétonne aux usagers. En outre, elle permet aussi de mettre en avant des inégalités spatiales selon des variables interindividuelles telles que le sexe et la motricité. L'implémentation d'informations de la part des aménageurs ou d'associations pourrait également être imaginée et offrir un support de communication géoréférencé à destination du grand public : informations événementielles (travaux, sorties des poubelles, ouvertures des parcs, rue fermée), itinéraires touristiques alliant points remarquables et catégories d'usagers, campagnes de sensibilisation sur les modes actifs en exposant les espaces compétitifs à la voiture en temps de déplacement, etc.

Le mode (b) *Interface Personnalisée* offre quatre scénarii après avoir enregistré ses données personnelles (caractéristiques physiques, état de santé et préférence environnementales). A cet effet, la configuration du profil s'appuie sur la relation usager/environnement et requiert deux étapes :

- Le lien *MoCaPa* permet d'accéder à un questionnaire en ligne (cf. chap. V-2-2.1). Une fois rempli, une évaluation de sa capacité d'accès et de l'influence de la santé perçue par l'usager sur sa mobilité quotidienne est proposée. Le questionnaire permet ainsi de configurer la vitesse et les restrictions nécessaires aux calculs d'itinéraires personnalisés. Un traitement anonyme des statistiques peut, à terme, permettre d'améliorer les configurations de profils proposés dans le mode standard

mais aussi offrir des renseignements sur les caractéristiques des usagers piétons dans un territoire.

- Le lien *Définir mes préférences* a pour but de favoriser ou de défavoriser la présence d'éléments de l'environnement ayant un potentiel à susciter ou restreindre le déplacement piéton. Les usagers peuvent également exposer leurs points de vue sur sept critères de *walkability* qui leur semblent les plus importants lors de leur choix d'itinéraires (cf. figure X-4).

Figure X-4 : Session pour « Définir mes préférences » d'un répondant sans problème de motricité

Quels éléments vous semblent attractifs ou répulsifs ?

Évaluez les éléments de l'environnement qui vous importent lors de vos déplacements piétons.

	Répulsif				Attractif			
	Interdit	Fort	Moyen	Faible	Neutre	Faible	Moyen	Fort
Vitrine de magasin								
Arbre/buisson/plante								
Espace vert								
Banc								
Lampadaire								
Oeuvre d'art								
Poubelle								
Enseigne information/publicitaire								
Points d'eau (fontaine, bassin, rivière, etc.)								
Terrasse								
Revêtement en pavés								
Forte pente								
Escalier								

Que privilégiez-vous lors de votre trajet ?

Classez les éléments selon votre ordre de préférence en déplaçant les icônes.

1	Faisabilité	5	Confort environnemental et physique
2	Accessibilité	6	Plaisir des sens
3	Utilité des lieux	7	Sentiment d'appartenance
4	Sécurité	Plus d'infos ... Valider	

Auteur : Victor N., 2016

L'évaluation des éléments permet de défavoriser ou de favoriser des segments du réseau pédestre en fonction des informations attributaires présentes dans la base de données SIG. Les huit graduations allant du plus répulsif au plus attractif permettent d'ajouter ou de soustraire des poids dans le calculateur d'itinéraires du SIG pour proposer des parcours personnalisés (cf. chap. V-2-2.2). De surcroît, les résultats de la classification des critères à satisfaire lors du trajet permettent d'effectuer des statistiques pour établir une pondération des indicateurs composant l'indice synthétique de *walkability*.

Ces deux étapes de configuration peuvent être modifiées à tout moment, ce qui permet de tenir compte de changements physiques et sanitaires chez l'utilisateur mais aussi de ses préférences selon le contexte de déplacement. Si elles peuvent apparaître longues à compléter, la sauvegarde sur le compte utilisateur permet de ne pas réitérer cette étape systématiquement. Une fois l'interface personnalisée configurée, quatre *scenarii* sont disponibles :

- *Premier scénario*, l'utilisateur peut définir un lieu de départ et obtenir une aire de déplacement accessible en 6 et/ou 12 minutes en tenant compte de sa capacité de déplacement et de ses préférences environnementales et peut afficher la présence d'aménités à proximité à travers les options d'affichage.
- *Deuxième scénario*, une évaluation de la capacité de l'environnement à favoriser les déplacements piétons dans les aires de déplacement définies est proposée à travers un score ISW et cinq niveaux d'appréciation : *Idéal*, *Très bon*, *Peu agréable*, *Peu adéquate* et *Inadéquate*. L'indice synthétique de *walkability* intègre également les préférences de l'utilisateur sous forme de pondérations (cf. chap. VI-3-3.1).
- *Troisième scénario*, le calculateur du SIG permet de générer des trajets personnalisés proposant un compromis entre le plus accessible et le plus rapide/court. Ces trajets intègrent la relation usager/environnement en tenant à la fois compte des caractéristiques de l'utilisateur et des propriétés et aménagements de l'environnement à un moment donné. À l'instar du mode (a), les utilisateurs peuvent également interdire l'accès de certains tronçons pour obtenir des itinéraires bis.
- *Quatrième scénario*, une solution de type *crowdsourcing* permet de partager des informations sur le terrain. À cet effet, les utilisateurs piétons peuvent localiser et faire remonter des doléances à travers l'option *Le coin citoyen* telle que des problèmes d'accessibilité (normes non respectées, encombrement de la voirie), d'événements temporaires (travaux, foule) ou encore de l'état des rues (propreté, état de la voie). Lorsque l'on localise un problème sur un tronçon, un petit volet déroulant permet de choisir une option de signalement (cf. figure X-5).

Figure X-5 : *Signaler un problème dans le « Coin citoyen »*

Le coin citoyen		Vos observations contribueront à l'amélioration de nos services	
Signalement		Commentaires (optionnel) :	
Impossibilité de passer	☐	50 mots max. 	
Travaux	☒		
Très mauvais état du sol	☐		
Erreur dans le modèle	☐		
Autres	☐		

Auteur : Victor N., 2016

Ces informations peuvent alimenter la base de données et la faire évoluer avec le temps mais interrogent sur la vérification des sources et de l'exactitude des remarques. L'utilisation du mode personnalisé peut permettre un système de notation de l'utilisateur en fonction de la qualité des interventions. Dans une métropole avec suffisamment d'utilisateurs, cette note pourrait être donnée suite à la validation d'un certain nombre d'utilisateurs aux profils similaires. Pour cela, la fenêtre information signalerait le problème lors d'un calcul d'itinéraire et demanderait une validation ou infirmation. Cependant, cette solution paraît difficile à mettre en place dans des villes de tailles plus restreintes avec un passage moins important. L'intervention d'une communauté de volontaires peut alors être envisagée, constituée ou secondée par des experts issus d'associations, du monde médical ou d'aménageurs.

Enfin, dans le mode (c) *Interface Professionnelle*, sept scénarii sont à la disposition des aménageurs/associations pour diagnostiquer l'espace urbain en fonction de sa capacité à accueillir équitablement une grande diversité d'utilisateurs piétons mais aussi à susciter le déplacement piéton.

- *Scénario 1*, le professionnel peut définir un lieu de départ et obtenir l'aire de déplacement de son choix en fixant un temps limite d'accès. Trois profils d'utilisateurs sont disponibles et varient selon l'utilisation d'une aide au déplacement. A l'instar des autres modes, le professionnel peut afficher la présence d'aménités à proximité à travers les options d'affichage.

- *Scénario 2*, un diagnostic de la capacité de l'espace public à favoriser la marche est proposée par le calcul d'un Indice Synthétique de *Walkability* (ISW) pour l'aire de déplacement générée. La pondération de l'indice s'effectue à partir des statistiques générées par les hiérarchies de critères de déplacement des usagers piétons.

- *Scénario 3*, un score d'inclusion permet d'identifier si deux profils d'utilisateurs piétons ont la même qualité d'accès à un environnement et aux configurations

spatiales potentiellement favorables à la marche (types d'aménités, qualité du réseau, etc.). A cet effet, les ISW générés pour les aires de déplacement de chacun des profils sont confrontés (cf. chap. VI-3-3.1). Le mode (c) permet de comparer deux profils, les Personnes à Mobilité Réduite (PMR) ou les Personnes à Mobilité Très réduite (PMTR), à un autre de référence, les Personnes à mobilité Classique (PMC). Les résultats permettent alors de déterminer si le score d'inclusion *favorise* le profil usager comparé à celui de référence, si la situation est *équitable* ou bien si ce dernier est *défavorisé*.

- *Scénario 4*, un descriptif des problèmes d'accessibilité et d'entretien de la voirie signalés sur le réseau pédestre apparaît également par l'intermédiaire de bulles infos localisées. Ces mises à jour sont répercutées dans la base de données SIG s'il s'agit d'informations pérennes comme une erreur de digitalisation. Celles temporaires sont ajoutées aux calculateurs d'itinéraires des trois modes sous la forme de barrières.

- *Scénario 5*, une option de simulations d'itinéraires *bis* est ensuite à disposition pour évaluer l'influence des barrières signalées sur le réseau pédestre et si nécessaire la mise en place d'alternatives pour désenclaver un espace (panneaux de dérivation, bus, etc.).

- Enfin, *scénario 6*, des statistiques issues des réponses des utilisateurs du mode (b) permettent d'obtenir non seulement des informations sur les profils d'usagers qui pratiquent la marche sur un territoire mais aussi leurs points de vue sur les critères à satisfaire lors de la planification de leurs trajets.

Conclusion du chapitre X

A ce stade, la mise en place d'un outil d'aide à la décision tel que *PAWapp-Lux* permet d'ores et déjà d'imaginer des premiers éléments de réponses aux nombreuses limites évoquées lors de la création du modèle de déplacement piéton à travers un SIG. Il permet de s'adresser à la fois au grand public et au milieu professionnel en passant par les décideurs, tout en créant un lien entre les deux autour de questions et de besoins quant à la pratique de la marche. Cet outil apporte ainsi non seulement une solution de collecte et de mise à jour des données mais permet également d'obtenir des informations statistiques sur les comportements de mobilité pédestre de la population locale.

Pour finir, bien que *PAWapp-Lux* ne soit encore qu'un prototype, la mise en place d'une démarche de restitution et de collecte de données localisées suggère dès aujourd'hui à s'intéresser au domaine du *Géoweb* ou *web géographique*, soit la convergence des Technologies de l'Information Géographique, des Technologies de l'Information et de la Communication, notamment avec le Web, Internet, la téléphonie mobile et les systèmes de géolocalisation [Davoine *et al.*, 2013]. Au carrefour de ces disciplines, des moyens puissants de coproduction d'information géographique peuvent alors être mobilisés tels que le *crowdsourcing* et les *volunteered geographic information* (VGI) [Goodchild, 2007 ; Goodchild et Glennon, 2010].

Toutefois, ce type d'outils peut facilement être sujet à de nombreuses erreurs tant géométriques que sémantiques [Gires et Touya, 2010 ; Ruitton-Allinieu, 2011]. Ils dépendent aussi fortement de la motivation des contributeurs d'une part, et de celle d'une institution acceptant de financer les coûts d'hébergement et d'entretien, d'autre part. Ces problématiques ouvrent ainsi sur de nouvelles perspectives de recherche pour contrôler les données mais aussi proposer des solutions *opensources* pour minimiser les frais.

Fin de la troisième partie

Conclusion

Des entretiens auprès d'usagers piétons pratiquant au quotidien la marche en milieu intra-urbain à Luxembourg-Ville ont permis d'identifier, dans le chapitre VII, un certain nombre de problématiques communes conséquentes à la présence de coupures urbaines (verticalité et/ou dimensions des voies) ou/et à la présence d'obstacles (revêtement, état de la voirie, etc.). Cette démarche a également permis un recueil de situations et configurations de l'environnement considérées comme attractives pour la marche dans divers contextes (santé, conditions météorologiques, etc.). L'analyse du réseau pédestre de la ville, dans le chapitre VIII, a ensuite confirmé une forte influence de coupures urbaines naturelles et anthropiques sur sa morphologie et sur l'accessibilité globale. De surcroît, la prise en compte d'obstacles à une échelle plus détaillée dévoile que les situations d'inadéquation potentielles varient selon les usagers piétons et nécessitent de considérer la marche urbaine selon les interrelations spécifiques entre les usagers piétons et l'environnement. A cet effet, le modèle de déplacement piéton joue un rôle informatif en préconisant des itinéraires adaptés à des profils de mobilités pédestres. Enfin, si l'accessibilité d'un trajet se révèle primordiale, les entretiens nous apprennent également que les configurations favorables à la marche varient selon l'objectif (marche utilitaire ou récréative) et le contexte de déplacement (budget-temps). L'évaluation, dans le chapitre IX, d'aires de déplacement dans différents quartiers confirme que l'environnement urbain de Luxembourg-Ville est bel et bien organisé selon les fonctionnalités des quartiers. Les diagnostics effectués permettent ainsi d'indiquer dans quel contexte de déplacement les aires se révèlent les plus favorables. Enfin, comparer des aires de 6 minutes calculées à partir de l'office de tourisme selon divers profils de mobilité pédestre a permis d'évaluer la capacité du réseau à répondre équitablement aux demandes d'une grande diversité d'usagers dans l'hypercentre malgré des inégalités d'accès. Les résultats montrent que la proximité aux aménités propose un service équivalent à défaut d'être similaire. En revanche, la qualité environnementale et paysagère présente des inégalités conséquentes à une répartition hétérogène des sites remarquables sur le territoire.

Promouvoir les mobilités douces à Luxembourg-Ville est un enjeu majeur pour réduire la pollution et lutter contre les problématiques de santé liées au phénomène de sédentarisation. La marche étant un mode en soi mais aussi un lien entre d'autres modes se révèle une solution alternative à l'utilisation de la voiture

individuelle en milieu intra-urbain. L'analyse du territoire de cette ville a démontré que certains quartiers ont particulièrement propices à la marche en tant qu'activité récréative. Le quartier Grund et le parc dans la vallée de la Pétrusse en sont un exemple en proposant des espaces verts avec peu de flux piétons et des aménités de loisirs (restaurant, parc urbain, mini-golf, etc.). A l'inverse, d'autres quartiers favorisent plus la marche utilitaire par leurs configurations. Le quartier Gare offre ainsi un espace très fonctionnel avec une grande diversité d'aménités à proximité et accessibles pour une grande diversité d'usagers piétons bien que la qualité environnementale et paysagère reste à améliorer. Il existe également des configurations de l'environnement à la fois favorable à la marche utilitaire et récréative. La Ville-Haute offre ainsi un bon compromis avec une grande diversité d'aménités et une qualité environnementale de bonne qualité malgré la présence d'obstacles et une répartition hétérogène des sites remarquables. Néanmoins, la présence de coupures urbaines remet en question la capacité du territoire de Luxembourg-Ville à favoriser les déplacements piétons pour se rendre d'un quartier à l'autre. La distance à couvrir ou l'effort conséquent à la pente peut se révéler une véritable barrière selon le profil de mobilité pédestre de l'utilisateur. La marche peut alors être complétée par l'utilisation d'autres modes comme le vélo ou les transports en commun qui permettent un bon accès du réseau pédestre à l'ensemble des usagers piétons.

Pour finir, le chapitre X propose un prototype d'outil d'aide à la décision et de visualisation ouvrant sur de nouvelles perspectives de recherche quant aux questions de collectes participatives de données et de représentations *via* internet.

CONCLUSION GENERALE

Au cours de cette thèse, la mobilisation de passerelles théoriques, méthodologiques et empiriques a permis de conduire une réflexion sur la réintroduction des usagers piétons dans des villes où la présence de coupures urbaines anthropiques et naturelles domine la morphologie et le territoire urbain. Abordée dans un contexte contemporain, la définition de la marche intra-urbaine dépasse la simple alternance de pas lors d'un déplacement urbain, pour devenir un concept en soi. Incontournable et non polluante, elle est non seulement un mode de déplacement en soi mais permet aussi d'accéder aux autres modes et de les relier. Sa pratique offre également une activité physique quotidienne favorable à la santé dans un contexte où l'utilisation excessive de l'automobile crée un phénomène de sédentarisation chez ses usagers. En conséquence, l'étude de la marche en milieu intra-urbain apparaît comme une étape indispensable de la promotion d'une mobilité durable puisqu'elle permet d'utiliser différents modes de transport alternatifs à l'utilisation de la voiture individuelle lors des déplacements quotidiens. Toutefois, nous avons vu que la marche ne peut être considérée au même titre que les autres modes de transport. Sa pratique implique un investissement énergétique et un rapport direct à l'environnement qui peuvent aboutir à des situations d'inadéquation selon les caractéristiques de l'utilisateur et le contexte de déplacement. Dans une société où la vitesse est au cœur du fonctionnement des territoires, promouvoir des alternatives à la voiture individuelle telles que la marche est dès lors tributaire non seulement d'une accessibilité adaptée mais également d'un système efficace de transmission d'informations géolocalisées.

En réponse, la création d'un modèle de déplacements piétons en milieu intra-urbain *via* un système d'information géographique a permis de proposer un support d'aide à la décision s'adressant à la fois aux usagers et aux acteurs locaux (aménageurs, associations) par le biais de préconisations d'itinéraires et de diagnostics du réseau pédestre. Notre thèse s'est ainsi alignée sur des propositions de SIG qui cherchent à tenir compte d'utilisateurs dotés d'un ou de plusieurs handicap(s) spécifique(s) comme l'ont pu faire Hugh Matthews *et al.* [2003], au Royaume-Uni ou encore Ikuko Yairi et Seiji Igi [2007], au Japon. En proposant également aux aménageurs une solution de diagnostic de la capacité des espaces publics à favoriser la marche, nous dépassons le cadre d'ores et déjà riche de l'accessibilité pour intégrer la notion de confort dans notre modèle. Notre démarche s'est ainsi enrichie d'un second courant de recherche en proposant de mesurer la capacité de l'environnement à faciliter et à favoriser la marche à l'aide d'un indice de *walkability*, à l'instar de Roger Mackett *et al.* [2008], au Royaume-Uni. Toutefois, à notre connaissance aucune de ces solutions ne proposent un outil inclusif intégrant les interrelations entre une grande diversité d'utilisateurs piétons et l'environnement selon différents contextes. De surcroît, notre méthodologie de mise en place d'un système d'aide à la décision offre à la fois une solution reproductible à différentes villes en Europe et la possibilité de spécifier le modèle selon un terrain en particulier. En nous appuyant sur l'existant, notre thèse propose

ainsi une démarche innovante en offrant une méthodologie inclusive et reproductible à différentes villes en Europe.

Pour cela, les recherches conduites dans la première partie de cette thèse ont mis en lumière un ensemble de verrous à lever pour aborder la marche en milieu intra-urbain et ses usagers. Tout d'abord, les déplacements piétons en ville ne sont plus l'apanage de ceux qui *marchent* mais se définissent plutôt par une vitesse de déplacement lente, n'excédant pas 10 km/h. Dorénavant, la réglementation assimile aux usagers piétons non seulement des personnes utilisant des aides au déplacement comme un fauteuil roulant ou une poussette mais aussi de nouveaux dispositifs comme le segway ou le monowheel. Evaluer la capacité de déplacement des usagers au sein d'un réseau pédestre a donc nécessité d'intégrer un continuum d'interrelations selon leurs caractéristiques intrinsèques, les propriétés de l'environnement et le contexte. Ensuite, bien qu'un grand nombre de pays ait signé la convention de l'ONU [2006] garantissant une accessibilité totale aux personnes handicapées, son application varie de réglementations à simples préconisations selon les nations. Sa mise en œuvre peut également se confronter à des retards comme c'est le cas en France, par exemple. Les réseaux pédestres ne peuvent donc pas accueillir tous les usagers piétons de manière systématique. Par ailleurs, certains aménagements handicapés prévus pour les uns peuvent créer des conflits d'usages pour les autres. Dans le cadre des déplacements piétons, l'environnement doit donc être considéré du point de vue de l'usager. Dès lors, seule une connaissance détaillée du territoire et des profils de mobilité des usagers piétons permet de localiser des situations d'inadéquation. Ces nécessités ont fortement questionné le processus d'acquisition de telles informations afin de proposer un modèle reproductible dans différentes villes qui puisse inclure l'ensemble des usagers piétons. Par ailleurs, si l'accessibilité et la faisabilité sont des conditions essentielles au déplacement, d'autres critères conditionnent également les choix d'itinéraires selon l'objectif de déplacement – confort environnemental et physique, plaisir procuré par l'expérience sensorielle, etc. Afin d'analyser les déplacements piétons et la capacité d'un réseau pédestre à favoriser la marche, il a donc fallu utiliser un support flexible permettant d'effectuer des analyses adaptées selon différents profils de mobilité.

A cet effet, les recherches conduites dans la deuxième partie de cette thèse se sont tournées vers la création d'un modèle adapté aux besoins spécifiques de la marche quotidienne en milieu intra-urbain. Le recours à l'utilisation d'un SIG et d'une approche par la théorie des graphes sous la forme d'un réseau d'objets *vecteurs* a permis de répondre aux exigences de la prise en compte des interrelations usagers-environnement lors de la marche intra-urbaine au quotidien. Par des requêtes attributaires de valeurs et autres informations allouées à un même objet (arêtes ou sommets), des calculs de coûts ont rendu possible la préconisation d'itinéraires adaptés ou des mesures d'accessibilité sur le réseau pédestre, d'une part. Les outils d'analyse spatiale et de gestion de données mis à disposition par les SIG ont facilité, d'autre part, des observations à différentes échelles des configurations favorables ou défavorables à la marche. La nécessité d'obtenir des informations très détaillées a, cependant, soulevé quelques interrogations, en particulier chez les aménageurs, à propos du coût en temps et en argent d'acquisition des données. La collecte de

données administratives peut, par exemple, se heurter à un partitionnement des informations dans différents services (voirie, espace vert, SIG, etc.) ou encore être tributaire de jeux d'acteurs – besoin de passer par plusieurs décisionnaires pour les autorisations ou encore rétention d'informations. En réponse, l'utilisation d'un modèle avec deux niveaux de précision a été proposée. Premièrement, une structure généralisable dotée d'un réseau pédestre et d'une base de données issue de la littérature a offert une solution reproductible et plus légère à mettre en place à un niveau opérationnel. Secondement, une démarche de spécialisation selon un terrain a ensuite été développée (audit urbain, questionnaire) et a permis de collecter une grande quantité de données détaillées sur l'environnement et les comportements de mobilité pédestre des usagers.

Dernière étape de cette thèse, le modèle a été appliqué à un cas concret, la ville de Luxembourg, pour obtenir des témoignages d'usagers piétons, d'une part, et pour collecter des données détaillées sur la capacité d'un réseau pédestre à être accessible et à favoriser la marche, d'autre part. Les entretiens révèlent des pratiques collectives de mobilité pédestre mais aussi des comportements plus spécifiques selon le contexte de déplacement (seul ou accompagné, conditions météorologiques, etc.). Les choix d'itinéraires sont ainsi influencés par une succession de besoins à satisfaire mais aussi par des préférences personnelles. Si les pratiques collectives ont pu être réintégrées dans le modèle sous la forme de règles, certains comportements piétons identifiés ont impliqué la mise en place de profils de mobilité pédestre individualisés où les circonstances considérées comme favorables à la marche ont été hiérarchisées et ont été évaluées à l'aide d'un *indice synthétique de walkability*. A l'instar du système de restrictions employé dans le calculateur d'itinéraires, la question de l'utilisation d'une méthode d'analyse multicritères a été soulevée. Les difficultés liées au fait d'assumer une pondération d'expert nous ont néanmoins conduites à laisser en suspens cette question pour l'instant au profit de poids retranscrivant une hiérarchie globale. De son côté, la collecte de données détaillées a permis de proposer des évaluations multi-scalaires du réseau pédestre – diagnostics d'accessibilité et de *walkability* – et d'affiner les définitions des types de voies proposés dans le modèle en fonction des spécificités du terrain. L'évaluation d'un échantillon du réseau pédestre en centre-ville a permis de répondre à notre problématique et de remplir nos objectifs avec non seulement des préconisations d'itinéraires individualisés adressées aux usagers mais aussi des diagnostics d'aires de déplacement à l'intention des acteurs locaux (aménageurs et associations). Si l'audit urbain s'est révélé quelque peu chronophage, nous sommes dorénavant en mesure d'estimer les informations nécessaires selon l'échelle souhaitée. Toutefois, les problématiques liées à la mise à jour des données restent à résoudre. A cet effet, des pistes de recherche ont été proposées comme le développement d'un audit urbain numérique basé sur *google street view* ou l'utilisation d'outils participatifs à travers une interface usagers. Le développement d'un prototype d'interface d'aide à la décision conclut finalement cette thèse par la proposition de pistes de recherche offrant des solutions aux problèmes identifiés de collectes d'informations – qui permettent de construire des profils de mobilité pédestre individualisés ainsi que d'acquérir et de mettre à jour les données.

Un rapprochement entre diverses disciplines telles que la géographie, la géomatique, l'urbanisme ou encore la médecine a ainsi offert une meilleure compréhension des configurations favorisant la pratique de la marche. En complément, une approche opérationnelle *via* une analyse de cas sur la ville de Luxembourg et ses usagers a permis d'identifier un ensemble d'exigences que cherchent à satisfaire les piétons lors de leurs déplacements. *Il ressort que promouvoir la marche en milieu intra-urbain implique de veiller à répondre à la demande de l'ensemble des usagers à travers un réseau pédestre doté d'une offre de services équitables et de qualité environnementale équivalente. A cet effet, le réseau se doit d'être accessible pour une très grande diversité d'usagers en proposant des voies publiques et des aménagements aux normes préconisées tout en facilitant la possibilité d'un report modal alternatif à l'utilisation de la voiture individuelle. Sa capacité à favoriser la marche dépend ensuite du contexte de déplacement et plus particulièrement de l'objectif (utilitaire et récréatif). Selon les circonstances, il doit alors se révéler fonctionnel en proposant des services du quotidien diversifiés et proches, privilégier les flux piétons et les échanges intermodaux ou encore disposer d'une bonne qualité paysagère et environnementale.* Le cas luxembourgeois a ainsi démontré une certaine efficacité à favoriser la marche en centre-ville selon que l'objectif du trajet soit utilitaire ou récréatif en adaptant les aménagements urbains aux fonctionnalités des quartiers et en mettant en place des structures (ascenseurs urbains, ponts, etc.) pour pallier la présence forte de coupures urbaines.

Au final, la marche quotidienne en milieu intra-urbain est un sujet complexe lorsque l'on considère la grande variété de ses pratiquants, sa capacité à lier plusieurs modes de déplacement et les configurations homme/environnement pouvant favoriser sa pratique. Bien que la réalisation de cette thèse ait impliqué de statuer sur de nombreux points, elle laisse encore un ensemble de recherches potentielles à explorer par le prisme de la pluridisciplinarité. Le recours à des experts issus d'autres domaines telles que la santé ou les nouvelles technologies pourrait ainsi contribuer au modèle de manière à s'adresser à une plus grande diversité d'acteurs. Deux entrées possibles sont à privilégier en guise de perspectives. Une première, plus orientée santé, propose d'approfondir notre étude sur l'existence d'une grande diversité d'usagers piétons formant un *continuum* de mobilité pédestre de manière à ne pas rester uniquement sur les limitations de motricité (déficience visuelle, cognitive, etc.). Une seconde, plus spatiale, se concentre sur les préférences des usagers quant à l'environnement à traverser lors de la pratique de la marche à travers les éléments qu'ils considèrent comme attractifs et/ou répulsifs, selon le contexte.

Orienter le modèle vers une toujours plus grande diversité d'usagers nécessite à terme de faire appel à des spécialistes des différents domaines de la santé pour intégrer certains types de déficience, par exemple visuelles ou cognitives. Si dans le cadre de notre recherche, notre modèle se tient à représenter les déplacements potentiels de personnes possédant une déficience motrice à partir d'un état de l'art médical et urbanistique, de nouvelles données environnementales et comportementales pourraient par la suite être collectés avec le soutien de

professionnels issus de différentes disciplines. Par exemple, tenir compte des déficiences visuelles impliquent de réfléchir à des problématiques de perception environnementale (sources sonores environnementales, perception générale de la pente et du dévers, etc. [Loomis *et al.*, 2001]), de processus de familiarisation avec ce qui les entoure^{LXI} mais peut aussi aboutir à des solutions numériques telle que la navigation embarquée [Golledge *et al.*, 1991 ; Kammoun, 2013]. Bien que poursuivre le développement du modèle dans cette direction implique une collaboration avec des centres médicaux, des psychologues ou encore des kinésithérapeutes, cette démarche pourrait fortement intéresser des associations d'aide aux personnes handicapées ou encore des institutions visant à évaluer l'accessibilité des espaces publics. Ultérieurement, une collaboration entre Technologies de l'Information Géographique et Technologies de l'Information et de la Communication pourrait également permettre de situer l'utilisateur encore plus au cœur du processus en étant à la fois bénéficiaire et acteur, comme le suggère le prototype *PAWapp-Lux*, présenté dans le chapitre X. Des possibilités de développement de solutions de guidance sur support mobile ou encore de collecte et de mise à jour de données impliquent néanmoins de s'intéresser à différents enjeux comme le développement d'un support internet ou encore la mise en place d'un site ergonomique offrant un accès à différents types d'utilisateurs (personnes malvoyantes ou non voyantes, personnes âgées, etc.). En outre, l'utilisation de *Volunteered Geographic Information* (VGI) interroge aussi sur la création d'un support de collecte de données adressé à des personnes non-spécialistes, voire peu accoutumées à la lecture de cartes numériques.

Poursuivre nos recherches en aménagement du territoire et en urbanisme peut également permettre à nos diagnostics (accessibilité/*walkability*) de gagner en précision mais aussi d'intégrer une démarche plurimodale à notre modèle. Les analyses multi-échelles proposées dans cette thèse démontrent déjà un fort potentiel à rendre compte d'une certaine justice spatiale en évaluant l'accès au réseau pédestre et la capacité des espaces publics à favoriser la marche pour une grande diversité d'utilisateurs. Le volet *accessibilité pour tous* du modèle pourrait, par exemple, être étendu à des trajets multimodaux et des déplacements de porte-à-porte. Si les aménageurs montrent d'ores et déjà un véritable intérêt pour toutes formes d'encouragement à une mobilité multimodale concurrentielle à la voiture individuelle, certains pays comme la France visent en plus à assurer les déplacements à chacun, dans leur intégralité, pour appliquer la convention de droits d'accessibilité pour tous de l'ONU [2006]. À l'avenir, la base de données de notre modèle pourrait répondre à cette volonté en incluant des évaluations de la conformité des normes d'accès aux entrées de bâtiments ou aux arrêts de transport en commun. Par ailleurs, le retour des tramways en milieu urbain est actuellement à l'origine de nombreux projets d'aménagements pour favoriser les déplacements multimodaux. Proposer des études sur la capacité des aires de déplacement autour des arrêts de

^{LXI} Une expérience empirique lors d'une séance d'information et d'évaluation des aménagements sonores et podotactiles réalisée aux passages piétons situés le long de l'avenue de la gare à Luxembourg-Ville, conduite le 13 novembre 2012 par Info-handicap, nous a révélé à quel point le processus d'apprentissage et de familiarisation avec l'environnement était important chez les personnes non ou malvoyante pour se déplacer de manière indépendante.

transport en commun pour favoriser les déplacements piétons pour tous peut ainsi conduire à de nombreuses réflexions et applications pour le réaménagement des espaces publics en fonction de cette problématique. Pour finir, une approche pluridisciplinaire croisant différents domaines tels que l'architecture, la psychologie environnementale ou encore le design urbain pourrait également permettre de développer nos recherches sur l'influence de la qualité du design urbain sur les déplacements piétons afin de compléter notre proposition de mesure quantitative de qualités subjectives du paysage. Un nouveau critère serait alors susceptible d'être intégré à notre proposition d'indice synthétique de *walkability*.

Pour conclure cette thèse, nos derniers mots seront dédiés à partager notre point de vue sur le fait que remettre la marche au cœur du processus de mobilité apparaît comme une étape incontournable pour promouvoir la ville durable. Si de nombreux efforts sont proposés par les aménageurs et politiques, il nous semble important de préciser que seule une campagne de promotion et de sensibilisation des usagers peut réellement achever ce processus, à nos yeux. La campagne de signalétique développée à Londres est un bel exemple de ce qui est possible en matière de *marketing* en faveur de la marche. La mairie développe, en effet, progressivement depuis 2007, une signalétique piétonne proposant des cartes et des panneaux montrant le quartier et les trajets pédestres possibles pour visiter les bâtiments remarquables [Steer davies gleave, 2014]. Ce projet qui s'avère un véritable succès auprès du grand public n'est qu'un exemple parmi tant d'autres de ce qui peut être fait [Lavadinho, 2011]. La promotion de la marche offre ainsi de nombreuses perspectives de recherche et de belles ouvertures à la créativité.

BIBLIOGRAPHIE

A

- ABE Daijiro, Kazumasa YANAGAWA et Shigemitsu NIIHATA, 2004. « Effects of load carriage, load position, and walking speed on energy cost of walking », *Applied Ergonomics*, vol. 35, pp. 329-335
- ALBERT Donald P., Wilbert M. GESLER et Barbara LEVERGOOD (dir.), 2000. *Spatial analysis, GIS and remote sensing applications in the health sciences*, Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan
- ALFONZO Mariela A., 2005. « To Walk or Not to Walk? The Hierarchy of Walking Needs », *Environment and Behavior*, vol. 37, pp. 808-836
- ALLEMAND Sylvain, François ACSHER et Jacques LEVY (dir.), 2005. *Les Sens du mouvement : Modernité et mobilités dans les sociétés urbaines contemporaines*, Belin, 336 p.
- ALLEN Gary, 1999. « Spatial Abilities, Cognitive Maps, and Wayfinding: Bases for individual differences in spatial cognition and Behavior » in GOLLEDGE R., *Wayfinding Behavior: Cognitive mapping and other spatial processes*, The Johns Hopkins University Press, 428 p., Chap. 2, pp. 46-80
- ALSNIH Rahah and David A. HENSHER, 2003. « The mobility and accessibility expectations of seniors in an aging population », *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 37, pp. 903-916
- AMAR Georges, 2010. *Homo Mobilis. Le nouvel âge de la mobilité*, éditions Fyp, 207 p.
- AMIAUD David, 2012. « Handicap et politiques de gestions des déplacements piétons : cohabitation et accessibilité pour tous » in GRANIE M.A. et al. (dir.), *Qualité et sécurité du déplacement piéton : facteurs, enjeux et nouvelles actions*, Salon-de-Provence, 3^e colloque francophone international du GERI COPIE, 13-14 octobre 2011.
- ANTILLE Nicolas, 2002. *Modèles comportementaux de choix d'itinéraire*, Travail de diplôme, Ecole Polytechnique Fédéral de Lausanne, 128 p.
- ANTONI Jean-Philippe, 2011. *Modéliser la ville : Formes urbaines et politiques de transports*, Economica, 438 p.
- ANTONI Jean-Philippe, 2014. *Modélisation et anticipation urbaines - éléments théoriques pour une approche géo-ergonomique*, Habilitation à Diriger la Recherche, Université de Franche-Comté, 171 p.
- APAISEMENT DU TRAFIC A L'INTERIEUR DES AGGLOMERATIONS, 2013. *Apaisement du trafic à l'intérieur des agglomérations. Lignes directrices émises par la Commission de circulation de l'Etat pour les communes, les administrations étatiques et les bureaux d'études*. Ministère du Développement durable des

infrastructures – Département des Transports – Commission de circulation de l'Etat, 40 p.

AUGOYARD Jean-François, 1979 (éd. 2010). *Pas à Pas : Essai sur le cheminement quotidien en milieu urbain*, 2^{de} édition : A la croisée, Bernin ; 1^{ère} édition : Edition du Seuil, 224 p.

AUGOYARD Jean-François (dir.), 2011. *Faire une ambiance/Creating an atmosphere*, A la croisée, Collection Ambiance, ambiance; Acte du 1st International Congress on Ambiances, Grenoble 2008, 527 p.

B

BADLAND Hannah M., Simon OPIT, Karen WITTEN, Robin KEARNS et Suzanne MAVOA, 2010. « Can virtual streetscape audits reliably replace physical streetscape audits? », *Journal of Urban Health*, Vol. 87, Issue 6, pp. 1007-1016

BAFNA Sonit, 2003. « Space Syntax: a Brief Introduction to its Logic and Analytical Techniques », *Environment and Behavior*, Vol. 35, N°1, pp. 17-29

BANA E COSTA Carlos, 1990. *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, Springer-Verlag, Berlin, 491 p.

BANISTER David, 2008. « The sustainable mobility paradigm », *Transport policy*, Vol. 15, pp. 73-80

BANOS Arnaud et Angèle CHARPENTIER, 2010. « Simulating pedestrian movement in dynamic environments », *Cybergeog: European Journal of Geography*, n°499, 16 p.

BANOS Arnaud, Annabelle BOFFET-MAS, Sonia CHARDONNEL, Christophe LANG, Nicolas MARILLEAU et Thomas THEVENIN, 2011. « MIRO : des trajectoires individuelles à la ville en mouvement » in ANTONI, J.-P. *Modéliser la ville*. Paris, Economica, 438 p., pp. 216-245

BASSET David R., John PUCHER, Ralph BUELER, Dixie L. THOMPSON et Scott E. CROUTER, 2008. « Walking, Cycling and Obesity Rates in Europe, North America and Australia », *Journal of Physical Activity and Health*, vol. 5, pp. 795-814

BATTY Mickaël et Sanjay RANA, 2004. « The automatic definition and generation of axial lines and axial maps », *Environment and Planning B: Planning and Design*, n°31, pp. 615-640

BEALE Linda, Kenneth FIELD, David BRIGGS, Phil PICTON et Hugh MATTHEWS, 2006. « Mapping for wheelchair users: Route Navigation in Urban spaces », *The Cartographic journal*, vol. 43, n°1, pp. 68-81

Bibliographie

- BEAUDE Boris, 2010. « Espace de la ville, espace de la carte : de l'analogie à la coexistence » in ZREIK K. (dir), *Nouvelles cartographies, nouvelles villes. Hyperurbains II*, Europa, 210 p., pp. 15-39
- BEGUIN Hubert et Isabelle THOMAS, 1997. « Morphologie du réseau de communication et localisations optimales d'activités. Quelle mesure pour exprimer la forme d'un réseau ? », *Cybergeo: European Journal of Geography*, n°26, 10 p., article consulté le 26/05/2015 : <http://cybergeo.revues.org/2189>
- BENEDIKT Michael L., 1979. « To take hold of space: Isovists and isovist fields », *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 6, pp. 47-65
- BENICHOU Jean et Marc LIBOTTE, 2002. *Le livre du pied et de la marche*, Odile Jacob, 336 p.
- BERGE Claude, 2000. « Théorie des graphes et ses applications » in PIER J-P.(dir.), *Development of Mathematics 1950-2000*, Springer Science & Business media, Birkhäuser, vol. 1, 1372 p., pp. 135-148
- BERGERON Jacques, Brigitte CAMBON de LAVALETTE, Charles TIJUS, Sébastien POINTENAUD, Christine LEPROUX, Jean-Pierre THOUÉZ et André RANNON, 2008. « Effets des caractéristiques de l'environnement sur le comportement des piétons à des intersections urbaines » in GRANIE, M-A. et AUBERLET, J-M., *Le Piéton et l'environnement. Quelles interactions ? Quelles adaptations ?*, Paris, Actes INRETS n°115, 322 p., pp. 163-174
- BERRIGAN David, Linda W. PICKLE et Jennifer DILL, 2010. « Associations between street connectivity and active transportation », *International Journal of Health Geographics*, vol. 9, n°20, 18 p., article consulté le 02/04/2015 : <http://www.ij-healthgeographics.com/content/9/1/20>
- BERTHOZ Alain, 1997. *Le Sens du mouvement*, Lavoisier, Editions Odile Jacob, 345 p.
- BETHLEHEM John R., Joreintje D. MACKENBACH , Maher BEN-REBAH, Sofie COMPERNOLLE, Ketevan GLONTI, Helga BARODS, Harry R. RUTTER, Hélène CHARREIRE, Jean-Michel OPPERT, Johannes BRUG et Jeroen LAKERVELD, 2014. « The SPOTLIGHT virtual audit tool: a valid and reliable tool to assess obesogenic characteristics of the built environment », *International Journal of Health Geographics*, Vol. 13, n°52, 8 p.
- BHAMBANI Yagesh et Rammohan MAIKALA, 2000. « Gender differences during treadmill walking with graded loads: biomechanical and physiological comparisons », *European Journal of Physiology*, vol. 81, Issue 1-2, pp. 75-83
- BLACKMAN Tim, Lynne MITCHELL, Elisabeth BURTON, Mike JENKS, Maria PARSONS, Shibu RAMAN et Katie WILLIAMS, 2003. « The Accessibility

Bibliographie

- of Public Spaces for People with Dementia: A new priority for the "open city" », *Disability & Society*, vol. 18, Issue 3, pp. 357-371
- BODIN Franck, 2007. « Architecture, urbanisme et handicaps » in FLEURET S. et THOUÉZ J.-P. (dir.). *Géographie de la santé*. Economica, Anthropos, Paris, 301 p., Chap. XIII, pp. 195-212
- BONNET Emmanuel et Sylvain LASSARRE, 2008. « Analyse spatiale des déplacements des piétons en milieu urbain du point de vue des traversées afin d'évaluer l'exposition au risque d'accident », *Territoire en mouvement*, 13 p., article consulté le 29/04/15 : <http://tem.revues.org/1002>
- BOONE Janne E., Penny GORDON-LARSEN, James D. STEWART et Barry M. POPKIN, 2008. « Validation of a GIS facilities database: quantification and implications of error », *Annals of epidemiology*, vol. 18, n°5, pp. 371-377
- BOUMOUD Abdelhakim, 2012. *La Grande Gare contemporaine et le labyrinthe du transport multimodal : vers une nouvelle approche de la lisibilité, l'exemple de la gare de la Part-Dieu à Lyon*, Thèse en urbanisme, mention architecture, Université de Grenoble, Laboratoire Pacte/Territoires, 863 p.
- BRETON André, 1960 (édition 1985). *Nadja*, folio, 189 p.
- BROSSARD Thierry, Daniel JOLY et François-Pierre TOURNEUX, 2008. « Modélisation opérationnelle du paysage » in BROSSARD T. et WIEBER J.-C., *Paysage et information géographique*, Lavoisier, 416 p., pp. 117-137
- BROWNING Raymond, Emily A. BAKER, Jessica A. HERRON et Rodger KRAM, 2006. « Effects of obesity and sex on the energetic cost and preferred speed of walking », *Journal of Applied Physiology*, vol. 100, issue 2, pp. 390-398
- BROWNING Raymond C. et Rodger KRAM, 2005. « Energetic Cost and Preferred Speed of Walking in Obese vs. Normal Weight Women », *Obesity Research*, vol. 13, n°5, pp. 891-899
- BROWNING Raymond C. et Rodger KRAM, 2007. « Effects of Obesity on the Biomechanics of Walking at Different Speeds », *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 39, n°9, pp. 1632-1641
- BROWNSON Ross C., Christine M. HOEHNER, Laura K. BRENNAN, Rebeka A. COOK, Michael B. ELLIOTT et Kathleen M. McMULLEN, 2004. « Reliability of two instruments for auditing the environment for physical activity », *Journal of Physical Activity and Health*, vol. 1, pp. 191-208
- BRUN Gérard, 2013. *Ville et mobilité : Nouveaux regards*, Economica, 368 p.

BRUNET Roger, Robert FERRAS et Hervé THERY, 1992. *Les Mots de la géographie*, Reclus, La Documentation Française, 518 p.

C

CAIN Kelli L., Rachel A. MILLSTEIN, James F. SALLIS, Terry L. CONWAY, Kavita A. GAVAND, Lawrence D. FRANK, Brian E. SAELENS, Carrie M. GEREMIA, James CHAPMAN, Marc A. ADAMS, Karen GLANZ et Abby C. KING, 2014. « Contribution of streetscape audits to explanation of physical activity in four age groups based on the Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes (MAPS) », *Social Science & Medicine*, vol. 116, pp. 82-92

CARR Lucas J., Shira I. DUNSIGER et Bess H. MARCUS, 2010. « Validation of Walk Score for estimating access to walkable amenities », *British journal of sports medicine*, vol. 45, Issue 14, pp. 1144-1148, consulté le 10/04/15 : <http://bjsm.bmj.com/content/early/2010/04/22/bjsm.2009.069609.full.html>

CARRE Jean-René et Arantxa JULIEN, 2000. *Présentation d'une méthode d'analyse des séquences piétonnières au cours des déplacements quotidiens des citadins et mesure de l'exposition au risque des piétons*, Les Collections de l'INRETS n°221, 109 p.

CARRICANO Manu, Fanny POUJOL et Laurent BERTRANDAS, 2010. *Analyse de données avec SPSS*, Pearson education, Syntex Eco Gestion, chap. 2, pp. 31-58

CARPENTIER André, 2005. *Ruelles, jours ouvrables : flâneries en ruelles montréalaises*, Les éditions du Boréal, Québec, 372 p.

CARPENTIER Samuel et Phillipe GERBER, 2009. « Les déplacements domicile-travail : en voiture, en train ou à pied ? », *Vivre au Luxembourg*, CEPS/INSTEAD, n°53, 2 p.

CAUVIN Colette, 1998. « L'accessibilité intra-urbaine : une approche méthodologique » in REYMOND H. et al. *L'Espace géographique des villes : pour une synergie multistratègic*. Anthopos, Economica, Paris, 557 p., pp. 19-48

CAUVIN Colette, 1999. « Pour une approche de la cognition spatiale intra-urbaine », *Cybergeo: European Journal of Geography*, n°72

CERVERO Robert et Michael DUNCAN, 2003. « Walking, Bicycling, and Urban Landscapes: Evidence From the San Francisco Bay Area », *American journal of public health*, vol. 93, n°9, pp. 1478-1483

CHAPON Pierre-Marie, Florent RENARD, Julien GUESLOT, Manuella DAUTAN, Patrick MALLEA, Philippe ROBERT et Olivier GUERIN, 2011. « Analyse des territoires de vie et de la mobilité de

Bibliographie

- personnes âgées au moyen de traceurs GPS », *Annales de géographie*, n°679, pp. 320-333
- CHAUDHURY Habib, Ann F. I. SARTE, Yvonne L. MICHAEL, Atiya MAHMOOD, Erin M. KEAST, Cristian DOGARU et Andrew WISTER, 2011. « Use of a Systematic Observational Measure to Assess and Compare Walkability for Older Adults in Vancouver, British Columbia and Portland, Oregon Neighbourhoods », *Journal of Urban Design*, vol. 16, n°4, pp. 433-454
- CHARVET Jean-Paul et Michel SAUVIGNON (dir.), 2002. *Géographie humaine : questions et enjeux du monde contemporain*, Armand Collin, Paris, 352 p.
- CHUPROV Aleksandr A., 1939. *Principles of the mathematical theory of correlation*, traduit par M. Kantorowitsch, William Hodge
- CHURCH Richard L. et James R. MARSTON, 2003. « Measuring Accessibility for People with a Disability », *Geographical Analysis*, vol. 35, n°1, pp. 83-96
- CIEC (Centre interfédéral pour l'égalité des chances), 2007. *Accessibilité des bâtiments ouverts au public par les personnes à mobilité réduite*, Rapport, Centre belge, 46 p.
- CLIFTON Kelly J., Andréa D. LIVI-SMITH et Daniel RODRIGUEZ, 2007. « The development and testing of an audit for the pedestrian environment », *Landscape and Urban Planning*, vol. 80, issue 1-2, pp. 95-110
- CODE DE LA RUE luxembourgeois, 2009. *Code de la rue : piétons, cyclistes, motocyclistes, automobilistes*. Ministère des Transports, 20 p., consulté le 07/12/2015 :
http://www.mt.public.lu/transports/mobilite_douce/pdf_code_de_la_rue.pdf
- CODE DE LA ROUTE luxembourgeois, 2013. *Plan général du Code de la route*. Ministère du Développement durable et des Infrastructures - Département des Transports, Luxembourg, consulté le 03/07/2015 :
http://www.legilux.public.lu/leg/textescoordonnes/codes/#code_route
- CODE DE LA ROUTE français, 2015. *Code de la voirie routière*. Ministère de l'Intérieur, France, consulté le 03/07/2015 :
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?cidTexte=LEGITEXT000006070667&dateTexte=20150703>
- CONROY-DALTON Ruth, 2003. « The secret is to follow your nose: Route Path Selection and Angularity », *Environment and Behavior*, n°35, pp. 107-131
- COONS Stephen, Saud Abdulaziz AL ABDULMOHSIN, Jolaine R. DRAUGALIS and Ron D. HAYS, 1998. « Reliability of an Arabic Version of the RAND-36

Bibliographie

- Health Survey and Its Equivalence to the US-English Version », *Medical Care*, vol. 36, n°3, pp. 428-432
- COWEN David J., 1988. « GIS versus CAD versus DBMS: What Are the Differences? », *Photogrammetric engineering and remote sensing*, vol. 54, n°11, pp. 1551-1555
- CRAMER Harald, 1946. *Mathematical Methods of Statistics*, Princeton University Press, 575 p.
- CRISTOL Corinne et Carole BERARD, 1998. « Evaluation fonctionnelle de la marche par l'index de dépense énergétique. Valeurs de référence chez l'enfant », *Annales de réadaptation et de médecine physique*, n°41, pp. 429-433
- CROZET Yves, 2016. *Hyper-mobilité et politiques publiques*, Economica, 190 p.
- CULLEN Gordon, 1961. *The Concise Townscape*, Architectural Press, 1999 p.
- CUNNINGHAM Grazia O., Yvonne L. MICHAEL, Stéphanie A. FARQUHAR et Jodi LAPIDUS, 2005. « Developing a Reliable Senior Walking Environmental Assessment Tool », *American Journal of Preventive Medicine*, vol. 29, issue 3, pp. 163-246

D

- DAVOINE Paule-Annick, Laurent POULENARD, Philippe GUEGEN, Jérôme GENSEL et Jose BRINGEL-FILHO, 2013. « Dispositif mobile et géoweb pour la collecte de données d'inventaire sismique du bâti en milieu urbain. L'application Isibat », *Actes de SAGEO*, 13^e conférence, Brest, 23-26 septembre, pp. 227-240
- DAY Kristen, Marlon BOARNET, Mariela ALFONZO et Ann FORSYTH, 2006. « The Irvine–Minnesota Inventory to Measure Built Environments: Development », *American Journal of Preventive Medicine*, vol. 30, issue 2, pp. 144-152
- DEJEAMMES Maryvonne et Bernard FIOLE (dir.), 2011. *Accessibilité de la voirie et des espaces publics : Éléments pour l'élaboration d'un diagnostic dans les petites communes*, Dossier CERTU, n°231, 96 p.
- DENEGRE Jean et SALGE François, 2004. *Les systèmes d'information géographique*, Presses universitaires de France, Que-sais-je ?, 128 p.
- DEPEAU Sandrine, 2008. « Nouvelles Façons de marcher des enfants en milieu urbain : le rôle du pédibus dans l'expérience du déplacement », in GRANIE M-A. et AUBERLET J-M. *Le Piéton et son environnement : Quelles interactions ? Quelles adaptations ?*, Actes INRETS n°115, 322 p., pp. 61-72

Bibliographie

DESSE René-Paul, Anne FOURNIE, Arnaud GASNIER, Nathalie LEMARCHAND, Alain METTON, Jean SOUMAGNE, 2008. *Dictionnaire du commerce et de l'aménagement*, Presses universitaires de Rennes, 357 p.

DESSYLLAS Jake et Elspeth DUXBURY, 2001. « Axial Maps and Visibility Graph Analysis : A comparison of their methodology and use in models of urban pedestrian movement », Acte de conférence *Space Syntax Third International Symposium*, vol. 27, 13 p.

DIDIER Jean-Pierre, D. GUILLOUX, Inès ROUHIER-MARCER, Jean-Marie CASILLAS et Pierre GRAS, 1995. « Coût énergétique de la marche à vitesse confortable et adaptation respiratoire dans deux groupes de personnes jeunes et âgées », *Annales de réadaptation et de médecine physique*, vol. 38, pp. 475-480

DIJKSTRA Edsger W., 1959. « A note on Two problems in Connexion with Graphs », *Numerische Mathematik*, vol. 1, pp. 269-271

DIJST Martin and Velibor VIDAKOVIC, 2000. « Travel time ratio: the key factor of spatial reach », *Transportation*, vol. 27, pp. 179-199

DUBE Anne-Sophie et Juan TORRES, 2011. « Vieillissement et accessibilité à la rue commerçante : le cas de la promenade Masson », *Journal of human development, Disability and Social Change*, vol. 19, n°3, pp. 59-77

DUNCAN Dustin T., Jared ALDSTADT, John WHALEN, Steven J. MELLY et Steven L. GORTMAKER, 2011. « Validation of Walk Score® for Estimating Neighborhood Walkability: An Analysis of Four US Metropolitan Areas », *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 8, pp. 4160-4179

DUPUY Gabriel, 1991. *La Dépendance automobile*, Anthropos, 166 p.

E

ECONOMOS Christina, Daniel P. HATFIELD, Abby C. KING, Guadalupe X. AYALA et Mary Ann PENTZ, 2015. « Food and Physical Activity Environments An Energy Balance Approach for Research and Practice », *American Journal of Preventive Medicine*, vol. 48, n°5, pp. 620-629

ENAUX Cyril, 2009. « Processus de décision et Espace d'activités/déplacements. Une approche articulant routine cognitive et adaptation événementielle », *Cybergeo : European Journal of Geography*, doc. 453, 14 p., vu le 07/04/2015 : <http://cybergeo.revues.org/22221?lang=en>

ESPY Debbie, Feng YANG, Tanvi BHATT et Yi-Chung PAI, 2010. « Independent influence of gait speed and step length on stability and fall risk », *Gait & Posture*, vol. 32, pp. 378-382

EWING Reid et Robert CERVERO, 2010. « Travel and Built environment: a meta analysis », *Journal of the American Planning Association*, Vol. 76, n°3, pp. 265-294

EWING Reid et Susan HANDY, 2009. « Measuring the Unmeasurable: Urban Design Qualities Related to Walkability », *Journal of Urban Design*, vol. 14, n°1, pp. 65-84

F

FAVRE Pierre, 2007. « Les Manifestations de rue entre espace privé et espaces publics » in FAVRE P. et al. *L'Atelier du politiste : théories, actions, représentations*, La Découverte, PACTE, 384 p., pp. 193-213

FAVRE Pierre, Olivier FILLIEULE et Fabien JOBARD (dir.), 2007. *L'atelier du politiste : théories, actions, représentations*, La découverte, PACTE, 384 p.

FLAMM Michael, 2006. « Se passer de la voiture demande beaucoup de savoir-faire », *La revue durable*, n°18, pp. 31-34

FLEURET Sébastien et THOUÉZ Jean-Pierre (dir.), 2007. *Géographie de la santé*, Economica, Anthropos, 301 p.

FOLTETE Jean-Christophe, 2007. « Quel rôle du réseau de voirie urbaine sur la distribution des flux piétonniers ? », *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n°52, pp. 27-44

FORSYTH Ann, Mary HEARST, J. Michael OAKES et Kathryn H. SCHMITZ, 2008. « Design and Destinations: Factors Influencing Walking and Total Physical Activity », *Urban studies*, Vol. 45, pp. 1973-1996

FORSYTH Ann, Kathryn H. SCHMITZ, Michael OAKES, Jason ZIMMERMAN et Joel KOEPP, 2006. « Standards for Environmental Measurement Using GIS: Toward a Protocol for Protocols », *Journal of Physical Activity and Health*, vol. 3, suppl. 1, pp. 241-257

FORT-JACQUES Théo, 2008. « Le piéton et son environnement : un travail de configuration réciproque » in GRANIE M-A. et AUBERLET J-M. *Le Piéton et son environnement : Quelles interactions ? Quelles adaptations ?*, Actes INRETS n°115, 322 p., pp. 175-185

FRANK Lawrence D., Martin ANDRESEN et Thomas L. SCHMID, 2004. « Obesity Relationships with Community Design, Physical Activity, and Time Spent in Cars », *American Journal of Preventive Medicine*, Vol. 27, n°2, pp. 87-96

FRANK Lawrence D., James F. SALLIS, Terry L. CONWAY, James E. CHAPMAN, Brian E. SAELENS et William BACHMAN, 2006. « Many Pathways from Land Use to Health : Associations between Neighbourhood

Walkability and Active Transportation, Body Mass Index, and Air Quality », *Journal of the American Planning Association*, vol. 72, n°1, pp. 75-87

FRANK Lawrence D., James F. SALLIS, Brian E. SAELENS, Kelli CAIN, Terry L. CONWAY et Paul M. HESS, 2009. « The Development of a Walkability Index: Application To the Neighborhood Quality of Life Study », *British Journal of Sports Medicine*, vol. 44, Issue 3, pp. 924-933

FREMOND Maxime, 2012. « Accessibilité aux commerces, service et aménités vertes et de loisirs dans un modèle fractal d'urbanisation : le cas du Luxembourg », Acte de conférence 49^e colloque de l'Association de Science Régionale de Langue Française (ASRDLF), juillet 2012, Belfort, France, CD-ROM

FUJIYAMA Taku et Nick TYLER, 2011. « An Explicit Study on Walking Speeds of Pedestrians on Stairs » in PEACOCK R. D. et al. *Pedestrian and Evacuation dynamics*, Springer Science & Business Media, 928 p., pp. 95-106

G

GAILLET-CHEZELLES (de) Florence, 2007. *Wordsworth et la marche: parcours poétique et esthétique*, ELLUG, 431 p.

GATRELL Anthony C., 2011. « Therapeutic mobilities: walking and steps to wellbeing and health », *Health & Place*, vol.22, pp. 98-106

GEE Gilbert C. et David T. TAKEUCHI, 2004. « Traffic stress, vehicular burden and well-being: A multilevel analysis », *Social Science & Medicine*, Vol. 59, Issue 2, pp. 223-444

GENRE-GRANDPIERRE Cyrille, 2013. « La Structure morpho-fonctionnelle des réseaux routiers : un levier d'action majeur pour une mobilité durable » in BRUN G., *Ville et Mobilité : Nouveaux regards*, Economica, 368 p., Chap. 13

GENRE-GRANDPIERRE Cyrille et Jean-Christophe FOLTETE, 2003. « Morphologie urbaine et mobilité en marche à pied », *Cybergeo : European Journal of Geography*, 3^{ème} colloque du Groupe de Travail Mobilités spatiales et fluidité sociale (GT23) : Offre urbaine et expériences de la mobilité, Strasbourg, France 20-21 et 22 mars 2003, 24 p.

GEORGE Pierre, 1970. *Dictionnaire de la Géographie*, Presses universitaires de France, 485 p

GERBER Phillipe, Olivier KLEIN, Bernhard KOPPEN, Sylvain KLEIN, Basile CHAIX et Yan KESTENS, 2015. « Seven built environment dimensions and the travel of elderly: The CURHA project in Luxembourg », Acte de conférence 19th European Colloquium in Theoretical and Quantitative Geography (ECTQG), 3-7 septembre, Bari, Italie

Bibliographie

- GIBSON James J., 1986. *The ecological approach to visual perception*, Psychology Press, 332 p.
- GIRES Jean-François et TOUYA Guillaume, 2010. « Quality Assessment of the French OpenStreetMap Dataset », *Transactions in GIS*, Issue 14, n°4, pp. 435-459
- GLEYZE Jean-François, 2007. « Effets spatiaux et effets réseau dans l'évaluation d'indicateurs sur les nœuds d'un réseau d'infrastructure », *Cybergeo : European Journal of Geography*, n°370, consulté le 26 mai 2015 : <http://cybergeo.revues.org/5532>
- GOFFMAN Erving, 1971 (éd. 2010). *Relations in public: Microstudies of the public order*, Transaction Publishers, New Jersey
- GOLLEDGE Reginald G., 1999. *Wayfinding Behavior: Cognitive mapping and other spatial processes*, The Johns Hopkins University Press, 428 p.
- GOLLEDGE Reginald G., Roberta L. KLATZKY, Jack M. LOOMIS, John SPEIGLE et Jerome TIETZ, 1998. « A geographical information system for a GPS based personal guidance system », *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 12, n°7, pp. 727-749
- GOODCHILD Mickael F., 2007. « Citizens as sensors: the world of volunteered geography », *GeoJournal*, n°69, pp. 211-221
- GOODCHILD Michael F. et Alan J. GLENNON, 2010. « Crowdsourcing geographic information for disaster response: a research frontier », *International Journal of Digital Earth*, vol. 3, n°3, pp. 231-241
- GOTTSCHAL Jinger S. et Rodger KRAM, 2006. « Mechanical energy fluctuations during hill walking: the effects of slope on inverted pendulum exchange », *The Journal of Experimental Biology*, vol. 209, pp. 4895-4900
- GOLLEDGE Reginald G., Jack M. LOOMIS, Roberta L. KLATZKY, Andreas FLURY et Xiao LI YANG, 1991. « Designing a personal guidance system to aid navigation without sight: progress on the GIs component », *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 5, n°4, pp. 373-395
- GRANDJEAN Pernette (dir.), *Construction identitaire et espace*, L'Harmattan, 204 p.
- GRANIE Marie-Axelle, 2008. « Différence de sexe et effet de l'adhésion aux stéréotypes de sexe sur la perception des comportements piétons chez l'adulte » in GRANIE M-A. et AUBERLET J-M. *Le Piéton et son environnement : Quelles interactions ? Quelles adaptations ?*, Actes INRETS n°115, 322 p., pp. 145-159

Bibliographie

- GRANIE Marie-Axelle et Jean-Michel AUBERLET, 2008. *Le Piéton et son environnement. Quelles interactions ? Quelles adaptations ?*, Paris, Actes INRETS n°115, 322 p.
- GRANIE Marie-Axelle et Jean-Michel AUBERLET, 2010. *Le Piéton : Nouvelles connaissances, Nouvelles pratiques et Besoins de Recherche*, Actes du 2^e colloque francophone de la plate-forme intégratrice COPIE, novembre 2009, Lyon, 330 p.
- GRANIE Marie-Axelle, Jean-Michel AUBERLET, Aurélie DOMMES et Thierry SERRE (dir.), 2012. *Qualité et sécurité du déplacement piéton : facteurs, enjeux et nouvelles actions*, Actes du 3^e colloque francophone international du GERI COPIE, Salon de Provence, 13-14 octobre 2011, 308 p.
- GROBOIS Louis-Pierre, 2010. *Handicap et Construction*, Le Moniteur (9^e édition), 510 p.
- GULLON Pedro, Hannah H. BADLAND, Silvia ALFAYATE, Usama BILAL, Francisco ESCOBAR, Alba CEBRECOS, Julia DIEZ et Manuel FRANCO, 2015. « Assessing walking and cycling environments in the streets of Madrid », *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*, 17 p.
- GUTIERREZ Guillermo E., 2014. *GIS Derived walkability index methodology for urban contexts in Luxembourg*, Mémoire de Master 2 en Technologie de l'information géographique, Université de Alcalá, sous la direction de F. Escobar et O. Klein, 22 p.
- GWIAZDZINSKI Luc, 2011. « Ambiances nocturnes des villes : Premières relectures en mouvement » in AUGOYARD J-F. (dir.) *Faire une ambiance/Creating an atmosphere*, A la croisée, Collection Ambiance, ambiance; Acte du 1st International Congress on Ambiances, Grenoble 2008, 527 p., pp. 145-152

H

- HAGGETT Peter et Richard J. CHORLEY, 1969. *Network Analysis in Geography*, Edward Arnold, 360 p.
- HAMONET Claude, 1990. *Les Personnes en situation de handicap*, Puf, Que sais-je?, 128 p.
- HAMONET Claude et Marie JOUVENCEL (De), 2007. *Handicap, des mots pour le dire, des idées pour agir*, Connaissances et savoirs, 170 p.
- HANDY Suzan L. et David A. NIEMEIER, 1997. « Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives », *Environment and Planning A*, Vol. 29, pp. 1175-1194

Bibliographie

- HASTING et Mc ENTÉE, 2009. *Sidewalk MasterPlan*, Rapport technique, City of Austin Public Works Department, 34 p.
- HAYS Ron D., 1998. *Rand-36 Health Status Inventory*, Psychological Corporation, 126 p.
- HAYS Ron D. et Leo S. MORALES, 2001. « The RAND36 measure of health-related quality of life », *Annals of medicine*, vol. 33, pp. 350-357
- HELBING Dirk, Peter MOLNAR, Illes J FARKAS et Kai BOLAY, 2001. « Self-organizing pedestrian movement », *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 28, pp. 361-383
- HESS Paul M., 1997. « Measures of Connectivity », *Places*, vol. 11, issue 2, pp. 58-65
- HERAN Frédéric, 2011. *La Ville morcelée : Effets de coupure en milieu urbain*, Economica, 224 p.
- HERAN Frédéric, 2013. « La Ville morcelée » in BRUN G., *Ville et Mobilité : Nouveaux regards*, Economica, 368 p., Chap.10, pp. 159-175
- HILLIER Bill et Julianne HANSON, 1984. *The social logic of space*, Cambridge University Press, 281 p.
- HILLIER Bill et Shinichi IIDA, 2005. « Network and Psychological Effects in Urban Movement », International Conférence COSIT, Springer-Verlag Berlin Heildeberg, Vol. 3693, pp. 475-490
- HINE Julian, 1996. « Pedestrian travel experiences: Assessing the impact of traffic on behaviour and perceptions of safety using an in-depth interview technique », *Journal of Transport Geography*, vol. 4, n°3, pp. 179-199
- HOOGENDOORN Serge P. et Piet H. L. BOVY, 2004. « Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models », *Transportation Research*, n°38, pp. 169-190
- HUE Jean-Louis, 2010. *L'Apprentissage de la marche*, Grasset, essai français, 240 p.

I

- IACONO Michael, Kevin J. KRIZEK et Ahmed EL-GENEIDY, 2010. « Measuring non-motorized accessibility: issues, alternatives, and execution », *Journal of Transport Geography*, vol. 18, pp. 133-140
- IGL Gerhard, 2005. « Les Droits des personnes handicapées en Allemagne : les changements apportés par la nouvelle législation », *Revue française des affaires sociales*, n°2, pp. 125-156

INFO HANDICAP (dir.), 2000. *Guide des Normes*, commandé par le ministère de la Famille, de la Solidarité sociale et de la Jeunesse, 172 p.

J

JACOBSON Dan R. et Robert M. KITCHIN, 1997. « GIS and people with visual impairments or blindness: Exploring the potential for education, orientation, and navigation », *Transactions in GIS*, vol. 2, Issue 4, pp. 315-332

JAMET Frank, 2003. « De la Classification internationale du handicap (CIH) à la Classification internationale du fonctionnement de la santé et du handicap (CIF) », *La nouvelle revue de l'AS*, n°22, pp. 163-171

JONES Lynnette M., Debra L. WATERS et Michael LEGGE, 2009. « Walking Speed at Self-Selected Exercise Pace Is Lower but Energy Cost Higher in Older Versus Younger Women », *Journal of Physical Activity and Health*, vol. 6, pp. 327-332

JOSEPH Isaac, 2000. « Décrire l'espace des interactions » in LEVY J. et LUSSAULT M. (dir.), *Logiques de l'espace, esprit des lieux*. Géographies à Cerisy, Paris, Belin, 352 p., chap. 3, pp. 49-55

JULIEN Arantxa et Jean-René CARRE, 2003. « La Marche dans les déplacements quotidiens des citoyens » in PUMAIN D. et MATTEI M-F. *Données Urbaines 4*, Anthropos, 433 p., pp. 87-95

K

KAMMOUN Slim, 2013. « Assistance à la navigation pour les non voyants : vers un positionnement, un SIG et un suivi adaptés », Thèse en Informatique, Université de Toulouse, France, 177 p.

KANSKY Karl et Pascal DANSCOINE, 1989. « Measures of network structure », *Flux*, numéro spécial, pp. 89-121

KASS Gordon V., 1980. « An exploratory technique for investigating large quantities of categorical data », *Journal of the Royal Statistical Society*, vol. 29, n°2, pp. 119-127

KAUFMANN Vincent, 2000. *Mobilité quotidienne et dynamiques urbaines : la question du report modal*, PPU Romandes, 252 p.

KAUFMANN Vincent, Martin SCHULER, Olivier CREVOISIER et Pierre ROSSEL, 2003. « Mobilité et motilité : de l'intention à l'action », *Cahier de l'ASUL 4*, juin, 76 p.

KAWAMURA Kenji, Akihiro TOKUHIRO et Hideo TAKECHI, 1991. « Gait analysis of slope walking: a study on step length, stride width, time factors

- and deviation in the center of pressure », *Acta Medica Okayama*, vol. 45, issue 3, pp. 179-184
- KLATSKY Roberta L., Jack M. LOOMIS, Andrew C. BEALL, Sarah S. CHANCE et Reginald G. GOLLEDGE, 1988. « Spatial updating of self-position and orientation during real, imagined and virtual locomotion », *Psychological Science*, vol. 9, n°4, pp. 293-298
- KLEIN Olivier, 2007. *Modélisation et représentation spatio-temporelles des déplacements quotidiens urbains. Application à l'aire urbaine Belfort-Montbéliard*, Thèse en géographie, Université de Strasbourg, 265 p.
- KLEIN Olivier, SCHNEIDER Marc et VICTOR Nadja, 2011. « Modélisation et visualisation de l'accessibilité piétonne à Luxembourg-Ville », Acte de conférence *Dixième rencontre de Théoquant : Nouvelles approches en géographie théorique et quantitative*, 23-25 février, Besançon, France, pp. 78-80
- KLEIN Olivier, Guillermo E. GUTTIERREZ et Francisco ESCOBAR, 2015a. « A GIS based Walkability Index for Contrasting Urban Contexts : Application to Luxembourg », Acte de conférence *1st International Conference on Transport & Health*, Londres, 6-8 juillet
- KLEIN Olivier, Sébastien LORD, Loubna BARRA et Marc SCHNEIDER, 2015b. « Quelle mobilité pour quelle autonomie ? Activités et déplacements quotidiens de préadolescents à Luxembourg-Ville » in LORD S. *et al.* (dir.), *Mobilité et exclusion, quelles relations ?*, Québec, Presses de l'Université Laval, Collection études urbaines, 390 p., pp. 139-160
- KLEIN Sylvain, Philippe GERBER et Olivier KLEIN, 2009. « De nuit, de jour... les transports en commun en ville » in BOUSCH P. *et al.*, *Atlas du Luxembourg*, Emons, 224 p., pp. 146-147
- KNAPIK Joseph, Everett HARMAN et Katy REYNOLDS, 1996. « Load carriage using packs: A review of physiological, biomechanical and medical aspects », *Applied Ergonomics*, vol. 27, pp. 207-216
- KNOBLAUCH Richard L., Martin T. PIETRUCHA et Marsha NITZBURG, 1996. « Field Studies of Pedestrian Walking: Speed and Start-Up Time », *Transportation Research*, vol. 1538, pp. 27-38
- KÖPPEN Bernhard, Philippe GERBER, Olivier KLEIN, Sylvain KLEIN, Basile CHAIX et Yan KESTENS, 2015. « Geographical context and its impacts on daily mobility practices of the elderly: Empirical findings from a Luxembourg case study », Acte de conférence *19th European Colloquium in Theoretical and Quantitative Geography (ECTQG)*, 3-7 septembre, Bari, Italie

L

- LANGVIN Sabine, Aurélie DOMMES, Viola CAVALLLO, Fabrice VIENNE et Stéphane CARO, 2012. « Les Effets du déclin des capacités fonctionnelles avec l'âge sur la sécurité des décisions de traversée de rue » in GRANIE M-A. et al. *Qualité et sécurité du déplacement piéton : facteurs, enjeux et nouvelles actions*, Actes du 3^e colloque francophone international du GERI COPIE, Salon-de-Provence, 13-14 octobre 2011, 308 p., pp. 200-201
- LANTERI Raphaël, Gérard IGNAZI et Maryvonne DEJEAMMES, 2005. *Accessibilité des espaces publics urbains. Outil d'évaluation ergonomique*, Rapport CERTU, 44 p.
- LAVADINHO Sonia, 2008. « Chemins de traverse et lignes de désir », *Urbanisme*, Dossier « marcher », n°359, pp. 66-68
- LAVADINHO Sonia, 2011. *Le renouveau de la marche urbaine. Terrains, acteurs et politiques*. Thèse de Géographie, Ecole Normale Supérieure Letters & Sciences Humaines, Lyon, 723 p.
- LAVADINHO Sonia et Yves WINKIN (dir.), 2012. *Vers une marche plaisir en ville : Boîte à outils pour augmenter le bonheur de marcher*, Dossier CERTU, n°248, 231 p.
- LEBART Ludovic, Alain MORINEAU et Marie Piron, 1995. *Statistique exploratoire multidimensionnelle*, Dunod, 439 p.
- LE BRETON David, 2000. *Eloge de la marche*, Suites Sciences Humaines, Editions Métailié, 176 p.
- LE BRETON David, 2012. *Marcher : éloge des chemins et de la lenteur*, Suites Sciences Humaines, Editions Métailié, 166 p.
- LESLIE Eva, Neil COFFEE, Lawrence FRANK, Neville OWEN, Adrian BAUMAN et Graeme HUGO, 2007. « Walkability of local communities: Using geographic information systems to objectively assess relevant environmental attributes », *Health & Place*, vol. 13, Issue 1, pp. 111-122
- LERNER Zachary F., Wayne J. BOARD et Raymond C. BROWNING, 2014. « Effects of obesity on lower extremity muscle function during walking at two speeds », *Gait & Posture*, vol. 39, Issue 3, pp. 978-984
- LEVY Jacques et Michel LUSSAULT (dir.), 2000. *Logiques de l'espace, esprit des lieux*. Géographies à Cerisy, Paris, Belin, 352 p.
- LEVY Jacques, 2005. « Modèle de mobilité, modèle d'urbanité » in ALLEMAND S. et al. (dir.). *Les Sens du mouvement : Modernité et mobilités dans les sociétés urbaines contemporaines*, Belin, 336 p., pp. 157-159

Bibliographie

- LEVY Bertrand, Kenneth WHITE et Alexandre GILLET (dir.), 2007. *Marche et paysage: les chemins de la géopoétique*, Métropolis, 269 p.
- LITMAN Todd, 2015. *Evaluating Active Transport Benefits and Costs : Guide to Valuing Walking and Cycling Improvements and Encouragement Programs*, Rapport technique commandé par le Victoria Transport Policy Institute, 78 p.
- LIU Yancheng, Kun LU, Songhua YAN, Ming SUN, D. Kevin LESTER et Kuan ZHANG, 2014. « Gait phase varies over velocities », *Gait & Posture*, vol. 39, Issue 2, pp. 756-760
- LO Ria Hutabarat, 2009. « Walkability: what is it? », *Journal of Urbanism*, vol. 2, n°2, pp. 145-166
- Loi française n°2005-102 du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées (France), consulté le 27/08/2015 :
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000809647>
- Loi luxembourgeoise du 29 mars 2001 portant sur l'accessibilité des lieux ouverts au public, consulté le 27/08/2015 :
<http://eli.legilux.public.lu/eli/etat/leg/rgd/2001/11/23/n3>
- LOO Becky P. et Alice S.Y. CHOW, 2006. « Sustainable Urban Transportation: Concepts, Policies and Methodologies », *Journal of Urban Planning and Development*, Vol. 132, Issue 2, pp. 76-79
- LOOMIS Jack M., Roberta L. KLATZKY et Reginald G. GOLLEDGE, 2001. « Navigating without Vision: Basic and Applied Research », *Optometry and Vision Science*, vol. 78, n°5, pp. 282-289
- LORD Sébastien et Paula NEGRON-POBLETE, 2014. « Les Grands Ensembles résidentiels adaptés québécois destinés aux aînés. Une exploration de la « marchabilité » du quartier à l'aide un audit urbain. », *NOROIS*, vol. 3, n°232, pp. 35-52
- LORD Sébastien, Paula NEGRON-POBLETE et Juan TORRES (dir.), 2015. *Mobilité et exclusion, quelles relations ?*, Collection études urbaines, Presses de l'Université Laval, Québec, 380 p.
- LWIN Ko Ko et Yuji MURAMAYA, 2011. « Modelling of urban green space walkability: Eco-friendly walk score calculator », *Computers, Environment and urban systems*, 13 p.
- LYNCH Kevin, 1960. *The image of the City*, Joint Center for Urban Studies, 194 p.
- LYONS Glenn et John URRY, 2005. « Travel time use in the information age », *Transportation Research Part A*, vol. 39, pp. 257-276

M

- MACKETT Roger, Kamalasudhan ACHUTHAN et Helena TITHERIDGE, 2008. « AMELIA: making streets more accessible for people with mobility difficulties », *Urban Design International*, vol. 13, pp. 80-89
- MANAUGH Kevin MANAUGH et Ahmed EL-GENEIDY, 2011. « Validating walkability indices: How do different households respond to the walkability of their neighborhood? », *Transportation Research Part D*, vol. 16, Issue 4, pp. 309-315
- MARCHETTI Cesare, 1991. « Voyager dans le Temps : considérations pour une meilleure exploitation de la liaison fixe », *Futuribles*, juillet-août, pp. 19-29
- MARUISH Mark E. (dir.), 2004. *The Use of Psychological Testing for Treatment Planning and Outcome Assessment*, Lawrence Erlbaum Associates, vol. 3, 1050 p.
- MATTHEWS Hugh et Peter VUJAKOVIC, 1995. « Private worlds and public places: mapping the environmental values of wheelchair users », *Environment and Planning A*, vol. 27, pp. 1069-1083
- MATTHEWS Hugh, Linda BEALE, Phil PICTON et David BRIGGS, 2003. « Modelling Access with GIS in Urban Systems (MAGUS): capturing the experiences of wheelchair users », *Area*, vol. 65, Issue 1, pp. 34-45
- MATHIS Philippe (dir.), 2003. *Graphes et réseaux : modélisation multiniveau*, Lavoisier, Hermès Science, 361 p.
- MDDI (Ministère du Développement durable et des Infrastructures), 2012. *Stratégie globale pour une mobilité durable pour les résidents et les frontaliers*, Rapport MODU pour le Stratégie globale pour une mobilité durable pour les résidents et les frontaliers, 168 p.
- MENDELSON Monique, Anne-Sophie MICHALET, Julia TONINI, Anne FAVRE-JUVIN, Michel GUINOT, Véronique-Aurélie BRICOUT, Bernard WUYAM et Patrice FLORE, 2012. « Intolérance à l'effort de la personne obèse : modalités d'évaluation et conséquences pour la prescription de l'activité physique », *Obésité*, vol. 7, Issue 4, pp. 22-27
- METHA Vikas, 2008. « Walkable streets: pedestrian behavior, perceptions and attitudes », *Journal of Urbanism*, vol. 1, n°3, pp. 217-245
- MERLIN Pierre et Françoise CHOAY, 1988. *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, Puf, Quadrige, 843 p.
- MILLSTEIN Rachel A., Kelli CAIN, Terry et James F. SALLIS, Terry L. CONWAY, Carrie GEREMIA, Lawrence D. FRANK, Jim CHAPMAN, Delfien VAN DYCK, Lindsay R. DIPZINSKI, Jacqueline KERR, Karen GLANZ et Brian E. SAELENS, 2013. « Development, scoring, and

Bibliographie

- reliability of the Microscale Audit of Pedestrian Streetscapes (MAPS) », *BMC Public Health*, vol. 13, n°403, 15 p.
- MILWARD Hugh, Jamie SPINNEY et Darren SCOTT., 2013. « Active-transport walking behavior: destinations, durations, distances », *Journal of Transport Geography*, vol. 28, pp. 101-110
- MINAIRE Pierre, 1991. « La Mesure d'Indépendance Fonctionnelle (MIF). Historique, présentation, perspectives », *Journal de réadaptation médicale*, vol. 11, n°3, pp. 168-174
- MINAIRE Pierre, 2012. « Le handicap en porte-à-faux », *ALTER, European Journal of Disability Research*, « Retour sur textes », vol. 6, pp. 214-222
- MINETTI Alberto E., Christian MOIA, Giulio S. ROI, Davide SUSTA et Guido FERETTI, 2002. « Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill », *Journal of Applied Physiology*, vol. 93, pp. 1039-1046
- MOKHTARIAN Patricia L., Ilan SALOMON et Susan L. HANDY, 2006. « The Impacts of ICT on Leisure activities and travel: a conceptual exploration », *Transportation*, Vol. 33, n°3, pp. 263-289
- MÜHLL (Von der) Dominique, 2004. « Mobilité douce : Nostalgie passéiste ou perspective d'avenir ? » in VODOZ L. et al. *Les Territoires de la mobilité*, Lausanne, PPU Romandes, 383 p., pp. 209-224
- N**
- NEGRON-POBLETE Paula et Sébastien LORD, 2014. « Marchabilité des environnements urbains autour des résidences pour personnes âgées dans la région de Montréal : application de l'audit MAPPA », *Cahiers de Géographie du Québec*, vol. 58, n°164, pp. 233-257
- NEWMAN Peter et Jeffrey KENWORTHY, 1999. *Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence*, Island Press, 450 p.
- NEWMAN Peter et Jeffrey KENWORTHY, 2006. « Urban Design to Reduce Automobile Dependence », *Opolis: An International Journal of Suburban and Metropolitan Studies*, Vol. 2, n°1, article 3, pp. 35-52
- NEWMAN Peter et Jeffrey KENWORTHY, 2015. *The end of Automobile dependence. How cities are moving beyond car-based planning*, Island Press, 328 p.
- Norme ISO/FDIS 21542:2011 *Building construction Accessibility and usability of the built environment*, consulté le 27/08/2015 :
http://www.iso.org/iso/fr/catalogue_detail?csnumber=50498

O

OBERG Tommy, Alek KARSZNIA et Kurt OBERG, 1993. « Basic gait parameters: Reference data for normal subjects, 10-79 years of age », *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 30, n°2, pp. 210-223

OFFNER Jean-Marc, 2003. « Les plans de déplacements urbains (1996-2002) » in PUMAIN D. et MATTEI M-F. *Données Urbaines 4*, Anthropos, 433 p., pp. 379-386

OGLE, 2010. *Walkshed : Find your walkable way through the urban jungle*, consulté le 27/08/2015 : <http://walkshed.org/>

OLLIVRO Jean, 2000. *L'homme à toutes vitesses : De la lenteur homogène à la rapidité différenciée*, Espace et Territoire, Presses Universitaires de Rennes, 180 p.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2001. *CIF Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé*, Rapport, 220 p.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2004. *Global strategy on diet, physical activity and health*, Rapport 18 p.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2012. *Quelques idées reçues concernant l'exercice physique*, Rapport, consulté le 16/11/2012: http://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_myths/fr/index.html

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2015. *Obésité et surpoids*, Aide-mémoire en ligne n°311, janvier, vu le 08/04/2015 : <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/fr/>

ONU (Organisation des Nations-Unies), 2006. *Convention relative aux droits des personnes handicapées et Protocole facultatif*, Rapport, 38 p., consulté le 08/04/2015 : <http://www.un.org/disabilities/documents/convention/convoptprot-f.pdf>

O'SULLIVAN David, Alastair MORRISON et John SHEARER, 2000. « Using desktop GIS for the investigation of accessibility by public transport: an isochrone approach », *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 14, n°1, pp. 85-104

OWEN Neville, Nancy HUMPEL, Eva LESLIE, Adrian BAUMAN et James F. SALLIS, 2004. « Understanding environmental influences on walking: Review and research agenda », *American Journal of Preventive Medicine*, vol. 27, issue 1, pp. 67-76

P

PAPON Francis, 1997. « Les mondes oubliés : marche, bicyclette, cyclomoteur, motocyclette », *Recherche Transport Sécurité*, n°56, 19 p.

Bibliographie

- PAPON Francis, 2003. « La ville à pied et à vélo » in PUMAIN D. et MATTEI M-F. *Données Urbaines 4*, Anthropos, 433 p., pp. 75-85
- PAYSANT Jean, Christian BEYAERT, Ange-Michel DATIE, Noel MARTINET et Jean-Marie ANDRE, 2006. « Influence of terrain on metabolic and temporal gait characteristics of unilateral transtibial amputees », *Journal of Rehabilitation Research & Development*, vol. 43, n°2, pp. 153-160
- PEACOCK Richard D., Erica D. KULIGOWSKI, Jason D. AVERILL. (dir.), 2011. *Pedestrian and Evacuation dynamics*, Springer Science & Business Media, 928 p.
- PENE Sophie, 2010. « Le piéton dans la ville : Nouvelles épreuves de la micromobilité hyperdocumentée » in ZREIK K. (dir), *Nouvelles Cartographies, nouvelles villes. Hyperurbains II*, Europa, 210 p., pp. 131-141
- PEPONIS John, Jean WINEMAN, Mahbub RASHID, S KIM et Sonit BAFNA, 1997. « On the description of Shape and Spatial Configuration Inside Buildings: convex partitions and their local properties », *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 24, issue 5, pp. 761-781
- PEPONIS John, Sonit BAFNA et Zongyu ZHANG, 2008. « The connectivity of streets: reach and directional distance », *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 35, pp. 881-901
- PETIT Sébastien, 2009. « La dépendance automobile au Luxembourg » in BOUSCH P. et al., *Atlas du Luxembourg*, Emons:, 224 p., pp. 140-141
- PETRIE Helen, Valerie JOHNSON, Thomas STROHOTTE, Andreas RAAB, Steffi FRITZ et Rainer MICHEL, 1996. « MOBIC: Designing a Travel Aid for Blind and Elderly People », *Journal of Navigation*, vol. 49, n°1, pp. 45-52
- PHILIPPART Robert, 2009. « Luxembourg, une création politique » in BOUSCH P. et al., *Atlas du Luxembourg*, Emons:, 224 p., pp. 36-37
- PIER Jean-Paul (dir.), 2000. *Development of Mathematics 1950-2000*, Springer Science & Business media, Birkhäuser, vol. 1, 1372 p.
- PIKORA Terri J., Fiona C.L. BULL, Konrad JAMROZIK, Matthew KNUIMAN , Billie GILES-CORTI et Rob J. DONOVAN, 2002. « Developing a Reliable Audit Instrument to Measure the Physical Environment for Physical Activity », *American Journal of Preventive Medicine*, vol. 23, issue 3, pp. 187-194
- PIOMBINI Arnaud, 2006. *Modélisation des choix d'itinéraires pédestres en milieu urbain : approche géographique et paysagère*, Thèse en géographie, Université de Franche-Comté, 306 p.

Bibliographie

PIOMBINI Arnaud et Jean-Christophe FOLTÊTE, 2007. « Paysages et choix d'itinéraires pédestres en milieu urbain. Une nouvelle approche par les bifurcations », *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n°52, pp. 87-105

PRIEBE Jonathon R. et Rodger KRAM, 2001. « Why is walker-assisted gait metabolically expensive? », *Gait & Posture*, vol. 34, pp. 265-269

PUMAIN Denise et Marie-Flore MATTEI, 2003. *Données Urbaines 4*, Anthropos, 433 p.

PUMAIN Denise, Thierry PAQUOT et Richard KLEINSCMAGER, 2006. *Dictionnaire La ville et l'urbain*, Economica, Anthropos, 320 p.

Q

R

RABISCHONG Pierre, 2008. *Le Handicap*, Que sais-je ?, Puf, 128 p.

RAMADIER Thierry, Pierre LANNOY, Sandrine DEPEAU, Sammuel CARPENTIER et Christophe ENAUX, 2009. « Vers l'hypothèse d'une identité de déplacement. Congruence entre espace social, cognitif et géographique », in GRANDJEAN P. (dir.), *Construction identitaire et espace*, L'Harmattan, 204 p., chap. 4, pp. 75-94

RAKOTOMOLALA Ricco, 2005. « Arbres de Décision », *Revue MODULAD*, n°33, pp. 163-187

RANA Sanjay, 2006. « Isovist Analyst - An Arcview extension for planning visual surveillance », Acte de conférence *ESRI International User Conference*, (CD-ROM), 9 p.

RANDALL Todd A. et Brian W. BAETZ, 2011. « Evaluating pedestrian connectivity for suburban sustainability », *Journal of urban planning and development*, vol. 127, issue 1, 15 p.

RATTI Carlo, 2004. « Space Syntax: some inconsistencies », *Environment and Planning B: Planning and Design*, n°31, pp. 487-499

REY Alain (dir.), 2005. *Dictionnaire culturel en langue française*, Le Petit Robert, 9 volumes

REYMOND Henri, Colette CAUVIN et Richard KLEINSCHMAGER (dir.), 1998. *L'Espace géographique des villes : pour une synergie multistrat.* Anthropos, Economica, Paris, 557 p.

Bibliographie

- REYMOND Henri, 1998a. « Approche nouvelle de la coalescence » in REYMOND H. et al. *L'Espace géographique des villes : pour une synergie multistrate*, Anthropos, Economica, Paris, 557 p., pp. 19-48
- REYMOND Henri, 1998b. « L'accessibilité : un concept processuel et structurel » in REYMOND H. et al. *L'espace Géographique des villes : pour une synergie multistrate*, Anthropos, Economica, Paris, 557 p., pp. 65-75
- ROGERS Shannon H., John M. HALSTEAD, Kevin H. GARDNER et Cynthia H. CARLSON, 2010. « Examining Walkability and Social Capital as Indicators of Quality of Life at the Municipal and Neighborhood Scales », *The International Society for Quality-of-Life Studies*, octobre, 13 p.
- ROSENBLOOM Sandra, 2001. « Sustainability and automobility among the elderly: An international assessment », *Transportation*, vol. 28, Issue 4, pp. 375-408
- ROUSSEAU Jean-Jacques, 1782 (édition posthume, écrit inachevé entre 1776 et 1778). *Rêveries du promeneur solitaire*, Le Livre de Poche (2001), 223 p.
- ROY Bernard, 1985. *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*, Economica, 423 p.
- ROY Bernard et Denis BOUYSSOU, 1993. *Aide multicritère à la décision : Méthodes et cas*, Economica, Collection Gestion, 695 p.
- RUITTON-ALLINIEU Anne-Marthe, 2011. *The Crowdsourcing of geoinformation: data quality and possible applications*, Mémoire de master, Alto university, School of Engineering, department of surveying, 76 p.

S

- SAELENS Brian E., James F. SALLIS et Lawrence D. FRANK, 2003. « Environmental correlates of walking and cycling: finding from the transportation, urban design, and planning literatures », *Annals of behavioral medicine*, vol. 5, n°2, pp. 80-91
- SALLIS James F., Lawrence D. FRANK, Brian E. SAELENS et Katherine M. KRAFT, 2004. « Active transportation and physical activity: opportunities for collaboration on transportation and public health research », *Transportation Research Part A*, vol. 38, issue 4, pp. 249-268
- SANSOT Pierre, 2004. *Poétique de la ville*, Petite Bibliothèque Payot, Editions Payot & Rivages pour l'édition de Poche ; (1^e édition, Armand Colin, 1996), 626 p.
- SCHMITZ Frédéric, Guillaume DREVON et Philippe GERBER, 2012. *La mobilité des frontaliers du Luxembourg : dynamiques et perspectives*, Les cahiers du CEPS/INSTEAD Hors-série - Géographie & Développement, 40 p.

Bibliographie

- SHIMBEL Alfonso, 1953. « Paramètres structurels de Réseaux de Communication », *Bulletin de Biophysique mathématiques*, XV, pp. 501-50
- SOBEK Adam D. et Harvey J. MILLER, 2006. « U-Access: a web-based system for routing pedestrians of differing abilities », *Journal of Geographical Systems*, vol. 8, pp. 269-287
- SOLERE (De) Régis, 2012 (dir.). *La mobilité urbaine en France. Enseignements des années 2000-2010*, Editions du Certu, 108 p.
- SOLERE (De) Régis, 2012a. « Le recul de la voiture en ville » in De SOLERE R. (dir.) *La mobilité urbaine en France. Enseignements des années 2000-2010*, Editions du Certu, 108 p., pp. 20-23
- SOLERE (De) Régis, 2012b. « La décennie « tramway » in De SOLERE R. (dir.) *La mobilité urbaine en France. Enseignements des années 2000-2010*, Editions du Certu, 108 p., pp. 30-33
- SOLERE (De) Régis, 2012c. « La marche et le vélo dans les centres-villes apaisés » in De SOLERE R. (dir.) *La mobilité urbaine en France. Enseignements des années 2000-2010*, Editions du Certu, 108 p., pp. 30-33
- SOLERE (De) Régis et Virginie LASSERRE, 2012. « Vieillissement et pratique de la marche » in GRANIE M-A. et al. *Qualité et sécurité du déplacement piéton : facteurs, enjeux et nouvelles actions*, Actes du 3^e colloque francophone international du GERI COPIE, Salon-de-Provence, 13-14 octobre 2011, 308 p., pp. 139-146
- SOLERE (De) Régis et Francis PAPON, 2010. « La mobilité à pied : que nous apprennent les dernières enquêtes ? » in GRANIE M-A. et AUBERLET J-M. *Le Piéton : Nouvelles Connaissances, nouvelles pratiques et besoins de recherche*, Actes du 2^e colloque francophone de la plate-forme intégratrice COPIE, novembre 2009, Lyon, 330 p., pp. 15-24
- SOLNIT Rebecca, 2000. *Wanderlust : a history of walking*, Penguin books, 336 p.
- SONG Yena et John M PRESTON, 2013. « What explains active travel behaviour? Evidence from case studies in the UK », *Environment and Planning A*, vol. 45, pp. 2980-2998
- SOUTHWORTH Michael, 2005. « Designing the Walkable City », *Journal of Urban Planning and Development*, vol. 131, n°4, pp. 246-257
- STEAR DAVIES GLEAVE, 2014. *Legible London*, Rapport technique pour Transport for London, 12 p.
- STEFFEN Teresa M., HACKER Timothy A. et MOLLINGER Louise, 2002. « Age and Gender Related Test Performance in Community-Dwelling Elderly

People: Six-Minute Walk Test, Berg Balance Scale, Timed Up & Go Test, and Gait Speeds », *Physical Therapy*, vol. 82, Issue 2, pp. 128-137

STURM Hendrik, 2010. « Contribution de l'hodologie récréative à la perception des espaces urbains » in THOMAS R. *Marcher en ville : Faire corps, prendre corps, donner corps aux ambiances urbaines*, Editions des archives contemporaines, 194 p., pp. 159-179

SULEIMAN Wassim, Thierry JOLIVEAU et Eric FAVIER, 2012. « Une nouvelle méthode de calcul d'isovist en 2 et 3 dimensions », Acte de conférence SAGEO, Université de Liège, Belgique, 6-9 novembre, 21 p.

SYDALL Holly E., Helen J. MARTIN, Rowan H. HARWOOD, Cyrus COOPER et Avan AIHIE SAYER, 2009. « The SF-36: A simple, effective, measure of mobility-disability for epidemiological studies », *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, vol. 13, n°1, pp. 57-62

T

TCHICAYA Anastase et Nathalie LORENTZ, 2010. « Prévalence du surpoids et de l'obésité de 1995 à 2008 », *Vivre au Luxembourg*, CEPS/INSTEAD, n°66-juin 2010, 2 p.

TECH Kong Chuan et Abdul Rachid AZIZ, 2002. « Heart rate, oxygen uptake, and energy cost of ascending and descending the stairs », *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Vol. 34, Issue 4, pp. 695-699

THIBAUD Jean-Paul, 2008. « La marche aux trois personnes », *Urbanisme, Les publications d'architecture et d'urbanisme*, pp. 63-65

THIBAUD Jean-Paul, 2010. « Des modes d'existences de la marche urbaine » in THOMAS R. (dir.), *Marcher en ville : Faire corps, prendre corps, donner corps aux ambiances urbaines*, Edition des archives contemporaines, 194 p., pp. 29-46

THIBAUD Jean-Paul, Aurore BONNET, Martine LEROUX et Rachel THOMAS (dir.), 2008. « Les Compositions de la marche en ville », Contribution du laboratoire CRESSON pour l'ouvrage WINKIN Y. et LAVADINHO S., 2008. *Des villes qui marchent, tendances durables en urbanisme, mobilité et santé*, Projet ANR SEST05019, Rapport final, Université de Lyon, ENS-LSH, 113 p.

THOMAS Rachel, 2003a. « L'Accessibilité des piétons à l'espace public urbain : un accomplissement perceptif situé », *Espace Population et Société : Architecture et habitat dans le champ interculturel*, n°113-114, pp. 233-249

THOMAS Rachel, 2003b. « Quand le pas fait corps et sens avec l'espace. Aspects sensibles et expressifs de la marche en ville », *Cybergeog: European Journal of Geography*, 11 p.

Bibliographie

- THOMAS Rachel, 2008. « Quand JE marche à Europole » in THIBAUD J-P. *et al.* (dir.), *Les Compositions de la marche en ville*, Contribution du laboratoire CRESSON pour l'ouvrage WINKIN Y. et LAVADINHO S., 2008. *Des villes qui marchent, tendances durables en urbanisme, mobilité et santé*, Projet ANR SEST05019, Rapport final, Université de Lyon, ENS-LSH, 113 p., pp. 29-42
- THOMAS Rachel (dir.), 2010. *Marcher en ville : Faire corps, prendre corps, donner corps aux ambiances urbaines*, Editions des archives contemporaines, 194 p.
- TIGHT Miles, Charlotte KELLY, Frances HODGSON et Matthew PAGE, 2004. « Improving Pedestrian Accessibility and Quality of Life », Acte de *10th Word Conference on Transport Research*, Istanbul, 4-8 juillet, 20 p.
- TITHERIDGE Helena, Kamalasudhan ACHUTHAN et Roger MACKETT, 2009. « Assessing the extent of transport social exclusion among the elderly », *Journal of Transport and Land Use*, vol. 2, n°2, pp. 31-48
- TURNER Alasdair, Maria DOXA, David O'SULLIVAN et Alan PENN, 2001. « From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space », *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 28, pp. 103-121
- TNS ILRES, 2015. *Enquête mobilité douce 2014 : Résidents et travailleurs frontaliers*, Rapport commandité par le ministère du Développement durable et des Infrastructures, 18 p.
- TOM Ariane, Jean-Michel AUBERLET et Roland BREMOND, 2008. « Approche psychologique de l'activité de traversée des piétons : Implications pour la simulation », *Recherche Transports Sécurité*, n°101, pp. 265-279

U

- URRY John, 2007. *Mobilities*, Polity Press, 336 p.

V

- VICTOR Nadja, Olivier KLEIN et Thierry JOLIVEAU, 2011. « Modélisation et visualisation de l'accessibilité piétonne à Luxembourg-ville », Acte de conférence francophone ESRI, 5-6 octobre, Versailles, France, CD-Rom
- VICTOR Nadja, Olivier KLEIN et Thierry JOLIVEAU, 2013. « La Marche en ville : accessibilité et dépense énergétique », Acte de *Onzième rencontre de Théoquant*, 20-22 février, Besançon, France, pp. 24-26
- VICTOR Nadja, Olivier KLEIN et Thierry JOLIVEAU, 2013a. « Walking: energy expenditure following urban accessibility? », Acte de *BIVÉC/GIBET Transport Research Day*, 30-31 mai, Walferdange/Luxembourg-Ville, Luxembourg, pp. 85-87

Bibliographie

- VICTOR Nadja, Olivier KLEIN et Thierry JOLIVEAU, 2014. « Déplacement piéton et SIG : Comment prendre en compte les interactions environnements-usagers ? », Actes de *SAGEO*, 24-27 novembre, Grenoble, France, 17 p.
- VICTOR Nadja et Olivier KLEIN, 2015. « La Marche, un mode de déplacement comme les autres ? Essai de construction de profils piétons » in LORD S. *et al.* (dir.), *Mobilité et exclusion, quelles relations?*, Québec, Presses de l'Université Laval, Collection études urbaines, 390 p., pp. 67-98
- VICTOR Nadja, Olivier KLEIN et Thierry JOLIVEAU, 2015a. « Disability and accessibility: how to integrate the interactions between pedestrians and urban environment through a GIS? », *Acte de l'ICC (International Cartographic Conference) – Maps Connecting the World*, 6 p., vu le 29/09/2015 : <http://www.icc2015.org/abstract,624.html>
- VICTOR Nadja, Olivier KLEIN et Thierry JOLIVEAU, 2015b. « Modéliser la marche urbaine et les relations environnement-usagers dans un SIG. Application à la ville de Luxembourg » in DAVOINE P-A. et GENSEL J. (dir.) *Approches géomatiques pour l'analyse des milieux et des structures spatiales*, *Revue Internationale de Géomatique*, Vol. 25, n°4, pp. 537-560
- VICTOR Nadja, Olivier KLEIN et Philippe GERBER, 2016. « Handicap de situation et accessibilité piétonne : reconcevoir l'espace urbain », *Espace, Populations et Sociétés*, Issue 2, 18 p.
- VIEILLEDENT Stéphane, Yves KERLIRZIN, Stéphane DALBERA et Alain BERTHOZ, 2001. « Relationship between velocity and curvature of a human locomotor trajectory », *Neuroscience Letters*, vol. 305, pp. 65-69
- VINCENT Stéphanie, 2008. *Les « altermobilités » : analyse sociologique d'usages de déplacements alternatifs à la voiture individuelle. Des pratiques en émergence ?*, Thèse de sociologie, Université Paris 5 - René-Descartes, 417 p.
- VIRKLER Mark R., 1998. « Prediction and measurement of travel time along pedestrian routes », *Transportation Research Record*, vol. 1636, n°1, pp. 37-42
- VODOZ Luc, Barbara PFISTER GIAUQUE et Christophe JEMELIN, 2004. *Les territoires de la Mobilité*, Lausanne, PPU Romandes, 383 p.

W

- WARE John E., 2004. « SF-36 health survey update » in MARUISH M. E. (dir.), *The Use of Psychological Testing for Treatment Planning and Outcome Assessment*, Lawrence Erlbaum Associates, vol. 3, 1050 p., pp. 693-718
- WATERS Robert L. et Sara MULROY, 1999. « The energy expenditure of normal and pathologic gait », *Gait and Posture*, vol. 9, pp. 201-231

Bibliographie

WEYAND Peter G., Bethany R. SMITH, Maurice R. PUYAU, Nancy F. BUTTE, 2010. « The mass-specific energy cost of human walking is set by stature », *The Journal of Experimental Biology*, vol. 213, pp. 3972-3979

WFC (Walk Friendly Communities), 2012. *Community assessment tool*, 75 p., vu le 08/04/2015 : http://www.walkfriendly.org/get_started.cfm

WHO (World Health Organization), 2013. *Pedestrian safety : A road safety manual for decision-makers and practitioners*, WHO, 132 p.

WIEL Marc, 2002. *Ville et Automobile*, Descartes et Cie, 140 p.

WILLIS Alexandra, Nathalia GJERSOE, Catriona HAVARD, Jon KERRIDGE et Robert KUKLA, 2004. « Human movement behaviour in urban spaces: implications for the design and modelling of effective pedestrian environments », *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 31, pp. 805-828

X

Y

YAIRI Ikuko Eguchi et Seiji IGI, 2007. « Universal Designed Mobility Support Geographic Information System for All Pedestrians », *Journal of the National Institute of Information and Communications Technology*, vol. 54, n°3, pp. 135-145

YANG Debbie, Feng YANG, Tanvi BHATT et Yi-Chung PAI, 2010. « Independent influence of gait speed and step length on stability and fall risk », *Gait & Posture*, vol. 32, pp. 378-382

YEGLES-BECKER Isabelle et Michel PAULY, 2009. « Le Démantèlement de la forteresse » in BOUSCH P. *et al.*, *Atlas du Luxembourg*, Emons:, 224 p., pp. 40-41

Z

ZACHARIAS John, 2001. « Path choice and visual stimuli : signs of human activity and architecture », *Journal of environmental psychology*, n°21, pp. 341-352

ZEMBRI Pierre, 2002. « Transports et réseaux : l'accentuation des mobilités » in CHARVET J-P. et SAUVIGNON M. *Géographie humaine : questions et enjeux du monde contemporain*, Armand Collin, Paris, 352 p.

ZREIK Khaldoun (dir), 2015. *Nouvelles cartographies, nouvelles villes. Hyperurbains II*, Europa, 210 p.

Table des matières

Remerciements	11
Avant-propos	13
Sommaire	16
INTRODUCTION GENERALE.....	21
Première partie : DE LA MARCHÉ AU DÉPLACEMENT PIÉTON	31
Chapitre I. La marche : action ou concept ?	37
1. La marche : moyen, mode de déplacement ou pratique ? Du moyen de déplacement naturel et universel au concept de « marche »	38
1.1. Du moyen naturel au mode de déplacement	38
1.2. La marche, flânerie et déambulation : une pratique sensorielle et un support d'observation	41
1.3. La marche : un acte social contrôlé mais aussi parfois un acte militant	42
2. Contexte contemporain de la pratique de la marche en ville : intermodalité, déplacements quotidiens et temporalités	44
2.1. La marche quotidienne : un mode de déplacement en soi, un liant entre d'autres modes et un mode de déplacement complémentaire	45
2.2. Mobilité piétonne : pratiques selon les âges de la vie et les lieux de résidence et d'activités	49
2.3. Les temporalités de la marche : un rapport espace-temps	50
Chapitre II. Les usagers piétons : des profils statistiques aux caractéristiques individuelles.....	55
1. Le piéton et/ou les usagers piétons : définitions et profils	56
1.1. De l'homme qui « se sert de ses pieds » aux usagers piétons	56
1.2. Les usagers piétons au-delà des statistiques	58
2. Santé et conséquences sur la pratique de la marche	65
2.1. Caractéristiques physiques et mentales dans le processus de la marche	65
2.2. Déterminer un état de santé général et son influence sur le déplacement ..	72
Chapitre III. L'environnement urbain du point de vue des usagers piétons	81
1. L'environnement urbain : appropriation et parcours piétons	82
1.1. Stratégies de déplacements piétons et représentations spatiales	82
1.2. Axes facilitateurs aux déplacements piétons	86
1.3. Chemins piétonniers et accès à la ville tridimensionnelle	90
2. L'environnement urbain, un espace multimodal : garantir et légiférer des chemins piétonniers pour tous	94
2.1. Typologie de voies urbaines piétonnes : entre espaces dédiés aux déplacements piétons et espaces contraints par les infrastructures de transport ..	95
2.2. Législation et normes d'accessibilité pour tous	98
2.3. Accessibilité universelle et problématiques de conflits d'usages	102
Fin de la première partie	107
Deuxième partie : MISE EN PLACE D'UN MODÈLE DE DÉPLACEMENTS PIÉTONS URBAINS.....	113

Chapitre IV. Construction d'un Système d'Information Géographique piédestre	119
1. Atouts et contraintes des systèmes d'information géographique (SIG) piédestres	120
1.1. Les SIG au service de l'accessibilité piédestre	121
1.2. Les SIG et les mesures de walkability	123
1.3. Fonctions des SIG utiles à l'analyse de la marche urbaine	126
2. Construction d'un réseau piédestre à l'aide d'un SIG	130
2.1. Modélisation d'un réseau piédestre selon la théorie des graphes	130
2.2. Des problématiques de digitalisation adaptées aux spécificités d'un réseau piédestre	133
3. Attribution au réseau piédestre d'informations relatives à la marche	147
3.1. Typologie des voies piédestres urbaines : des informations génériques	147
3.2. Un audit urbain pour compléter la base de données en fonction du terrain	153
Chapitre V. Configuration d'un SIG piéton selon l'interrelation usagers-environnement	161
1. Intégration de variables interindividuelles au SIG	162
1.1. Profils de vitesses et consommations énergétiques nécessaires à la marche	163
1.2. Restrictions d'un réseau piédestre générique selon des variables interindividuelles	168
2. Intégration de variables individuelles au SIG	169
2.1. Evaluation de la capacité de mobilité piédestre d'une personne au quotidien	170
2.2. Principes de restrictions individualisées : calcul des plus courts chemins avec des poids multicritères dans un système d'information géographique	177
3. Intégration de réactions individuelles quant à l'interrelation usagers-environnement	179
3.1. Spécification de comportements piétons dans un territoire et retour sur le modèle de déplacement piéton	180
3.2. Saisir les pratiques piétonnes spécifiques à un milieu urbain	186
Chapitre VI. Evaluation de la capacité d'un réseau piédestre à favoriser la marche	191
1. Evaluation des conditions d'accès au réseau piédestre et interrelations usagers-environnement	192
1.1. Identification de coupures urbaines et d'inégalités d'accès selon les usagers	192
1.2. Evaluation de la capacité de l'espace à accueillir une grande diversité d'usagers piétons	197
2. Evaluation de la qualité du réseau et du design urbain	203
2.1. Fonctionnalité et intérêt du réseau piédestre	203
2.2. Evaluation de la qualité environnementale et paysagère perçue	209
3. Création d'un outil de diagnostic de la capacité d'un espace à proposer équitablement des configurations favorables à la marche pour une grande diversité d'usagers piétons	215
3.1. Un indice synthétique et inclusif de walkability	215

3.2. Score d'inclusion : capacité de l'espace à être équitablement favorable à la marche selon les usagers piétons	218
Fin de la deuxième partie	221
Troisième partie : VILLE DE LUXEMBOURG : DES DEPLACEMENTS	
PIETONS FAVORABLES A TOUS ?.....	225
Chapitre VII. Pratique piétonne : témoignages d'usagers utilisant quotidiennement les voies pédestres de Luxembourg-Ville	231
1. Comportements de mobilité pédestre et représentation collective à Luxembourg-Ville	232
1.1. Profils des usagers piétons enquêtés.....	233
1.2. Comportement de mobilité pédestre	235
2. Stratégie de déplacements pédestres et choix d'itinéraires	239
2.1. Des contraintes contextuelles déterminant les choix d'itinéraires	240
2.2. Sensibilité à la qualité de l'environnement dans des situations non-contraintes	250
Chapitre VIII. Accessibilité piétonne dans la ville de Luxembourg : un mode de déplacement ouvert à tous ?.....	259
1. Présence de coupures urbaines et effets sur l'accessibilité globale piétonne	260
1.1. Coupures urbaines sur le territoire de la ville de Luxembourg	261
1.2. Accessibilité au réseau pédestre	267
1.3. Accessibilité au réseau pédestre selon les usagers piétons.....	271
2. Révéler des obstacles potentiels à la marche et leurs influences sur l'accessibilité : réalisation d'un audit urbain	275
2.1. Spécificités de l'environnement urbain dans le centre-ville et potentiels obstacles à la marche	275
2.2. Voies publiques favorables ou défavorables à l'accessibilité piétonne en fonction d'une grande diversité d'usagers	277
2.3. Marcher en ville avec des contraintes ponctuelles : parcours selon des variables interindividuelles.....	280
Chapitre IX. La ville pas à pas. Diagnostics de la capacité des espaces publics à favoriser la marche	287
1. Capacités d'un milieu urbain à favoriser la marche dans trois aires de déplacements différentes	288
1.1. Accessibilité et présence d'obstacles dans des aires de déplacement dans trois quartiers selon une variable interindividuelle	290
1.2. Fonctionnalité et intérêt des lieux dans des aires de déplacement dans trois quartiers selon une variable interindividuelle	295
1.3. Qualité environnementale et paysagère dans des aires de déplacement dans trois quartiers selon une variable interindividuelle	301
2. Capacités d'un milieu urbain à favoriser la marche pour une grande diversité d'usagers.....	308
2.1. Accessibilité et fonctionnalité du réseau pédestre pour une grande diversité d'usagers	309
2.2. Favoriser la marche selon le contexte de déplacement pour une grande diversité d'usagers piétons	313

Chapitre X. Restitution et perspectives de recherche : solutionner les limites à la modélisation de la relation usagers-environnement à l'aide d'un SIG	319
1. Les acteurs et leurs besoins	321
2. Les cas d'utilisations et les scénarii	324
Fin de la troisième partie	333
CONCLUSION GENERALE	339
BIBLIOGRAPHIE.....	347
Table des matières	377
Table des illustrations.....	381
ANNEXES.....	385

Table des illustrations

Première partie :

<i>Figure 1 : Conceptualisation de la marche en milieu intra-urbain</i>	<i>35</i>
---	-----------

Chapitre I :

<i>Tableau I-1 : Evolution des parts modales de déplacements en semaine en France</i>	<i>40</i>
---	-----------

<i>Tableau I-2 : Formes de la marche contemporaine</i>	<i>45</i>
--	-----------

<i>Tableau I-3 : Modes de déplacement utilisés pour effectuer des trajets de courtes distances ...</i>	<i>47</i>
--	-----------

Chapitre II :

<i>Figure II-1 : Part modale de la marche par sexe et par âge en France</i>	<i>59</i>
---	-----------

<i>Tableau II-2 : Postures et aides au déplacement piéton en fonction des usagers.....</i>	<i>73</i>
--	-----------

<i>Tableau II-3 : Sélection de statures moyennes suivant la posture adoptée par les usagers piétons</i>	<i>74</i>
---	-----------

<i>Tableau II-4 : Sélection de largeurs moyennes suivant l'aide au déplacement utilisé par un usager piéton</i>	<i>75</i>
---	-----------

<i>Tableau II-5 : Interprétation de l'indice de masse corporelle (IMC)</i>	<i>77</i>
--	-----------

Chapitre III :

<i>Figure III-1 : Mesurer objectivement des qualités a priori subjectives.....</i>	<i>88</i>
--	-----------

<i>Figure III-2 : Chemins piétonniers au cœur de la ville tridiastatique</i>	<i>91</i>
--	-----------

<i>Tableau III-3: Nuisances potentielles en milieu urbain et leurs conséquences sur la marche ..</i>	<i>93</i>
--	-----------

<i>Tableau III-4 : Lois sur l'accessibilité dans six pays de l'Union Européenne</i>	<i>99</i>
---	-----------

<i>Tableau III-5 : Normes d'accessibilité de la voirie et des espaces publics.....</i>	<i>101</i>
--	------------

<i>Tableau III-6 : Conflit d'usage potentiel en fonction des propriétés de l'environnement</i>	<i>103</i>
---	------------

Deuxième partie :

<i>Figure 1-2 : Eléments de l'interrelation usagers-environnement sélectionnés pour la création du modèle de déplacements piétons</i>	<i>110</i>
---	------------

<i>Figure 2-1 : Modéliser les déplacements piétons via un SIG</i>	<i>116</i>
---	------------

Chapitre IV :

<i>Figure IV-1 : Construction d'un système d'information géographique pédestre</i>	<i>120</i>
--	------------

<i>Tableau IV-1 : Fonctions des SIG considérées utiles à l'analyse de la marche.....</i>	<i>128</i>
--	------------

<i>Figure IV-2 : Modélisations d'un réseau pour la marche.....</i>	<i>132</i>
--	------------

<i>Figure IV-3 : Digitalisation d'un réseau pédestre vecteur</i>	<i>134</i>
--	------------

<i>Figure IV-4 : Traversée informelle</i>	<i>135</i>
---	------------

<i>Figure IV-5 : Cartes axiales selon les théories de la syntaxe spatiale</i>	<i>138</i>
---	------------

<i>Figure IV-6 : Les « isovists pédestres »</i>	<i>140</i>
---	------------

<i>Figure IV-7 : Digitalisation d'une place à l'aide d'isovists.....</i>	<i>142</i>
--	------------

<i>Figure IV-8 : Topographie intégrée au réseau pédestre</i>	<i>145</i>
--	------------

<i>Tableau IV-2 : Dénivellation tolérée en fonction de la pente et de la distance à parcourir en milieu urbain.....</i>	<i>146</i>
---	------------

Table des illustrations

Tableau IV-3: Typologie de voies selon la présence d'infrastructures de transport.....	149
Figure IV-9 : Définition théorique d'un trottoir	150
Figure IV-10 : Définition théorique des chemins	151
Figure IV-11 : Définition théorique de la chaussée mixte	152
Figure IV-12 : Grille de collecte de données de l'audit urbain PAW	155
Figure IV-13 : Extrait du protocole d'enquête : qualification de la texture des tronçons	157

Chapitre V :

Figure V-1 : Construction d'un Système d'Information Géographique piéton selon les interrelations Usagers-Environnement	162
Figure V-2 : Profils de vitesses selon différentes variables interindividuelles	164
Figure V-3 : Profils d'énergie nécessaire à la marche selon le sexe	166
Tableau V-1 : Coefficients représentant un poids de restriction équivalent à un surcoût sur le tronçon	168
Tableau V-2 : Profils de restrictions au réseau pédestre selon des variables interindividuelles	169
Figure V-4 : Extrait du questionnaire MoCaPA : Qualifier la capacité motrice d'un piéton et l'utilisation d'une aide au déplacement	171
Tableau V-3 : Evaluation personnelle de limites au déplacement et niveaux de restrictions dans le SIG.....	172
Figure V-5 : Extrait du questionnaire MoCaPA : Evaluer un état de santé physique et son influence sur la mobilité pédestre	174
Tableau V-4 : Niveaux d'influence de la santé physique sur la vie quotidienne	176
Figure V-6 : Extrait du questionnaire MoCaPA : Informations complémentaires	176
Tableau V-5 : Profils de restrictions potentielles avec l'utilisation d'une aide au déplacement de type fauteuil roulant ou déambulateur	178
Figure V-7 : Modification du questionnaire MoCaPa pour les besoins de l'enquête PAWLux	181
Figure V-8 : Parcours accompagnés urbain.....	183
Figure V-9 : Grille d'observations lors d'un parcours accompagné.....	184
Tableau V-6 : Analyse des conditions et des manières de marcher en ville	187

Chapitre VI :

Figure VI-1 : Définition de point de référence pour mesurer l'accessibilité globale du réseau pédestre.....	195
Figure VI-2 : Matrice d'adjacence et mesure du réseau	196
Figure VI-3 : Mesurer la capacité du réseau à être accessible à tous les usagers piétons	199
Figure VI-4 : Identifier des obstacles potentiels aux déplacements piétons : exemple pour un utilisateur de fauteuil roulant	201
Figure VI-5 : Mesurer le potentiel d'accessibilité d'une aire de déplacement	202
Tableau VI-1 : Fréquence de visite d'aménités en milieu urbain	205
Tableau VI-2 : Pondérations par fréquence de visite d'aménités	205
Figure VI-6 : Mesurer l'utilité d'un espace par la proximité aux aménités	206
Figure VI-7 : Répartition théorique de l'occupation du sol pour quatre aires différentes	208
Figure VI-8 : Mesurer la qualité environnementale et paysagère par la présence de végétation	211
Tableau VI-3 : Pondérations selon la densité de végétation.....	211

Table des illustrations

Tableau VI-4 : <i>Eléments de l'environnement influençant la perception de la qualité du design urbain</i>	213
Figure VI-9 : <i>Mesure des aires de déplacement pour chaque indicateur de walkability</i>	216
Tableau VI-5 : <i>Estimer la capacité d'un espace à proposer des configurations favorables à la marche</i>	217
Figure VI-10 : <i>Mesurer la capacité d'un territoire à proposer une qualité équitable de configurations spatiales favorables à la marche à une grande diversité d'usagers piétons</i>	218
Figure VI-11 : <i>Création d'un outil d'aide à la décision</i>	223

Troisième partie :

Chapitre VII :

Tableau VII-1 : <i>Caractéristiques des participants de l'enquête Pawlux</i>	234
Figure VII-1 : <i>Influence des éléments de l'environnement sur la perception de la qualité du design urbain d'après les enquêtés</i>	255
Figure VII-2 : <i>Pondération des indicateurs de l'indice synthétique de walkability selon l'état de santé et le contexte de déplacement</i>	256

Chapitre VIII :

Figure VIII-1 : <i>Topographie de la ville de Luxembourg</i>	262
Figure VIII-2 : <i>Coupures urbaines conséquentes aux infrastructures de transports routiers et ferroviaires</i>	264
Figure VIII-3 : <i>Les espaces pédestres et la présence de véhicules motorisés dans les 24 quartiers de la ville de Luxembourg</i>	266
Figure VIII-4 : <i>Effets de coupures urbaines sur les temps moyens d'accès au réseau pédestre principal</i>	268
Figure VIII-5 : <i>Effets de coupures urbaines sur les consommations énergétiques moyennes nécessaires pour accéder au réseau pédestre principal</i>	270
Figure VIII-6 : <i>Comparaison de temps moyens d'accès global à la ville de Luxembourg en fonction de variables interindividuelles</i>	272
Tableau VIII-1 : <i>Comparaison réseau pédestre entier et réseau accessible depuis divers nœuds d'échanges intermodaux (arrêt de bus, parking public et station Vel'oh !)</i>	274
Figure VIII-7 : <i>Éléments et propriétés pouvant potentiellement restreindre la marche dans le centre-ville de Luxembourg</i>	276
Figure VIII-8 : <i>Qualification des espaces pour l'ensemble des usagers piétons à Luxembourg-Ville</i>	278
Figure VIII-9 : <i>Itinéraires piétons préconisés pour un utilisateur de fauteuil roulant</i>	281
Figure VIII-10 : <i>Itinéraires piétons préconisés pour un individu atteint d'hémiplégie</i>	282
Figure VIII-11 : <i>Itinéraires alternatifs pour un individu atteint d'hémiplégie et /ou un utilisateur de fauteuil roulant en cas de panne d'ascenseur urbain</i>	283

Chapitre IX :

Tableau IX-1 : <i>Evaluation de trois quartiers de Luxembourg-Ville pour une grande diversité d'usagers à travers des Indices Synthétiques de Walkability</i>	288
Tableau IX-2 : <i>Configurations favorables à la marche dans trois quartiers pour un individu atteint d'hémiplégie</i>	289

Table des illustrations

<i>Figure IX-1 : Obstacles aux déplacements pédestres dans l'hypercentre de la ville de Luxembourg pour un individu atteint d'hémiplégie</i>	<i>291</i>
<i>Figure IX-2 : Obstacles aux déplacements pédestres autour de la Gare centrale de la ville de Luxembourg pour un individu atteint d'hémiplégie</i>	<i>293</i>
<i>Figure IX-3 : Obstacles aux déplacements pédestres en fonds de vallées dans la ville de Luxembourg pour un individu atteint d'hémiplégie</i>	<i>294</i>
<i>Figure IX-4 : Répartition et diversité de l'occupation du sol dans trois aires de déplacement de 6 minutes pour un individu atteint d'hémiplégie.....</i>	<i>295</i>
<i>Figure IX-5 : Aménités accessibles dans une aire de déplacement de 6 minutes à partir de l'office de tourisme pour un individu atteint d'hémiplégie.....</i>	<i>297</i>
<i>Figure IX-6 : Aménités accessibles dans une aire de déplacement de 6 minutes à partir de l'entrée principale de la gare pour un individu atteint d'hémiplégie</i>	<i>298</i>
<i>Figure IX-7 : Aménités accessibles dans une aire de déplacement de 6 minutes à partir du parking du parc de la Pétrusse pour un individu atteint d'hémiplégie.....</i>	<i>300</i>
<i>Figure IX-8 : Présence de végétation dans trois aires de déplacement calculées pour un individu atteint d'hémiplégie</i>	<i>302</i>
<i>Figure IX-9 : Qualité du design urbain dans une aire de déplacement de 6 minutes à partir de l'office de tourisme pour un individu atteint d'hémiplégie.....</i>	<i>303</i>
<i>Figure IX-10 : Qualité du design urbain dans une aire déplacement de 6 minutes à partir de l'entrée principale de la Gare centrale pour un individu atteint d'hémiplégie</i>	<i>304</i>
<i>Figure IX-11 : Qualité du design urbain dans une aire de déplacement de 6 minutes à partir du parking du parc de la Pétrusse pour un individu atteint d'hémiplégie.....</i>	<i>306</i>
<i>Tableau IX-3 : Capacités d'aires de déplacement à proposer une qualité de marche équivalente dans trois quartiers pour une grande diversité d'usagers piétons à travers un score d'inclusion</i>	<i>309</i>
<i>Figure IX-12 : Obstacles aux déplacements pédestres dans l'hyper-centre de la ville de Luxembourg pour un utilisateur de fauteuil roulant et un individu atteint d'hémiplégie....</i>	<i>310</i>
<i>Figure IX-13 : Aménités les plus proches de l'office de tourisme sélectionnées selon leurs domaines d'activité pour trois variables interindividuelles</i>	<i>312</i>
<i>Figure IX-14 : Présence de végétation dans trois aires de déplacement calculées pour trois variables interindividuelles</i>	<i>314</i>
<i>Figure IX-15 : Qualité du design urbain selon trois variables inter-individuelles.....</i>	<i>315</i>

Chapitre X :

<i>Figure X-1 : Page d'accueil de l'outil d'aide à la décision PAWapp-Lux (Pedestrian Accessibility and Walkability applied in Luxembourg-city).....</i>	<i>320</i>
<i>Figure X-2 : Interfaces et rôle des acteurs pour les différents modes</i>	<i>322</i>
<i>Figure X-3 : Cas d'utilisation de l'outil PAWapp-Lux.....</i>	<i>324</i>
<i>Figure X-4 : Session pour « Définir mes préférences » d'un répondant sans problème de motricité.....</i>	<i>327</i>
<i>Figure X-5 : Signaler un problème dans le « Coin citoyen »</i>	<i>329</i>

ANNEXES

Table des annexes

Table des annexes	387
Table des illustrations	387
Annexe I. Lois sur l'accessibilité : France, Luxembourg, Allemagne, Espagne, Royaume-Uni, Belgique.....	389
Annexe II. Base de données de PAWLux.....	391
Annexe III. Méthodologie de conversion des espaces ouverts en réseau pédestre : cas particuliers lorsque deux <i>isovists</i> créés à partir des entrées ne se croisent pas..	399
Annexe IV. Méthodologie de conversion des espaces ouverts en réseau pédestre : cas particuliers lorsque plusieurs obstacles obstruent l'aire visuelle.....	405
Annexe V. Questionnaire MoCaPA (Mobility's Capacity of a Person Assessment) : Evaluation de la capacité de mobilité d'une personne.....	411
Annexe VI. Questionnaire de l'enquête usagers du projet PAWLux (<i>Pedestrian Accessibility and Wayfinding in Luxembourg-city</i>)	417
Annexe VII. Guide d'entretien semi-directif d'enquête usagers	425
Annexe VIII. Profils de restrictions potentielles pour une personne atteinte d'hémiplégie.....	429

Table des illustrations

Tableau II-1 : Attributs de PAWLux – Paramètres pour le fonctionnement de Network Analyst	392
Tableau II-2 : Estimations de vitesses selon différentes variables interindividuelles	393
Tableau II-3 : Estimations de l'énergie nécessaire à la marche selon le sexe.....	394
Tableau II-4 : Typologie de voirie	395
Tableau II-5 : Attributs de PAWLux – Propriétés et aménagements sur les tronçons	396
Tableau II-6 : Attributs de PAWLux – Intersections et aménagements urbains.....	397
Tableau II-7 : Attributs de PAWLux – Aménités	398
Figure III-1 : Cas particulier d' <i>isovists</i> ne se croisant pas	401
Figure III-2 : Cas particulier d' <i>isovists</i> ne se croisant pas	403
Figure IV-1 : Cas particulier avec plusieurs obstacles dans l'aire de déplacement	407
Figure IV-2 : Cas particulier avec plusieurs obstacles dans l'aire de déplacement	409

Annexe I. Lois sur l'accessibilité : France, Luxembourg, Allemagne, Espagne, Royaume-Uni, Belgique

En France, la loi n° 2005-102 du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées vise à instaurer des plans de déplacement urbains à l'échelle des communes. « La chaîne du déplacement, qui comprend le cadre bâti, la voirie, les aménagements des espaces publics, les systèmes de transport et leur intermodalité, est organisée pour permettre son accessibilité dans sa totalité aux personnes handicapées ou à mobilité réduite. Dans un délai de dix ans à compter de la date de publication de la présente loi, les services de transport collectif devront être accessibles aux personnes handicapées et à mobilité réduite. [...] Un plan de mise en accessibilité de la voirie et des aménagements des espaces publics est établi dans chaque commune à l'initiative du maire ou, le cas échéant, du président de l'établissement public de coopération intercommunale. Ce plan fixe notamment les dispositions susceptibles de rendre accessible aux personnes handicapées et à mobilité réduite l'ensemble des circulations piétonnes et des aires de stationnement d'automobiles situées sur le territoire de la commune ou de l'établissement public de coopération intercommunale. Ce plan de mise en accessibilité fait partie intégrante du plan de déplacements urbains quand il existe » – article 45. Cette loi a finalement dû être abrogée par ordonnance le 28 octobre 2010, afin de reporter à nouveau de dix ans son application complète – n° 2010-1307- art. 7.

Au Luxembourg, la loi du 29 mars 2001 portant sur l'accessibilité des lieux ouverts au public met en place des labels d'accessibilité certifiant les lieux conformes. Une « autorisation de construire ou de rénover un immeuble, une installation ou un espace public, appelé dans la suite « lieu ouvert au public », n'est accordée par l'autorité compétente qu'à condition que le projet de construction respecte les exigences techniques dites d'accessibilité. Ces exigences sont arrêtées par règlement grand-ducal. Elles visent à supprimer les barrières urbanistiques et architectoniques de l'espace physique et à garantir ainsi l'accès à l'ensemble des citoyens. Les lieux reconnus accessibles donc respectant les exigences d'accessibilité sont certifiés conformes moyennant des labels à remettre par l'organisme chargé de la surveillance de l'application des exigences d'accessibilité. Ces labels permettent de distinguer de façon claire et nette les lieux reconnus accessibles. Ils doivent être affichés en quelque lieu bien visible et ont fonction d'une attestation officielle » – Article 1.

En Allemagne, la loi fédérale sur l'égalité des personnes handicapées^{LXII} du 15 novembre 1994 et les lois correspondantes au niveau régional dans la plupart des

^{LXII} En version originale : *Behindertengleichstellungsgesetz* (BGG)

länder ont pour vue d'abolir les barrières, c'est-à-dire ce qui dans l'environnement des personnes handicapées constitue pour elles des obstacles à l'accessibilité dans des situations concrètes [Igl, 2005 : p. 129]. Cette loi fédérale tient compte de l'évolution du concept de handicap : les personnes handicapées doivent ainsi pouvoir participer à la vie sociale comme tout le monde et elles ne doivent pas être réduites à l'assistance que la société peut leur fournir. Le principe d'absence d'obstacles constitue l'élément central de la loi. Ce principe ne se conçoit pas seulement au sens d'une élimination des obstacles physiques pour les personnes en fauteuil roulant et les personnes restreintes dans leur faculté de marcher mais aussi aux personnes handicapées sensorielles.

En Espagne, le décret royal de 2007 approuvant les conditions de base d'accessibilité et de non-discrimination des personnes handicapées pour accéder et utiliser les espaces urbains publics et les bâtiments^{LXIII} ne tient pas compte non plus de l'intermodalité et se concentre sur les espaces piétons et leurs capacités à favoriser la circulation de ses usagers sans discrimination. Le décret porte ainsi sur l'accessibilité et la sécurité des piétons ; la qualité et la lisibilité des aménagements urbains (revêtement, couleur, texture, signalétique), du mobilier urbain (banc, lampadaire, statue) et leurs emplacements – articles 9 à 19.

Au Royaume-Uni (sauf Irlande du Nord), les droits handicapés en matière d'accessibilité sont abordés par la discrimination qu'ils engendrent aux personnes qui « ont » ou qui « ont eu » une invalidité. L'Equality Act 2010 remplace ainsi le Disability Discrimination Act (DDA) de 1995 et 2005 qui insistait sur l'accès aux biens, aux équipements et services, y compris les transports en commun. Les modifications comprennent de nouvelles dispositions directes sur la discrimination, la discrimination face à l'invalidité et le harcèlement.

Dernier exemple, bien que signataire, il n'existe pas, à ce jour en Belgique, de loi homogène formalisant l'accessibilité handicapée entre les régions wallonne, de Bruxelles-Capitale et flamande. L'arrêté du gouvernement wallon du 25 janvier 2001 dans le Code Wallon de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme et du Patrimoine (CWATUP) garantit la bonne pratique des chemins piétonniers accessibles à tous jusqu'à l'accès aux et dans les bâtiments – articles 414 et 415. Le Règlement Régional d'Urbanisme (RRU) de la Région de Bruxelles-Capitale du 21 novembre 2006 garantit le parcours piéton, y compris l'intermodalité et l'accès aux bâtiments – titres VI et IV. Et enfin, en Flandres, le décret du 1^{er} mars 2010 ne traite pas directement les chemins piétonniers mais vise à améliorer l'accès aux bâtiments publics, aux parkings et extérieurs et requiert un organisme expert en accessibilité pour émettre un avis de conformité.

^{LXIII} En version originale : Real Decreto 505/2007 por el que se aprueban las condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad para el acceso y utilización de los espacios públicos urbanizados y edificaciones

Annexe II. Base de données de PAWLux

Afin de proposer un modèle d'accessibilité pour tous, la base de données décrite ici est composée d'un ensemble d'éléments de l'environnement pouvant impacter la marche. Une zone test, en centre-ville, délimitée lors d'un audit urbain réalisé en 2013-2014, permet d'observer les capacités de ce type de base de données. Initialement extraits de la base de données Topo-Carto du Grand Duché de Luxembourg 2001 (administration cadastrale) et de la Ville de Luxembourg, les *shapes* représentant le réseau ont été adaptés et complétés entre 2010 et 2014 de manière à former un réseau pédestre. Aucune donnée collectée n'est restée en l'état. Les données ont été projetées en *Luxembourg 1930 gauss*.

Pour faciliter la constitution d'un réseau dans *network analyst* dans ArcGIS, les données ont été rassemblées dans une *file geodatabase* et pour le réseau lui-même dans une *feature class*. La *feature class* est composé de deux *shapes* séparant les espaces dédiés, d'un côté et les espaces en site-propre et de rencontre, de l'autre. Au plus complet, chacun des *shapes* est composé de plusieurs attributs. Les données Z intégrées proviennent d'un modèle numérique de terrain créé à partir de données altimétriques de la base de données Topo-Carto du Grand Duché de Luxembourg 2001.

Tableau II-1 : *Attributs de PAWLux – Paramètres pour le fonctionnement de Network Analyst*

	Nom champs	Définitions	Sources
Paramètres <i>network analyst</i>	Meters	Distance réelle du tronçon, Ascenseur vaut 1 m par défaut, Longueur escalier estimée : $0,25 \times \text{Nmarches} + 1,4 \times \text{Npaliers}$ où 0,25 m correspond à la profondeur standard d'une marche d'escalier et 1,4 m la profondeur standard d'un palier de repos	Pawlux 2.0, LISER
	Ft_minutes	Temps de traversée d'un tronçon en minutes en fonction du % moyen de pente du tronçon et de l'attente de traversée si nécessaire $T = ([\text{Len_Up}]/V_{\text{up}}) + ([\text{Len_Down}]/V_{\text{down}})$ où V la distance en mètres parcourus en 60 min en fonction du % de pente. Feu piéton = $T + 58 \text{ sec}$, Bouton appel = $T + 40 \text{ sec}$	Pawlux 2.0, LISER
	Tf_minutes		
	F_zlev	Indicateur position du tronçon par rapport aux autres -1 = dessous ; 0 = surface ; 1 = dessus	Pawlux 2.0, LISER
	T_zlev		
	Roadclass	Typologie de voirie	Pawlux 2.0, LISER
	Na_Roadclass		
	Hierarchy	Création d'une hiérarchie heuristique entre des classes de voirie (jusqu'à 3)	Pawlux 2.0, LISER
	Slope	Pente moyenne par tronçon en % $\text{Tan} \left(\frac{([Av_S_Up] * [\text{Len_Up}] + [Av_S_Down] * [\text{Len_Down}])}{([\text{Length_3D}])} * 3,14 \right) / 180$	Pawlux 2.0, LISER
	Name	Nom des rues	Audit PAW 2014-15, LISER

Source : d'après VICTOR Nadja, 2014. Guide de la base de données de Pawlux, LISER

Auteur : Victor N., 2015

Tableau II-2 : *Estimations de vitesses selon différentes variables interindividuelles*

	Vitesse (m/min)					
	18-65 ans		65 ans et +		Fauteuil roulant	Hémiplégie (cane, béquille)
	Homme	Femme	Homme	Femme	Mixte	Mixte
Montée de pente						
[0-5] % ou [0-3]°	93	88	78	72	83	46
[5-10] % ou [3-6]°	95	90	80	73	55	46
[10-16] % ou [6-9]°	92	87	77	70	32	-
[16-21] % ou [9-12]°	93	88	78	72	-	-
[21 et +] % ou [12 et +]°	87	82	73	67	-	-
Descente de pente						
[0-5] % ou [0-3]°	93	88	78	72	83	46
[5-10] % ou [3-6]°	92	87	77	70	33	42
[10-16] % ou [6-9]°	95	90	80	73	30	-
[16-21] % ou [9-12]°	92	87	77	70	-	-
[21 et +] % ou [12 et +]°	82	77	68	62	-	-
Montée d'escalier (min/marche)						
30,5°	0,0071	0,0073	0,0081	0,0072	-	0,015
6 marches	0,04	0,04	0,05	0,04	-	0,09
12 marches	0,09	0,09	0,1	0,09	-	0,18
25 marches	0,18	0,18	0,2	0,18	-	0,38
Descente d'escalier (min/marche)						
30,5°	0,0067	0,006	0,0069	0,0069	-	0,0142
6 marches	0,04	0,04	0,04	0,04	-	0,09
12 marches	0,08	0,07	0,08	0,08	-	0,17
25 marches	0,17	0,15	0,17	0,17	-	0,35
Feu tricolore						
minute	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
mètre	91	86	76	70	81	45
Bouton d'appel						
minute	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
mètre	63	59	52	48	56	31
Ascenseur						
minute	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
mètre	66	63	55	51	59	33
Auteur : Victor N., 2016						

Tableau II-3 : *Estimations de l'énergie nécessaire à la marche selon le sexe*

	Consommation énergétique (J/m)	
	18-65 ans	
	Homme (moyenne 175 cm, 70 kg)	Femme (moyenne 165 cm, 60 kg)
Montée de pente		
[0-5] % ou [0-3]°	197,4	181,2
[5-10] % ou [3-6]°	561,38	515,37
[10-16] % ou [6-9]°	863,51	792,97
[16-21] % ou [9-12]°	967,96	888,72
[21 et +] % ou [12 et +]°	1354,08	1242,79
Descente de pente		
[0-5] % ou [0-3]°	197,4	181,2
[5-10] % ou [3-6]°	297,02	272,46
[10-16] % ou [6-9]°	261,61	240,33
[16-21] % ou [9-12]°	238,01	218,4
[21 et +] % ou [12 et +]°	261,61	240,33
Montée d'escalier (J/marche)		
30,5°	502	377
6 marches	3014	2261
12 marches	6029	4522
25 marches	12560	9420
Descente d'escalier (J/marche)		
30,5°	209	209
6 marches	1256	1256
12 marches	2512	2512
25 marches	5234	5234
Feu tricolore		
minute	0,97	0,97
mètre	191,478	175,764
Bouton d'appel		
minute	0,67	0,67
mètre	132,258	121,404
Ascenseur		
minute	0,71	0,71
mètre	139,825	128,35
Auteur : Victor N., 2016		

Tableau II-4 : *Typologie de voirie*

ID	Type de voies	Catégorie de voies
1	Trottoir	en site propre
2	Passage piéton	en site propre
3	Traversée informelle	en site propre
4	Allée	dédiées
5	Chemin	dédiées
6	Sentier	dédiées
7	Accotement	en site propre
8	Rue piétonne	dédiées
9	Place	dédiées
10	Pelouse	dédiées
11	Parking	en site propre
12	Traverse	dédiées
13	Escalier	dédiées
14	Ascenseur	dédiées
15	Pont	en site propre
16	Passerelle	dédiées
17	Chaussée mixte	de rencontre

Source : d'après VICTOR Nadja, 2014. Guide de la Base de données de Pawlux, LISER | Auteur : Victor N., 2015

Tableau II-5 : *Attributs de PAWLux – Propriétés et aménagements sur les tronçons*

	Nom champs	Définitions	Sources
Propriétés et états du segment	Largeur	Largeur d'un tronçon 1 = plus de 1,5m ; 2 = entre 1,5 et 0,9m ; 3 = entre 0,9 et 0,7m ; 4 = moins de 0,7m	Audit PAW, 2014-15, LISER
	Hauteur	Hauteur à franchir sur le tronçon, 1 = moins de 3 cm ; 2 = entre 3 et 16 cm ; 3 = plus de 16 cm	
	Revêtement	Typologie de revêtement de la voirie	
	Elasticité	Au sol, 1 = compact et 2 = meuble	
	Granulométrie	Au sol, 1 = lisse/polé et 2 = granuleux/rugueux	
	Irrégularité	Au sol, 1 = rainuré/bosselé ; 2 = fissuré/troué ; 4 = mauvais état (bosselé et troué) ; 5 = disjoint	
	Propreté	Entretien du tronçon (déchet, déjection, graffiti), 1 = bien entretenu ; 2 = mal entretenu	
	Pente	Pente ressentie par l'enquêteur à l'échelle du segment, 1 = plate ou douce ; 2 = modérée ; 3 = forte	
	Dévers	Dévers ressenti par l'enquêteur à l'échelle du segment, 1 = plat ou doux ; 2 = modéré ; 3 = fort	
	Forme	Forme au sol, 1 = convexe ; 2 = concave	
	Nb_marche	Nombre de marches dans un escalier	
	Nb_pal_rep	Nombre de paliers de repos dans un escalier	
	Nb_etag	Nombre d'étages	
Aménagements Handicapés	Handi	Aménagements handicapés divers, 1 = conforme ; 2 = non conforme	Audit PAW, 2014-15, LISER
	Pal_P_1_4	Palier avec une profondeur de moins de 1,4 m	
	Pal_L_1_5	Palier avec une largeur de moins de 1,5 m	
	Bateau	Abaissement du trottoir pour traverser la chaussée	
	Bateau_L_2	Largeur de moins de 2 m	
	Ramp_simpl	Rampe fixée au mur d'un seul côté	
	Ramp_doubl	Rampes fixées au mur sur les deux côtés	
	Rep_pod	Repère podotactile au sol	
Source : d'après VICTOR Nadja, 2014. Guide de la base de données de Pawlux, LISER ; normes d'accessibilité selon Grobois [2010]			Auteur : Victor N., 2015

Tableau II-6 : *Attributs de PAWLux – Intersections et aménagements urbains*

	Nom champs	Définitions	Sources
Intersections, trafic et chaussée	Nombre_voies	Nombre de voies sur la chaussée parallèle au segment ou perpendiculaire en cas de traversées	Audit PAW, 2014-15, LISER
	Sens_unique	Sens de la chaussée parallèle au segment ou perpendiculaire en cas de traversées	
	Feu_tricolore	Présence d'un feu tricolore régulant la chaussée	
	Cédez_passage	Présence d'un cédez-le-passager régulant la chaussée	
	Stop	Présence d'un panneau stop régulant la chaussée	
	Ralentisseur	Présence d'un ralentisseur au sol régulant la chaussée	
	Feu_tri_piéton	Présence d'un feu tricolore piéton régulant la traversée de chaussée	
	Bouton_appel	Présence d'un bouton d'appel piéton régulant la traversée de chaussée	
	Limite_vitesse	Vitesse réglementaire pour la circulation sur la chaussée, 1 = zone 20 ; 2 = zone 30 ; 3 = limitation 50 km/h	
	Piste_cyclable	Type et emplacement de pistes cyclables, 1 = bande cyclable (chaussée) ; 2 = piste cyclable (trottoir) ; 3 = voie partagée	
	Zone_tampon	Présence d'une zone tampon entre la chaussée et le segment	
Aménagements urbains	Banc	Présence de bancs sur le segment	Audit PAW, 2014-15, LISER
	Abris_bus	Présence d'abris-bus avec assises sur le segment	
	Poteau_panneau	Présence de poteaux et de panneaux publicitaires sur le segment	
	Lampadaire	Présence de lampadaire sur le segment	
	Poubelle_fixe	Présence de poubelles fixes sur le segment	
	Arbre_buisson	Présence d'arbres et/ou de buissons sur le segment	
	Egout_grille	Présence de plaques d'égout et de grille au sol sur le segment	
	Travaux	Présence de travaux sur le segment	

Source : d'après VICTOR Nadja, 2014. Guide de la Base de données de Pawlux, LISER

Auteur : Victor N., 2016

Tableau II-7 : *Attributs de PAWLux – Aménités*

	Nom champs	Définitions	Sources
Aménités	Restaurant_bar	Présence de restaurants et de bars sur le segment	Audit PAW, 2014-15, LISER
	Terrasse	Présence de terrasses (table/chaise) sur le segment	
	Admin_biblio	Présence de centres administratifs, bibliothèques-médiathèques et autres centre culturels comme les théâtres et cinémas sur le segment	
	Magasin	Présence de magasins (vêtements, objets, etc.) sur le segment	
	Banque	Présence de banques sur le segment	
	Distributeur	Présence de distributeurs bancaires sur le segment	
	Boulang_bouch	Présence de commerces de proximités de types boulangerie, boucheries, primeurs, tabacs-presses	
	Supermarché	Présence de supermarchés sur le segment	
	Soin_clinique	Présence de centres de soin et/ou de cliniques sur le segment	
	Pharmacie	Présence de pharmacies sur le segment	
	Coiffeur_toil	Présence de salons de coiffure et/ou de toiletteurs pour animaux sur le segment	
	Laverie	Présence de laveries automatiques et pressings sur le segment	
	Végétation	Segment végétalisé sous diverses formes (arbre, buisson, plante, espace vert)	
	Espace vert	Présence d'espaces verts et/ou parcs urbain sur ou à proximité du segment	
	Jeux	Présence de jeux pour enfants sur le segment	
	Etab_scolaire	Présence d'établissements scolaires sur le segment	
	Culte	Présence de lieux de culte sur le segment	
	Centre_sportif	Présence de complexes sportifs ou salles de sport sur le segment	
	WC	Présence de WC/toilettes publiques sur le segment	
Source : d'après VICTOR Nadja, 2014. Guide de la base de données de Pawlux, LISER Auteur : Victor N., 2016			

Annexe III. Méthodologie de conversion des espaces ouverts en réseau pédestre : cas particuliers lorsque deux *isovists* créés à partir des entrées ne se croisent pas

Etape 1 (cf. figure 1) :

Si les usagers piétons lorsqu'ils se déplacent tendent à utiliser le chemin le plus linéaire possible, la présence d'obstacles visuels peut les forcer à effectuer des contournements. Puisqu'ils se déplacent *in situ* en utilisant la perception visuelle, une solution possible est de proposer la trajectoire la plus rapide en utilisant les *isovists* pédestres de manière à ce que les usagers obtiennent un visuel de leur destination le plus rapidement possible.

Une ligne droite est tracée pour représenter « le cap » mental que cherche à maintenir l'usager en fonction de la direction qu'il veut atteindre. Elle représente la distance euclidienne entre les entrées-sorties de l'espace ouvert.

ex. Soit la droite D entre les centro-isovists A et B.

Des *isovists* pédestres sont créés pour chaque *centro-isovist* de manière à identifier les points d'intersections entre couple d'*isovists* pédestres.

ex. Soit les isovists pédestres créés à partir des centro-isovists A et B, respectivement nommés A et B.

Etape 2 (cf. figure 1) :

Les deux *centro-isovists* n'étant à aucun moment intervisibles. La solution proposée consiste à créer une étape intermédiaire virtuelle où l'usager recalcule une nouvelle aire de visibilité au cours de sa trajectoire. Cette solution considère que l'usager va s'orienter en fonction de la direction qu'il veut rejoindre (cap) tout en restant dans l'aire visuelle qu'il a identifiée à son arrivée dans l'espace ouvert. En partant du principe qu'un usager ne se réoriente pas en continu, le point de vue suivant est généré lorsque l'usager sort virtuellement du premier *isovist* pédestre. Le point d'intersection entre le périmètre de l'*isovist* pédestre et la droite représentant le cap mental qui est la plus proche du point de départ est donc sélectionné en guise de nouveau *centro-isovist* virtuel intermédiaire.

ex. Soit C1 le point d'intersection entre l'isovist pédestre A et la droite D, le plus proche du centro-isovist A.

Tel quel, le sens dans lequel l'usager piéton se déplace est inévitablement pris en compte. Il s'agit d'une solution assez lourde, au final, puisque pour chaque espace ouvert le réseau pédestre est dédoublé. Pour alléger le réseau, un compromis est

donc fait en imposant une symétrie dans les traversées de place. Pour cela, deux *centro-isovists* intermédiaires sont générés selon la même procédure.

ex. Soit C1 le point d'intersection entre l'isovist pédestre A et la droite D, le plus proche du centro-isovist A.

Soit C2 le point d'intersection entre l'isovist pédestre B et la droite D, le plus proche du centro-isovist B.

Ces deux *centro-isovists* intermédiaires sont alors considérés comme des entrées virtuelles de l'espace ouvert et permettent d'appliquer la procédure classique de calcul d'une trajectoire où les *centro-isovists* sont intervisibles.

Des *isovists* pédestres sont ainsi à nouveau créés pour chaque nouveau *centro-isovist* sélectionné de manière à identifier les points d'intersection entre couples d'*isovists* pédestres.

ex. Soit les isovists pédestres créés à partir des centro-isovists C1 et C2, respectivement nommé C1 et C2

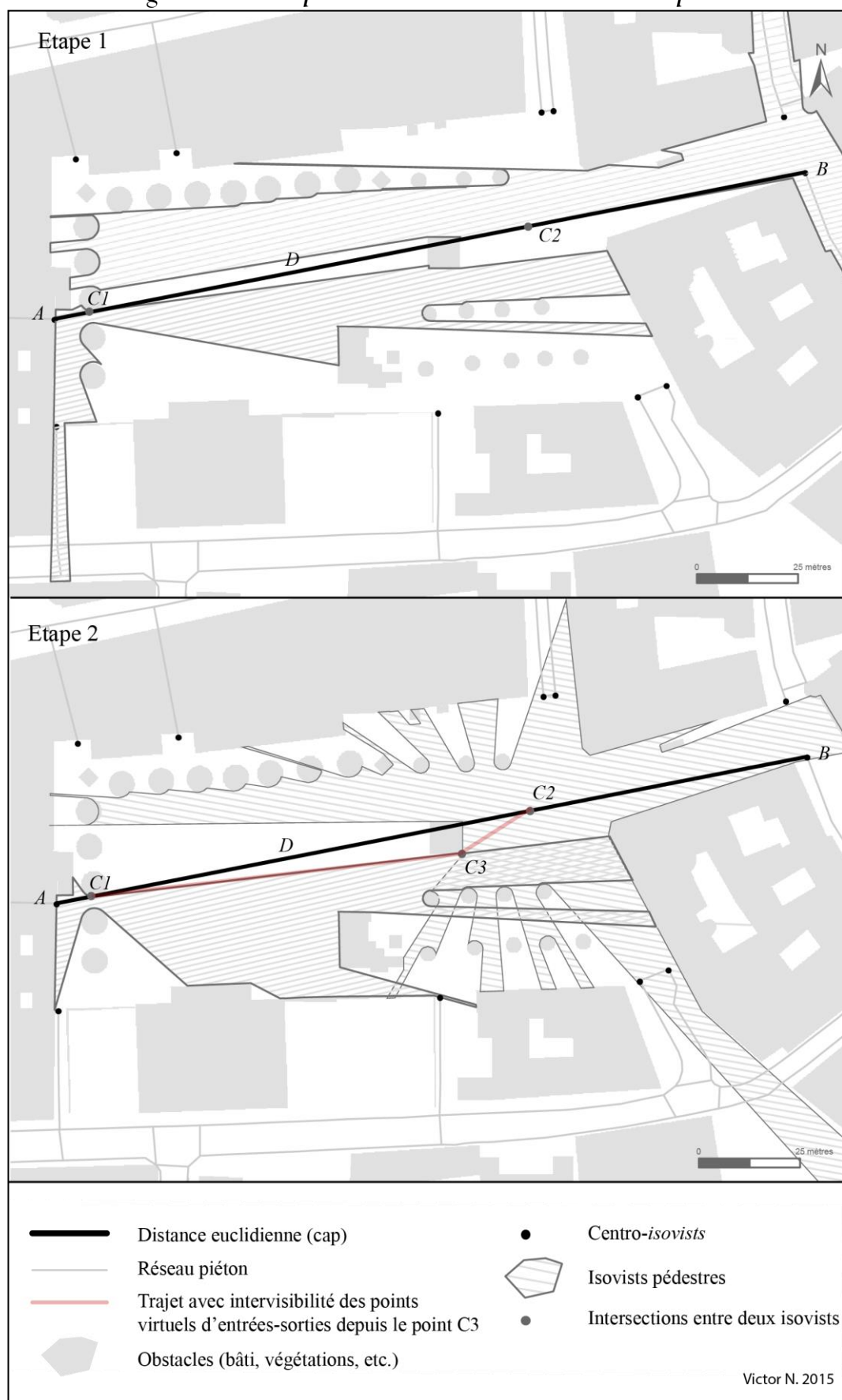
Le point d'intersection entre les deux *isovists* le plus proche de la droite représentant le cap est alors sélectionné.

ex. Soit C3 le point d'intersection des isovists C1 et C2 le plus proche de la droite D.

La polyligne passant par ce point d'intersection garantit ainsi la trajectoire la plus simple où les points virtuels d'entrées-sorties sont intervisibles puisqu'elle ne requiert qu'un virage avec un angle ouvert.

ex. Soit C1C3C2 la polyligne garantissant une intervisibilité entre les point C1 et C2 à partir du point C3.

Figure III-1 : *Cas particulier d'isovists ne se croisant pas*



Etape 3 (cf. figure 2) :

En fonction des *isovists* pédestres formés, ce « trajet avec intervisibilité des points virtuels d'entrées-sorties depuis le point C3 » peut toutefois demander à l'utilisateur piéton un détour relativement important par rapport à la distance euclidienne qu'il se représente spatialement (cap). Un affinement du processus est possible en identifiant une trajectoire qui se situerait entre le « trajet avec intervisibilité des points virtuels d'entrées-sorties depuis le point C3 » et la distance euclidienne (cap). Cette trajectoire proposerait l'itinéraire le plus court entre les deux points d'entrées-sorties de l'espace ouvert où la destination serait visible le plus rapidement possible tout en contournant les obstacles visuels. Cette démarche induit un réseau dédoublé en fonction du sens de la traversée qui peut être relativement lourd. Pour simplifier le réseau pédestre, la solution proposée est de s'appuyer sur le trajet où les *centro-isovists* sont intervisibles dans un premier temps pour déterminer la trajectoire initiale, puis de déterminer un seuil où l'utilisateur se réorientera visuellement *in situ*.

Une aire potentielle de déplacement est donc identifiée à partir de la distance euclidienne (cap) et du « trajet avec intervisibilité des points virtuels d'entrées-sorties depuis le point C3 ».

ex. Soit le triangle C1C3C2.

Les obstacles visuels situés dans l'aire de déplacement potentielle sont ensuite sélectionnés lorsque ces derniers sont intersectés par le « trajet avec intervisibilité des points virtuels d'entrées-sorties depuis le point C3 » de manière à identifier l'endroit où les usagers piétons se réorienteront visuellement *in situ*.

ex. Soit le polygone 1 situé dans le triangle C1C3C2, intersecté par la polyligne C1C3C2.

Etape 4 (cf. figure 2) :

La trajectoire modélisée part ainsi du principe que le piéton va contourner un premier obstacle pour espérer obtenir un visuel de sa destination et s'orienter visuellement *in situ* à ce moment-là.

ex. Soit le sommet E point d'intersection entre le polygone 1 et la polyligne C1C3C2.

La trajectoire modélisée part alors du principe que le piéton va contourner un premier obstacle pour espérer obtenir un visuel de sa destination virtuelle. Si un autre obstacle l'en empêche, il va alors suivre la direction qu'il doit rejoindre tout en intégrant à l'avance le détour nécessaire pour le prochain obstacle de manière à obtenir une trajectoire la plus linéaire avec des angles ouverts. Pour cela, le ou les points d'accroche où la trajectoire est réajustée sont donc identifiés. Si d'autres obstacles se situent dans la zone, une étape intermédiaire est alors ajoutée.

ex. Soit le sommet E du polygone 1 sectionnant les droites C1C3 et C2C3.

Les trajectoires finales contournent ainsi les obstacles de manière linéaire avec des angles ouverts et sont intégrées sous cette forme au réseau pédestre de PAWLux.

ex. Soit la polyligne AC1EC2B.

Figure III-2 : Cas particulier d'isovists ne se croisant pas



Annexe IV. Méthodologie de conversion des espaces ouverts en réseau pédestre : cas particuliers lorsque plusieurs obstacles obstruent l'aire visuelle

Etape 1 (cf. figure 1) :

Si les usagers piétons lorsqu'ils se déplacent tendent à utiliser le chemin le plus linéaire possible, la présence d'obstacles visuels peut les forcer à effectuer des contournements. Puisqu'ils se déplacent *in situ* en utilisant la perception visuelle, une solution possible est de proposer la trajectoire la plus rapide en utilisant les *isovists* pédestres de manière à ce que les usagers obtiennent un visuel de leur destination le plus rapidement possible.

Une ligne droite est tracée pour représenter « le cap » mental que cherche à maintenir l'utilisateur en fonction de la direction qu'il veut atteindre. Elle représente la distance euclidienne entre les entrées-sorties de l'espace ouvert.

ex. Soit la droite D entre les centro-isovists A et B.

Des *isovists* pédestres sont créés pour chaque *centro-isovist* de manière à identifier les points d'intersection entre couple d'*isovists* pédestres.

ex. Soit les isovists pédestres créés à partir des centro-isovists A et B, respectivement nommés A et B.

Pour garantir le trajet se rapprochant le plus de la distance euclidienne, le point d'intersection entre les deux *isovists* pédestres le plus proche de la droite représentant le cap est alors sélectionné.

ex. Soit C1 le point plus proche de la droite D.

La polyligne passant par ce point d'intersection garantit ainsi la trajectoire la plus simple où les points d'entrées-sorties sont intervisibles puisqu'elle ne requiert qu'un virage avec un angle ouvert.

ex. Soit AC1B la polyligne garantissant une intervisibilité entre les points A et B à partir du point C1.

Etape 2 (cf. figure 1) :

En fonction des *isovists* pédestres formés, ce « trajet avec intervisibilité des points d'entrées-sorties depuis le point C1 » peut toutefois demander à l'utilisateur un détour relativement important par rapport à la distance euclidienne qu'ils se représentent spatialement. Un affinement du processus est possible en identifiant une trajectoire qui se situerait entre le « trajet avec intervisibilité des points d'entrées-sorties depuis le point C1 » et la distance euclidienne (cap). Cette trajectoire proposerait l'itinéraire le plus court entre les deux points d'entrées-sorties de l'espace ouvert où la destination serait visible le plus rapidement possible

tout en contournant les obstacles visuels. Cette démarche induit un réseau dédoublé en fonction du sens de la traversée qui peut être relativement lourd. Pour simplifier le réseau pédestre, la solution proposée est de s'appuyer sur le trajet où les *centro-ovists* sont intervisibles dans un premier temps pour déterminer la trajectoire initiale, puis de déterminer un seuil où l'utilisateur se réorientera visuellement *in situ*.

Une aire potentielle de déplacement est donc identifiée à partir de la distance euclidienne (cap) et du « trajet avec intervisibilité des points d'entrées-sorties depuis le point C1 ».

ex. Soit le triangle AC1B.

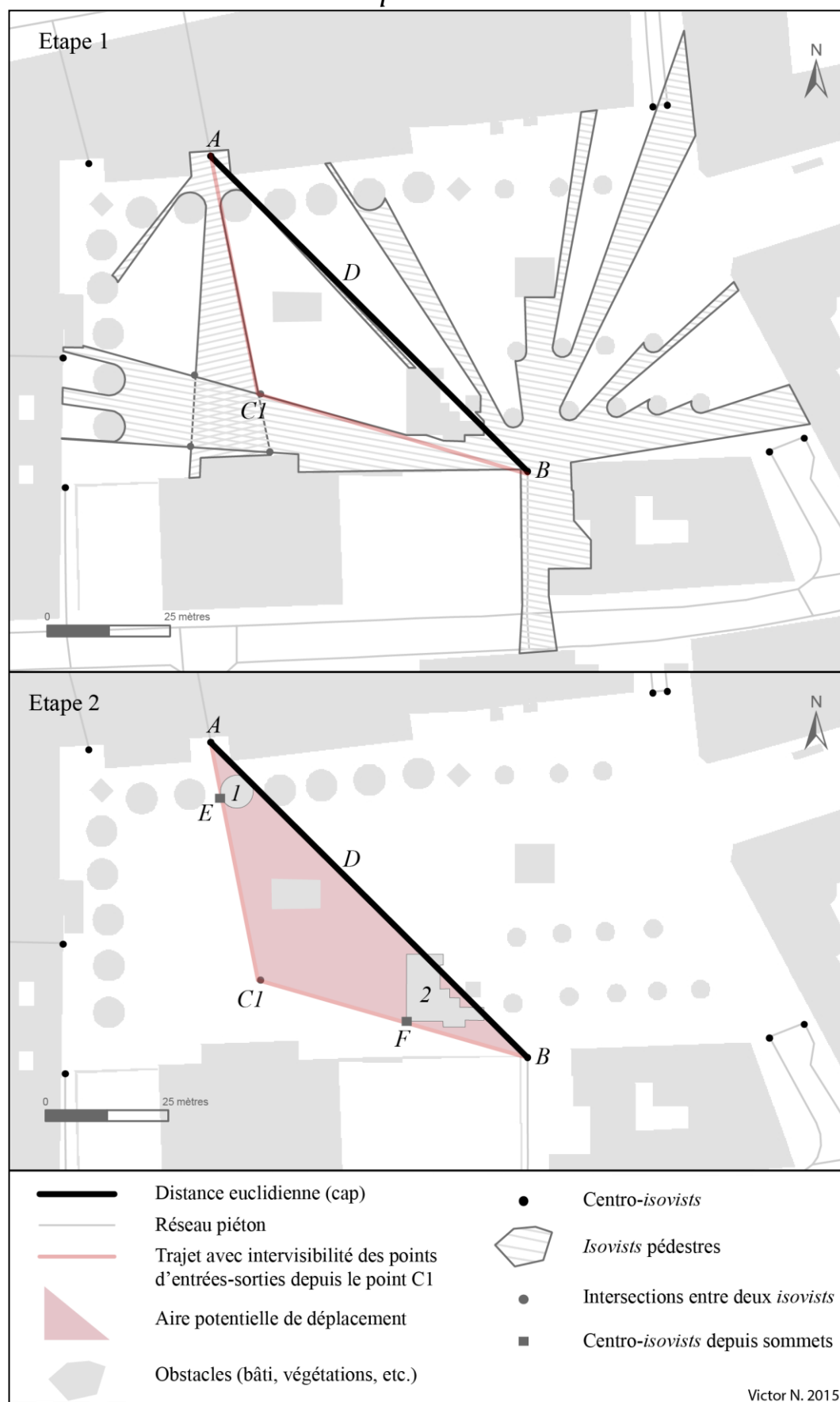
Les obstacles visuels situés dans l'aire potentielle de déplacement sont ensuite sélectionnés lorsque ces derniers sont intersectés par le « trajet avec intervisibilité des points d'entrées-sorties depuis le point C1 » de manière à identifier l'endroit où les usagers piétons se réorienteront visuellement *in situ*.

ex. Soit les polygones 1 et 2 situés dans le triangle AC1B, intersectés par la polyligne AC1B.

La trajectoire modélisée part ainsi du principe que le piéton va contourner un premier obstacle pour espérer obtenir un visuel de sa destination et s'orienter visuellement *in situ* à ce moment-là. L'ordre de choix des obstacles s'effectue à tour de rôle, on commence par l'obstacle x le plus proche de A, puis l'obstacle y le plus proche de B, puis par x_n le deuxième plus proche de A et y_n le deuxième plus proche de B et ainsi de suite jusqu'à former la polyligne.

ex. Soit le sommet E, point d'intersection entre le polygone 1 et la polyligne AC1B et le sommet F, point d'intersection entre le polygone 2 et la polyligne AC1B.

Figure IV-1 : Cas particulier avec plusieurs obstacles dans l'aire de déplacement



Etape 3 (cf. figure 2) :

Si d'autres obstacles se situent dans la zone, une étape intermédiaire est alors ajoutée. Si les deux nouveaux points d'entrée-sortie virtuels ne sont pas intervisibles, une ligne droite est tracée pour représenter un cap virtuel entre ces deux points.

ex. Soit la droite D' entre les centro-isovists E et F.

Deux *isovists* pédestres sont alors créés pour chaque *centro-isovist* virtuel de manière à identifier les points d'intervisibilité.

ex. Soit les isovists pédestres créés à partir des centro-isovists E et F, respectivement nommés E et F.

Pour garantir le trajet se rapprochant le plus du cap virtuel, le point d'intersection entre les deux *isovists* pédestres le plus proche de la droite représentant le cap virtuel est alors sélectionné.

ex. Soit C2, le point le plus proche de la droite D'.

Une aire potentielle de déplacement est ensuite identifiée à partir de la distance euclidienne virtuelle (cap) et du « trajet avec intervisibilité des points virtuels d'entrées-sorties depuis le point C2 ».

ex. Soit le triangle EC2F.

Les obstacles visuels situés dans l'aire de déplacement potentielle sont ensuite sélectionnés lorsque ces derniers sont intersectés par le « trajet avec intervisibilité des points virtuels d'entrées-sorties depuis le point C2 » de manière à identifier l'endroit où les usagers piétons se réorienteront visuellement *in situ*.

ex. Soit le polygone 3 situé dans le triangle EC2F, intersecté par la polyligne EC2F.

Etape 4 (cf. figure 2) :

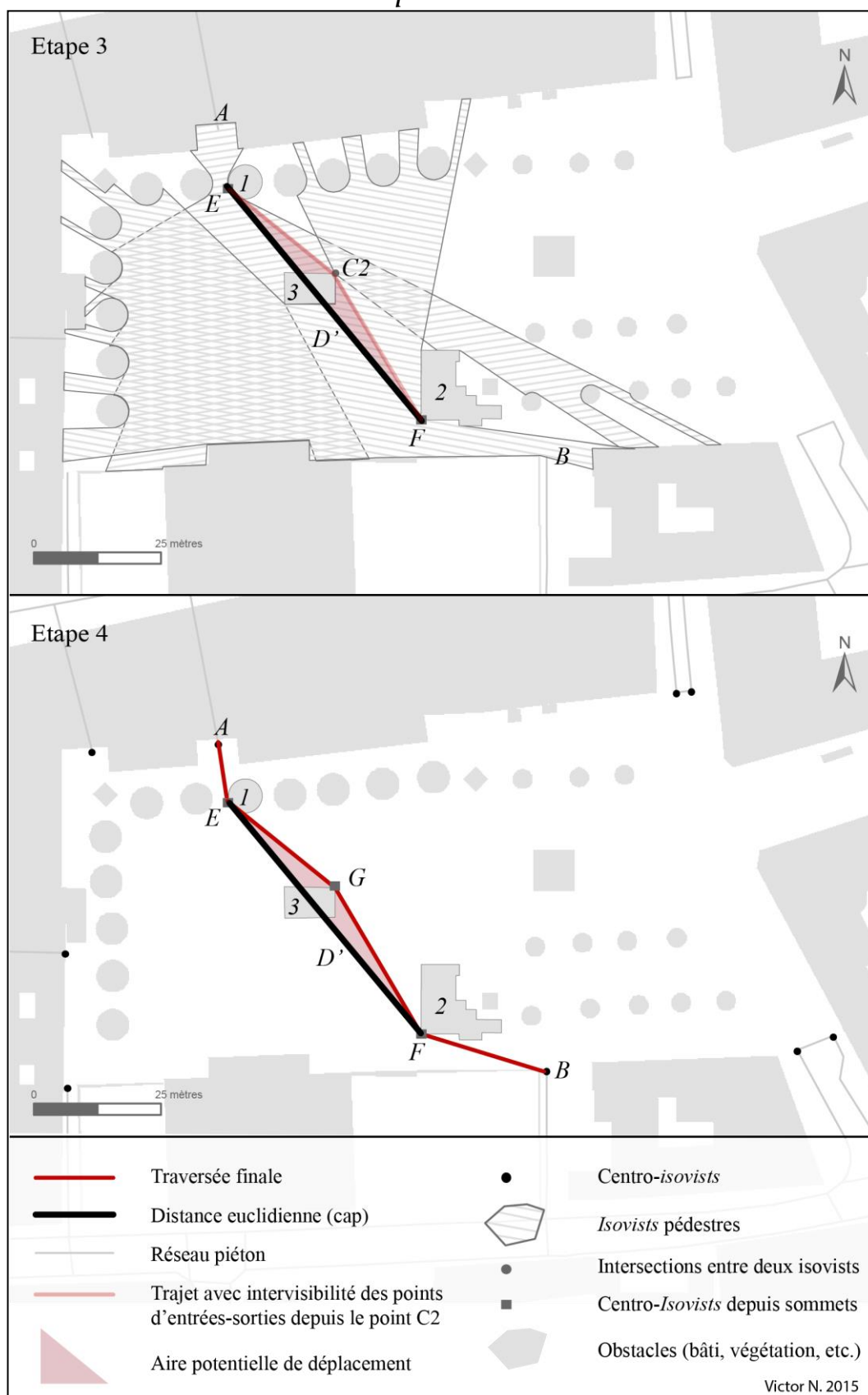
La trajectoire modélisée part ainsi du principe que le piéton va, une fois encore, contourner un obstacle pour espérer obtenir un visuel de sa destination virtuelle et s'orienter visuellement *in situ* à ce moment-là. Il va alors poursuivre son trajet en intégrant à l'avance le détour nécessaire pour le prochain obstacle de manière à obtenir une trajectoire la plus linéaire avec des angles ouverts. Pour cela, le ou les points d'accroche où la trajectoire est réajustée sont donc identifiés.

ex. Soit le sommet G, point d'intersection entre le polygone 3 et la polyligne EC2F.

La trajectoire finale contourne ainsi les obstacles de manière linéaire avec des angles ouverts et est intégrée sous cette forme au réseau pédestre de PAWLUX.

ex. Soit la polyligne AEGFB.

Figure IV-2 : Cas particulier avec plusieurs obstacles dans l'aire de déplacement



Annexe V. Questionnaire MoCaPA (Mobility's Capacity of a Person Assessment) : Evaluation de la capacité de mobilité d'une personne

Le questionnaire MoCaPA est divisé en trois volets. Le premier permet d'identifier les éléments de l'environnement restreignant l'accès au réseau piéton dans le calculateur d'itinéraires et en quelle mesure ils se révèlent obstacles au déplacement de l'individu – absente, faible, moyenne, forte, accès impossible. Dans le second, la manière dont l'individu perçoit l'influence de son état de santé sur sa capacité de déplacement est intégrée sous la forme de poids supplémentaires dans le calculateur d'itinéraires. Enfin, le troisième volet a pour objectif d'identifier les caractéristiques de l'individu telles que ses mensurations, son sexe ou encore son âge.

Code identifiant :

MoCaPA (Mobility's Capacity of a Person Assessment)

Evaluation de la capacité de mobilité d'une personne

Veillez s'il vous plaît compléter ce questionnaire en cochant les cases correspondantes à vos réponses et en complétant les espaces en pointillés. Le questionnaire doit être rempli impérativement par l'utilisateur identifié.

Activités et mobilité quotidienne

1. En général, diriez-vous que votre santé est... © RAND-36

☐ Excellente
 ☐ Très bonne
 ☐ Bonne
 ☐ Passable
 ☐ Mauvaise

2. Avez-vous besoin d'une personne pour vous accompagner dans vos déplacements ?

☐ Non, jamais
 ☐ Oui, parfois
 ☐ Oui, toujours

3. En général, quand vous vous déplacez en dehors du domicile, avez-vous besoin d'une aide technique ?

- ☐ Non
☐ Oui, précisez (plusieurs réponses possibles)
 - ☐ Chaussures orthopédiques
 - ☐ Prothèse
 - ☐ Orthèse
 - ☐ Une canne ou une béquille
 - ☐ Deux béquilles
 - ☐ Cadre de marche, déambulateur
 - ☐ Rollator
 - ☐ Fauteuil roulant
 - ☐ Canne blanche / chien guide
 - ☐ Autre (précisez) :

Optionnel : Si vous avez l'habitude de porter des chaussures à talon, souhaiteriez-vous un itinéraire adapté ? Oui ☐ Non ☐

Code identifiant :	MoCaPA
4. Les questions suivantes portent sur les activités que vous pourriez avoir à faire au cours d'une journée normale. Etes-vous limité par votre état de santé dans les activités suivantes ?	
a. Activités intenses : soulever des objets lourds, faire du sport.	
☐	☐
Oui, très limité	Pas limité du tout
b. Activités modérées : déplacer une table, passer l'aspirateur.	
☐	☐
Oui, très limité	Pas limité du tout
c. Soulever et transporter les achats d'alimentation.	
☐	☐
Oui, très limité	Pas limité du tout
d. Monter plusieurs étages à la suite (escalier ou rampe).	
☐	☐
Oui, très limité	Pas limité du tout
e. Monter un seul étage (escalier ou rampe).	
☐	☐
Oui, très limité	Pas limité du tout
f. Vous agenouiller, vous accroupir ou vous pencher très bas.	
☐	☐
Oui, très limité	Pas limité du tout
g. Se déplacer sur plus d'un kilomètre (plus de 20 minutes en moyenne)	
☐	☐
Oui, très limité	Pas limité du tout
h. Se déplacer sur 500 mètres (environ 5-10 minutes en moyenne).	
☐	☐
Oui, très limité	Pas limité du tout
i. Se déplacer sur 100 mètres (environ 1-2 minutes moyenne).	
☐	☐
Oui, très limité	Pas limité du tout
j. Prendre un bain, une douche ou vous habiller.	
☐	☐
Oui, très limité	Pas limité du tout

Code identifiant :	MoCaPA																																																																						
5. Les questions suivantes portent sur les déplacements que vous pourriez avoir à faire au cours d'une journée normale. Votre état de santé actuel vous limite-t-il dans ces déplacements ? Si oui, dans quelle mesure ? a. Avez-vous des difficultés à monter ou descendre une pente forte (pente à plus de 10 % environ) ? <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Aucune difficulté</td> <td>Difficulté légère</td> <td>Difficulté modérée</td> <td>Grande difficulté</td> <td>Impossibilité</td> </tr> </table> b. Avez-vous des difficultés à monter ou descendre une pente forte (pente entre 5 et 10 % environ) ? <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Aucune difficulté</td> <td>Difficulté légère</td> <td>Difficulté modérée</td> <td>Grande difficulté</td> <td>Impossibilité</td> </tr> </table> c. Avez-vous des difficultés à monter ou descendre une pente faible (pente à moins de 5 % environ) ? <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Aucune difficulté</td> <td>Difficulté légère</td> <td>Difficulté modérée</td> <td>Grande difficulté</td> <td>Impossibilité</td> </tr> </table> d. Avez-vous des difficultés à vous déplacer sur de l'herbe ou de la pelouse ? <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Aucune difficulté</td> <td>Difficulté légère</td> <td>Difficulté modérée</td> <td>Grande difficulté</td> <td>Impossibilité</td> </tr> </table> e. Avez-vous des difficultés à vous déplacer sur des graviers ou du sable ? <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Aucune difficulté</td> <td>Difficulté légère</td> <td>Difficulté modérée</td> <td>Grande difficulté</td> <td>Impossibilité</td> </tr> </table> f. Avez-vous des difficultés à vous déplacer sur des pavés... - Lorsqu'ils ont des joints ? <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Aucune difficulté</td> <td>Difficulté légère</td> <td>Difficulté modérée</td> <td>Grande difficulté</td> <td>Impossibilité</td> </tr> </table> - Lorsque les joints sont creusés ? <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Aucune difficulté</td> <td>Difficulté légère</td> <td>Difficulté modérée</td> <td>Grande difficulté</td> <td>Impossibilité</td> </tr> </table>		☐	☐	☐	☐	☐	Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté modérée	Grande difficulté	Impossibilité	☐	☐	☐	☐	☐	Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté modérée	Grande difficulté	Impossibilité	☐	☐	☐	☐	☐	Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté modérée	Grande difficulté	Impossibilité	☐	☐	☐	☐	☐	Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté modérée	Grande difficulté	Impossibilité	☐	☐	☐	☐	☐	Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté modérée	Grande difficulté	Impossibilité	☐	☐	☐	☐	☐	Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté modérée	Grande difficulté	Impossibilité	☐	☐	☐	☐	☐	Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté modérée	Grande difficulté	Impossibilité
☐	☐	☐	☐	☐																																																																			
Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté modérée	Grande difficulté	Impossibilité																																																																			
☐	☐	☐	☐	☐																																																																			
Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté modérée	Grande difficulté	Impossibilité																																																																			
☐	☐	☐	☐	☐																																																																			
Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté modérée	Grande difficulté	Impossibilité																																																																			
☐	☐	☐	☐	☐																																																																			
Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté modérée	Grande difficulté	Impossibilité																																																																			
☐	☐	☐	☐	☐																																																																			
Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté modérée	Grande difficulté	Impossibilité																																																																			
☐	☐	☐	☐	☐																																																																			
Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté modérée	Grande difficulté	Impossibilité																																																																			
☐	☐	☐	☐	☐																																																																			
Aucune difficulté	Difficulté légère	Difficulté modérée	Grande difficulté	Impossibilité																																																																			
3																																																																							

Code identifiant :	MoCaPA																																							
Influence de la santé physique sur le quotidien																																								
6. Les questions suivantes se réfèrent au travail ou à vos activités quotidiennes accomplies ces quatre dernières semaines : © RAND-36 <table style="width: 100%; border: none;"> <thead> <tr> <th style="width: 80%;"></th> <th style="width: 10%; text-align: center;">Oui</th> <th style="width: 10%; text-align: center;">Non</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a. Votre santé physique a-t-elle limité votre temps passé au travail ou à d'autres activités ?</td> <td style="text-align: center;">☐</td> <td style="text-align: center;">☐</td> </tr> <tr> <td>b. Avez-vous fait moins de choses que vous ne l'auriez voulu à cause de votre santé physique ?</td> <td style="text-align: center;">☐</td> <td style="text-align: center;">☐</td> </tr> <tr> <td>c. Avez-vous été limité(e) dans la nature de vos tâches et activités par votre santé physique ?</td> <td style="text-align: center;">☐</td> <td style="text-align: center;">☐</td> </tr> <tr> <td>d. Avez-vous réussi à tout faire mais au prix d'un effort ?</td> <td style="text-align: center;">☐</td> <td style="text-align: center;">☐</td> </tr> </tbody> </table> 7 . Au cours des quatre dernières semaines, avez-vous enduré des souffrances physiques ? © RAND-36 <table style="width: 100%; border: none; text-align: center;"> <tr> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Aucune</td> <td>Très légèrement</td> <td>Légèrement</td> <td>Moyen</td> <td>Intense</td> <td>Très intense</td> </tr> </table> 8 . Au cours des quatre dernières semaines, la douleur a-t-elle gêné votre travail ou vos activités habituelles ? © RAND-36 <table style="width: 100%; border: none; text-align: center;"> <tr> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Aucune</td> <td>Très légèrement</td> <td>Légèrement</td> <td>Moyen</td> <td>Intense</td> <td>Très intense</td> </tr> </table>			Oui	Non	a. Votre santé physique a-t-elle limité votre temps passé au travail ou à d'autres activités ?	☐	☐	b. Avez-vous fait moins de choses que vous ne l'auriez voulu à cause de votre santé physique ?	☐	☐	c. Avez-vous été limité(e) dans la nature de vos tâches et activités par votre santé physique ?	☐	☐	d. Avez-vous réussi à tout faire mais au prix d'un effort ?	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Aucune	Très légèrement	Légèrement	Moyen	Intense	Très intense	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Aucune	Très légèrement	Légèrement	Moyen	Intense	Très intense
	Oui	Non																																						
a. Votre santé physique a-t-elle limité votre temps passé au travail ou à d'autres activités ?	☐	☐																																						
b. Avez-vous fait moins de choses que vous ne l'auriez voulu à cause de votre santé physique ?	☐	☐																																						
c. Avez-vous été limité(e) dans la nature de vos tâches et activités par votre santé physique ?	☐	☐																																						
d. Avez-vous réussi à tout faire mais au prix d'un effort ?	☐	☐																																						
☐	☐	☐	☐	☐	☐																																			
Aucune	Très légèrement	Légèrement	Moyen	Intense	Très intense																																			
☐	☐	☐	☐	☐	☐																																			
Aucune	Très légèrement	Légèrement	Moyen	Intense	Très intense																																			
4																																								

Code identifiant :	MoCaPA																																								
9. Dans quelle mesure chacun des énoncés suivants est-il VRAI ou FAUX dans votre cas ? © RAND-36 a. Il me semble que je tombe malade un peu plus facilement que les autres. <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Tout à fait vrai</td> <td>Assez vrai</td> <td>Ne sais pas</td> <td>Plutôt faux</td> <td>Tout à fait faux</td> </tr> </table> b. Je suis en aussi bonne santé que les gens que je connais. <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Tout à fait vrai</td> <td>Assez vrai</td> <td>Ne sais pas</td> <td>Plutôt faux</td> <td>Tout à fait faux</td> </tr> </table> c. Je m'attends à ce que ma santé se détériore. <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Tout à fait vrai</td> <td>Assez vrai</td> <td>Ne sais pas</td> <td>Plutôt faux</td> <td>Tout à fait faux</td> </tr> </table> d. Ma santé est excellente. <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>Tout à fait vrai</td> <td>Assez vrai</td> <td>Ne sais pas</td> <td>Plutôt faux</td> <td>Tout à fait faux</td> </tr> </table>		☐	☐	☐	☐	☐	Tout à fait vrai	Assez vrai	Ne sais pas	Plutôt faux	Tout à fait faux	☐	☐	☐	☐	☐	Tout à fait vrai	Assez vrai	Ne sais pas	Plutôt faux	Tout à fait faux	☐	☐	☐	☐	☐	Tout à fait vrai	Assez vrai	Ne sais pas	Plutôt faux	Tout à fait faux	☐	☐	☐	☐	☐	Tout à fait vrai	Assez vrai	Ne sais pas	Plutôt faux	Tout à fait faux
☐	☐	☐	☐	☐																																					
Tout à fait vrai	Assez vrai	Ne sais pas	Plutôt faux	Tout à fait faux																																					
☐	☐	☐	☐	☐																																					
Tout à fait vrai	Assez vrai	Ne sais pas	Plutôt faux	Tout à fait faux																																					
☐	☐	☐	☐	☐																																					
Tout à fait vrai	Assez vrai	Ne sais pas	Plutôt faux	Tout à fait faux																																					
☐	☐	☐	☐	☐																																					
Tout à fait vrai	Assez vrai	Ne sais pas	Plutôt faux	Tout à fait faux																																					
Informations complémentaires																																									
10. Quelle est votre taille en centimètres ? Remplir les pointillés 11. Vous êtes de sexe ? masculin féminin ☐ ☐ 12. Quelle est votre poids en kilogrammes ? Remplir les pontillés 13. En quelle année êtes-vous né(e) ? Remplir les pointillés 																																									

Annexe VI. Questionnaire de l'enquête usagers du projet PAWLux (*Pedestrian Accessibility and Wayfinding in Luxembourg-city*)



Luxembourg, le

Objet : Enquête sur l'accessibilité piétonne à Luxembourg-ville

Madame, Monsieur,

Dans le cadre d'une recherche à caractère opérationnel, nous menons actuellement une enquête portant sur les déplacements quotidiens piétons à Luxembourg-ville.

Notre objectif est d'observer en quoi et comment les éléments présents dans l'environnement peuvent influencer le déplacement de chaque piéton en fonction de ses capacités motrices. C'est pourquoi nous avons besoin de votre collaboration pour collecter des informations sur votre expérience de déplacements. Si vous acceptez, cette collecte s'effectuera en deux étapes :

ÉTAPE 1 Nous vous proposons de **remplir le questionnaire** ci-joint. Cela vous prendra au maximum 10 minutes. Les informations recueillies resteront strictement confidentielles et ne feront l'objet d'aucune cession ou transaction commerciale. Les analyses statistiques qui seront réalisées respecteront l'anonymat de vos réponses. Accompagnant ce courrier, vous trouverez une enveloppe préaffranchie vous permettant de nous renvoyer le questionnaire rempli sous une quinzaine de jours.

ÉTAPE 2 Nous vous inviterons également par la suite à **participer à un parcours piéton** accompagné d'un enquêteur dans le but de recueillir votre opinion sur le trajet effectué. Pour ce faire, un formulaire de consentement de traitement de vos données sera à remplir et à signer.

Pour de plus amples informations, n'hésitez pas à nous contacter :

Nadja VICTOR

nadja.victor@ceps.lu

tél. +352 58 58 55 316

En comptant sur votre participation et en vous remerciant par avance, veuillez agréer, Madame, Monsieur, l'expression de nos salutations respectueuses.

Nadja VICTOR,

Doctorante.

CEPS/INSTEAD (Esch-sur-Alzette, Luxembourg)

et Laboratoire EVS ISTHME UMR 5600 (Saint-Etienne, France)

ÉTAPE 1 : QUESTIONNAIRE

Le questionnaire doit être rempli impérativement par la personne indiquée sur le courrier/mail. Merci.

Veuillez s'il vous plaît compléter ce questionnaire en cochant les cases correspondantes à vos réponses et en complétant les espaces en pointillés.

1. En général, à quelle fréquence venez-vous au centre de Luxembourg-ville ?

- ☐ Au moins une fois par jour
- ☐ 4 à 5 fois par semaine
- ☐ Une fois par semaine
- ☐ Une à deux fois par mois
- ☐ Moins de dix fois par an

2. Depuis quelle année venez-vous avec cette régularité à Luxembourg-ville ?

3. En général, diriez-vous que votre santé est...

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Excellente | Très bonne | Bonne | Passable | Mauvaise |

4. Avez-vous besoin d'une personne pour vous accompagner dans vos déplacements ?

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ☐ | ☐ | ☐ |
| Non, jamais | Oui, parfois | Oui, toujours |

5. En général, quand vous vous déplacez en dehors du domicile, avez-vous besoin d'une aide technique ?

- ☐ Non
- ☐ Oui, précisez (plusieurs réponses possibles)
 - ☐ Chaussures orthopédiques
 - ☐ Prothèse
 - ☐ Orthèse
 - ☐ Une canne ou une béquille
 - ☐ Deux béquilles
 - ☐ Cadre de marche, déambulateur
 - ☐ Rollator
 - ☐ Fauteuil roulant
 - ☐ Canne blanche / chien guide
 - ☐ Autre (précisez) :

6. Les questions suivantes portent sur les activités que vous pourriez avoir à faire au cours d'une journée normale. Etes-vous limité par votre état de santé dans les activités suivantes ?

A. Activités intenses : soulever des objets lourds, faire du sport.

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ☐ | ☐ | ☐ |
| Oui, très limité | Oui, plutôt limité | Pas limité du tout |

B. Activités modérées : déplacer une table, passer l'aspirateur.

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ☐ | ☐ | ☐ |
| Oui, très limité | Oui, plutôt limité | Pas limité du tout |

C. Soulever et transporter les achats d'alimentation.

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ☐ | ☐ | ☐ |
| Oui, très limité | Oui, plutôt limité | Pas limité du tout |

D. Monter plusieurs étages à la suite.

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ☐ | ☐ | ☐ |
| Oui, très limité | Oui, plutôt limité | Pas limité du tout |

E. Monter un seul étage.

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ☐ | ☐ | ☐ |
| Oui, très limité | Oui, plutôt limité | Pas limité du tout |

F. Vous agenouiller, vous accroupir ou vous pencher très bas.

☐ Oui, très limité ☐ Oui, plutôt limité ☐ Pas limité du tout

G. Se déplacer sur plus d'un kilomètre (plus de 20 minutes en moyenne).

☐ Oui, très limité ☐ Oui, plutôt limité ☐ Pas limité du tout

H. Se déplacer sur 500 mètres (environ 5-10 minutes en moyenne).

☐ Oui, très limité ☐ Oui, plutôt limité ☐ Pas limité du tout

I. Se déplacer sur 100 mètres (environ 1-2 minutes moyenne).

☐ Oui, très limité ☐ Oui, plutôt limité ☐ Pas limité du tout

J. Prendre un bain, une douche ou vous habiller.

☐ Oui, très limité ☐ Oui, plutôt limité ☐ Pas limité du tout

7. Les questions suivantes portent sur les déplacements que vous pourriez avoir à faire au cours d'une journée normale. Votre état de santé actuel vous limite-t-il dans ces déplacements ? Si oui, dans quelle mesure ?

A. Avez-vous des difficultés à monter ou descendre une pente forte (pente à plus de 10% environ) ?

☐ Aucune
Difficulté

☐ Difficulté
légère

☐ Difficulté
modérée

☐ Grande
difficulté

☐ Impossibilité

B. Avez-vous des difficultés à monter ou descendre une pente modérée (pente entre 5 et 10% environ) ?

☐ Aucune
Difficulté

☐ Difficulté
légère

☐ Difficulté
modérée

☐ Grande
difficulté

☐ Impossibilité

C. Avez-vous des difficultés à monter ou descendre une pente faible (pente à moins de 5% environ) ?

☐ Aucune
Difficulté

☐ Difficulté
légère

☐ Difficulté
modérée

☐ Grande
difficulté

☐ Impossibilité

D. Avez-vous des difficultés à vous déplacer sur de l'herbe ou de la pelouse ?

☐	☐	☐	☐	☐
Aucune	Difficulté	Difficulté	Grande	Impossibilité
Difficulté	légère	modérée	difficulté	

E. Avez-vous des difficultés à vous déplacer sur des graviers ou du sable ?

☐	☐	☐	☐	☐
Aucune	Difficulté	Difficulté	Grande	Impossibilité
Difficulté	légère	modérée	difficulté	

F. Avez-vous des difficultés à vous déplacer sur des pavés ?

☐	☐	☐	☐	☐
Aucune	Difficulté	Difficulté	Grande	Impossibilité
Difficulté	légère	modérée	difficulté	

8. Les questions suivantes se réfèrent au travail ou à vos activités quotidiennes accomplies ces quatre dernières semaines :

	Oui	Non
<i>A. Votre santé physique a-t-elle limité votre temps passé au travail ou à d'autres activités ?</i>	☐	☐
<i>B. Avez-vous fait moins de choses que vous ne l'auriez voulu à cause de votre santé physique ?</i>	☐	☐
<i>C. Avez-vous été limité(e) dans la nature de vos tâches et activités par votre santé physique ?</i>	☐	☐
<i>D. Avez-vous réussi à tout faire, mais au prix d'un effort ?</i>	☐	☐

9. Au cours des quatre dernières semaines, avez-vous enduré des souffrances physiques ?

☐	☐	☐	☐	☐	☐
Aucune	Très	Légèrement	Moyen	Intense	Très
	légèrement				intense

10. Au cours des quatre dernières semaines, la douleur a-t-elle gêné votre travail ou vos activités habituelles ?

☐	☐	☐	☐	☐
Pas du tout	Un peu	Modérément	Assez fortement	Énormément

11. Dans quelle mesure chacun des énoncés suivants est-il VRAI ou FAUX dans votre cas ?

A - Il me semble que je tombe malade un peu plus facilement que les autres.

☐	☐	☐	☐	☐
Tout à fait vrai	Assez vrai	Ne sais pas	Plutôt Faux	Tout à fait faux

B - Je suis en aussi bonne santé que les gens que je connais.

☐	☐	☐	☐	☐
Tout à fait vrai	Assez vrai	Ne sais pas	Plutôt Faux	Tout à fait faux

C - Je m'attends à ce que ma santé se détériore.

☐	☐	☐	☐	☐
Tout à fait vrai	Assez vrai	Ne sais pas	Plutôt Faux	Tout à fait faux

D - Ma santé est excellente.

☐	☐	☐	☐	☐
Tout à fait vrai	Assez vrai	Ne sais pas	Plutôt Faux	Tout à fait faux

12. En quelle année êtes-vous né(e) ?

13. Vous êtes ?

☐ un homme	☐ une femme
-----------------------------------	------------------------------------

14. Pourriez-vous, s'il vous plaît, nous indiquer votre taille et votre poids ?

- Taille en cm :

- Poids en kg :

15. Lesquelles de ces langues parlez-vous couramment ? (plusieurs réponses possibles)

☐ Luxembourgeois	☐ Allemand
☐ Français	☐ Anglais

16. Si vous avez l'habitude de porter des chaussures à talons, souhaiteriez-vous un itinéraire adapté ?

☐ oui	☐ non
------------------------------	------------------------------

17. Dans la liste ci-dessous, pouvez-vous préciser si vous connaissez ce lieu et si vous savez vous y rendre ?

	Je connais ce lieu	Je sais m'y rendre
Théâtre des Capucins	☐	☐
Arrêt de bus City Shopping bus (Centre/rue Beaumont)	☐	☐
Hôtel des postes (Hamilius)	☐	☐
Hôtel de Ville (place Guillaume II)	☐	☐
Palais grand-ducal	☐	☐
Cité Judiciaire (plateau Saint-Esprit)	☐	☐
Gare centrale	☐	☐
Cathédrale Notre-Dame	☐	☐
Monument du souvenir Gëlle Fra	☐	☐
Parc (centre-ville) – mare et jet d'eau	☐	☐
Musée d'Histoire de la Ville de Luxembourg	☐	☐
Musée national d'Histoire et d'Art	☐	☐
Mini-Golf (vallée de la Pétrusse)	☐	☐
Trois tours (Porte de la ville)	☐	☐

N'hésitez pas à nous faire part de vos remarques ou commentaires éventuels :

Fin de l' **ÉTAPE 1**
Merci de votre collaboration.

Poursuivez avec l' **ÉTAPE 2** à la page suivante

ÉTAPE 2 : PARCOURS ACCOMPAGNÉ D'UN ENQUÊTEUR

Le précédent questionnaire (étape 1) va nous permettre de préparer votre participation à un parcours piéton accompagné d'un enquêteur à Luxembourg-ville. Ce parcours durera 10 à 20 minutes.

Afin de vous contacter et de convenir d'un rendez-vous pour cette deuxième étape, veuillez nous laisser vos coordonnées dans la fiche ci-dessous.

Fiche de renseignement*

Prénom :

E-Mail :

Numéro de téléphone :

*Cette fiche de renseignement sera détruite à la fin de l'enquête : seul votre code identifiant demeurera.

A renvoyer avec le questionnaire dans l'enveloppe préaffranchie.

Remerciements pour leurs conseils et aides à :



Financé par le Fonds National de la Recherche, Luxembourg, projet PawLuX n° 1183639.

Annexe VII. Guide d'entretien semi-directif d'enquête usagers

PREMIERE PARTIE : Discussion autour du trajet aller

Durée 10-15 minutes

Objectif : 1) Observer les impacts des éléments de l'environnement sur le déplacement de l'utilisateur.

2) Acquérir des données sur la vitesse lors du déplacement.

1. Introduction du discours avec l'enquête suite au parcours piéton effectué

Nous allons maintenant discuter autour du trajet effectué. Notre conversation va être enregistrée mais la bande ne sera utilisée que pour retranscrire l'entretien et ne pas oublier de détails de notre discussion.

Pendant que vous vous déplacez, j'ai effectué un certain nombre d'observation mais j'aimerais maintenant connaître votre propre ressenti sur l'environnement que vous venez de traverser.

Si cela vous convient, nous allons dans un premier temps discuter de vos impressions lors de votre déplacement. Puis, dans un deuxième temps, je vous montrerai mes observations et nous pourrions en discuter.

2. Discussion « libre », sans support, sur le trajet effectué

Pour commencer, pourriez-vous me donner vos impressions sur votre déplacement, avez-vous rencontré d'éventuelles difficultés lors du parcours ?

Relance (si nécessaire)

- Comment avez-vous réagi ? Avez-vous ralenti ou changé votre parcours ?
- Pour quelles raisons ? Quelque chose de particulier vous a-t-il poussé à cette réaction ?
- Connaissiez-vous à l'avance ces obstacles ou étaient-ils inattendus ?
- Avez-vous eu l'impression de fournir un effort supplémentaire ? Auriez-vous souhaité l'aide d'une personne, d'un support matériel et/ou d'un aménagement spécifique de l'environnement à certains endroits ?

3. Retour sur les observations menées pendant le trajet avec la carte de relevée

J'ai cru observer d'autres réactions (ralentissement, changement, effort) de votre part lors du trajet. Est-ce que vous le ressentez de la même façon ?

Relance (si nécessaire)

- Pour quelles raisons ? Quelque chose de particulier vous a-t-il poussé à cette réaction ?

4. Discussion « libre » sur le trajet potentiellement proposé par le modèle à la place de celui effectué

Le modèle proposait ce trajet, vous semble-t-il approprié ? Seriez-vous potentiellement passé par ici ?

5. (Facultatif) Discussion « libre », sans support, sur leurs habitudes de déplacement

- Auriez-vous effectué ce déplacement de la même façon avec une météo différente ?

- Auriez-vous effectué ce déplacement de la même façon de nuit ?

- Des éléments dans la ville vous paraissent-ils suffisamment attractif pour influencer votre choix de trajet ?

- A l'inverse, des éléments dans la ville vous paraissent-ils complètement répulsif pour influencer votre choix de trajet ?

Fin du premier entretien

Nous allons maintenant revenir à notre point de rendez-vous en suivant l'itinéraire proposé par notre modèle. Si les trajets sont différents, je vous interrogerais à nouveau sur votre expérience du parcours en arrivant.

DEUXIEME PARTIE : Retour sur le trajet proposé par le modèle

Durée 5-10 minutes

Objectif: 1) Obtenir une validation des itinéraires préconisés de la part de l'utilisateur enquête et soulever les éventuelles faiblesses et problèmes du modèle.

2) Acquérir des données sur la vitesse.

1. Discussion « libre », sans support

Seriez-vous passez par là pour revenir à notre point de rendez-vous ?

Relance (si nécessaire)

- Globalement avez-vous ressenti une amélioration par rapport à d'habitude ? En quoi ?

Pourriez-vous me donner vos impressions sur ce parcours ?

Relance (si nécessaire)

- Avez-vous rencontré des difficultés ? Rappelez-vous à quels endroits ?

- Auriez-vous peut-être souhaité l'aide d'une personne ou d'un support matériel à certains endroits ? Si oui, où ?

2. Retour sur les observations menées pendant le trajet avec la carte de relevée

J'ai cru observer d'autres réactions (ralentissement, changement, effort) de votre part lors du trajet. Est-ce que vous le ressentez de la même façon ?

Relance (si nécessaire)

- Pour quelles raisons ? Quelque chose de particulier vous a-t'il poussé à cette réaction ?

Fin des entretiens

Merci encore pour le temps que vous m'avez consacré. Cet entretien va nous permettre d'améliorer notre modèle pour proposer des itinéraires accessibles à chacun.

5. (Facultatif) Discussion « libre », sans support, sur leurs habitudes de déplacement

- Auriez-vous effectué ce déplacement de la même façon avec une météo différente ?

- Auriez-vous effectué ce déplacement de la même façon de nuit ?

- Des éléments dans la ville vous paraissent-ils suffisamment attractif pour influencer votre choix de trajet ?

- A l'inverse, des éléments dans la ville vous paraissent-ils complètement répulsif pour influencer votre choix de trajet ?

Annexe VIII. Profils de restrictions potentielles pour une personne atteinte d'hémiplégie

Figure VIII-1 : Profils de restrictions potentielles pour une personne atteinte d'hémiplégie

		Soleil / nuageux			Pluie/gel-neige		
Propriété de la voie		Santé de l'utilisateur					
		Excellente	Bonne	Fragile	Excellente	Bonne	Fragile
Revêtement	pavage en pierre naturelle	1	1	1	1	1	1
	gravier/sable	2	2	3	3	3	4
	terre battue	0	0	1	2	2	3
	bois	0	0	0	2	2	3
	végétal (herbe-gazon-mousse)	0	0	1	1	1	2
	matière synthétique	1	1	1	1	1	1
Texture	meuble	1	1	1	2	2	2
	lissé/polé	1	1	1	2	2	2
	bosselé/troué	1	1	1	1	1	1
	disjoints	1	1	2	2	2	3
Largeur	moins de 90 cm	4	4	4	4	4	4
	moins de 70 cm	4	4	4	4	4	4
Hauteur à franchir	[3-16] cm	3	4	4	3	4	4
	plus de 16 cm	4	4	4	4	4	4
Pente	5-8 %	3	4	4	4	4	4
	8-10 %	4	4	4	4	4	4
	10-12 %	4	4	4	4	4	4
	plus de 12 %	4	4	4	4	4	4
Ascenseur	palier, largeur moins de 1,5 m	0	0	0	0	0	0
	profondeur, moins de 1,4 m	0	0	0	0	0	0
Escalier	moins de 6 marches	1	1	2	1	1	2
	6-12 marches	2	3	4	2	3	4
	plus de 12 marches	4	4	4	4	4	4
Absence main courante	simple	3	4	4	3	4	4
	double	3	4	4	3	4	4
Absence bateaux		1	1	1	1	1	1
Traversées informelles		3	4	4	3	4	4
Absence feu sonore		0	0	0	0	0	0
Absence repère podotactile		0	0	0	0	0	0
Restrictions :		0 absente	1 faible	2 moyenne	3 forte	4 accès impossible	
Source : Victor et al., 2015 d'après Grobois, 2010 ; Info Handicap, 2000 ; Hays, 1998 et norme ISO/FDIS 21542:2011							Auteur : Victor N., 2015

Evaluation des déplacements piétons quotidiens

Application à la ville de Luxembourg

Mots-clefs : Marche, Piéton, Accessibilité, SIG, Réseau pédestre, Marchabilité/ *Walkability*, Handicap, Mobilité pédestre

La marche en milieu intra-urbain est considérée comme une pratique naturelle et évidente pour les déplacements à but utilitaire ou récréatif. Cependant, cette activité se révèle complexe à conceptualiser. Tout d'abord, elle inclut un *continuum* d'usagers piétons, aux capacités de mobilité diverses, pouvant être confrontés à des situations d'inadéquation avec l'environnement. Ensuite, les comportements de mobilité pédestre sont influencés par une série d'exigences : faisabilité, accessibilité, utilité, sécurité, confort ou encore plaisir sens. Enfin, les choix d'itinéraires des piétons varient selon l'objectif et le contexte du trajet. A partir d'une démarche pluridisciplinaire, cette recherche soutient que, pour promouvoir la marche au quotidien, il est essentiel de tenir compte des spécificités de chacun et des situations pouvant potentiellement affecter leurs déplacements. En réponse, modéliser les déplacements piétons en milieu intra-urbain, *via* un SIG, offre non seulement un support d'analyse et de visualisation mais aussi un outil d'aide à la décision s'adressant à la fois au grand public et aux aménageurs. Cette démarche se révèle innovante en proposant un outil inclusif intégrant les interrelations entre une grande diversité d'usagers piétons et l'environnement selon différents contextes. Notre méthodologie est à la fois reproductible dans différentes villes et capable de s'adapter à un contexte local spécifique par un audit urbain et un questionnaire-usager. Cette thèse se conclut par un cas d'étude empirique à Luxembourg-ville afin de collecter des informations sur la capacité d'une ville à fournir un réseau pédestre efficace et des témoignages d'usagers.

Pedestrian trips assessment

Application to the city of Luxembourg

Key-words: Walking, Pedestrian, Accessibility, GIS, Pedestrian Network, *Walkability*, Disability, Pedestrian Mobility

Walking is generally considered as a natural and obvious activity for utilitarian or recreational purposes. Yet, that activity is complex to conceptualize. First, it includes a *continuum* of pedestrian users with various abilities to move who can have to face the environment. Second, the mobility and walking behaviours are also influenced by a set of criteria: feasibility, accessibility, usefulness, safety, comfort and pleasure. Besides, peoples' routes are also varying following the trips objective. Included in an interdisciplinary approach, this research argues that to ensure a city suitable for daily walking, it is essential to take into account the specificities of everyone and of situations that may affect pedestrian travels. For this purpose, modelling pedestrian trips in an intra-urban area, *via* GIS, not only provides a support of analysis and visualization but also a decision tool for both people and stakeholders. The innovation of this approach lies in an inclusive tool which integrates the interrelationships among a variety of pedestrian users and the environment in different contexts. Our methodology is also reproducible in different cities and able to adapt itself to specific local context through an urban audit and a questionnaire for users. This thesis is concluded by an empirical case of study in Luxembourg-city to gather information about the ability of a city to provide an efficient pedestrian network and some pedestrian users' testimonies.