

Nadja VICTOR

20 rue adolphe, L-1116 Luxembourg
victornadja@gmail.com
Tel. +352 691 651 898
née en 1985 (France)



EXPERIENCE PROFESSIONNELLE

- 2011-2015 **Chercheur en formation**
LISER (Luxembourg Institute of Socio-Economic Research), département *Urban Development and Mobility*, Esch-sur-Alzette, Luxembourg
- 2012 **Vacataire**
pour le master 2 *Espace Public : design, architecture, pratiques ...*, Université Jean Monnet (UJM), Saint-Etienne
- 2011 **Ingénieur Recherche**
CEPS/INSTEAD, département GEODE, Differdange, Luxembourg
- 2010 **Stagiaire – Modélisation de l’accessibilité piétonne à Luxembourg-ville**
CEPS/INSTEAD
- 2009-2010 **Acquisition documentaire**
Bibliothèque universitaire Tréfilerie, Saint-Etienne
- 2009 **Animateur**
Colonie Cap à l’Est
- 2009 **Stagiaire – Diagnostics des espaces publics et des us et pratiques habitantes**
Service développement Urbain, Ville de Saint-Etienne (VSE)
- 2009 **Formateur**
Espaces numériques de travail, UJM
- 2008 **Stagiaire – SIGéo-historique Saint-Etienne et le Furan**
Observatoire et Service d’Information géographique, VSE
- 2007 **Moniteur**
licences de Géographie et Cartographie, UJM
- 2003 **Jeune fille au pair**
Leicester, Angleterre

PROJETS DE RECHERCHE

- 2011-2015 **PAWLux** (*Pedestrian Accessibility and Walkability in Luxembourg-city*)
- 2010-2012 **INTERREG NWE IVB ICMA** – Modes alternatifs à la voiture dans les premiers et derniers kilomètres des trajets quotidiens

SPECIALITES

SIG, Mobilité, Accessibilité, Piétons, Handicap, Analyse spatiale et de réseau, *Walkability*/marchabilité, Espaces urbains, Espaces publics, Analyse quantitative et qualitative

EDUCATION

2011-2016	Doctorat Information géographique et applications-Géographie UJM – Laboratoire EVS ISTHME UMR 5600 ; LISER
2009-2010	Master 2 Système d’Information Géographique et aménagement UJM, Ecole Nationale d’Ingénieurs de Saint-Etienne
2008-2009	Master 2 Espace Public : design, architecture, pratiques... UJM ; Ecole Nationale d’Architecture de Saint-Etienne ; Beaux-arts de Saint-Etienne
2007-2008	Master 1 Territoire, Environnement and Patrimoine UJM
2004-2007	Licence Géographie Université Lumière Lyon II, France
2004-2006	DEUG Sociologie Université Lumière Lyon II

COMPETENCES INFORMATIQUES

ArcGIS (Network analyst, Spatial analyst, 3D analyst, etc.), gvSIG, QGIS MapInfo, IDRISI SPAD, Stata, Moda Lisa
Adobe illustrator, Adobe Photoshop, Final Cut Pro, Windows Movie maker
Office suite (word, excel, PPT, etc.), SAP

LANGUES

Français (langue maternelle)
Anglais (excellent oral et écrit – expérience jeune fille au pair en Angleterre)
Espagnol (moyen oral et écrit)

AUTRES (associations, etc.)

UMR 5600 EVS, GDR MAGIS, Labex IMU (Intelligence des mondes urbains), ACFAS (Canada), *Association of American Geographers*, Voyages, Badminton, Natation, Volley, Tennis, Arts plastiques, Arts audiovisuels

PUBLICATIONS et actes de CONFERENCE

- VICTOR Nadja, 2016. *Evaluation des déplacements piétons quotidiens. Applications à la ville de Luxembourg*, Thèse de doctorat en Information géographique et applications-Géographie, Université Jean Monnet, Saint-Etienne, directeur Thierry JOLIVEAU et co-directeur Olivier KLEIN, 430 p.
- 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.
- VICTOR Nadja, Olivier KLEIN et Thierry JOLIVEAU, 2015. « Modéliser la marche urbaine et les relations environnement-usagers dans un SIG. Application à la ville de Luxembourg », *Revue Internationale de Géomatique*, Vol. 25, n°4, pp. 537-560
- VICTOR Nadja, Olivier KLEIN et Thierry JOLIVEAU, 2015. « 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.

- 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, Laval university press, Collection études urbaines, 390 p., pp. 67-98
- 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, Olivier KLEIN et Thierry JOLIVEAU, 2013. « Walking: energy expenditure following urban accessibility ? », *BIVEC/GIBET Transport Research Day* proceedings, 30-31 May, Walferdange/Luxembourg-city, Luxembourg, pp. 85-87
- 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 et Olivier KLEIN, 2012. « La Marche, un mode de déplacement comme les autres ? Essai de construction de profils piétons », Acte de la 80^{ème} conférence de l'ACFAS, colloque 434, mai 2012, Montréal, Canada
- VICTOR Nadja, Olivier KLEIN et Thierry JOLIVEAU, 2011. « Modélisation et visualisation de l'accessibilité piétonne à Luxembourg-Ville », Actes de la conférence francophone ESRI, 5-6 octobre, Versailles, France, CD-Rom
- 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
- BRUYERE Aline, ULTSCH Justine et VICTOR Nadja, 2009. « Elaboration d'un SIG-historique sur la ville de Saint-Etienne et la rivière du Furan », *Géomatique Expert*, Janvier 2009, pp. 58-65

Nadja VICTOR

Docteur en Information géographique et applications

Prix de Thèse IFRATH-KAELIS 2017

**Evaluation des déplacements piétons quotidiens.
Application à la ville de Luxembourg**

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

A travers un mode de déplacement universel, la marche, cette thèse propose d'interroger les « situations de handicap » dans les mobilités quotidiennes sous la forme d'une démarche inclusive. Le modèle PAWLux (*Pedestrian Accessibility and Walkability in Luxembourg-city*) offre, via un système d'information géographique, non seulement un support de modélisation, d'analyse et de visualisation des déplacements piétons en milieu urbain 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'originalité de cette démarche réside ainsi dans la volonté de proposer un outil inclusif intégrant les interrelations entre une grande diversité d'utilisateurs piétons et l'environnement, selon différents contextes. Si la plupart des modèles de déplacement se contentent de profils génériques d'accessibilité, PAWLux innove en proposant des solutions individualisées basées non seulement sur les caractéristiques de l'utilisateur (motricité, état de santé, genre, âge, IMC, etc.) mais aussi sur les propriétés de l'environnement (pente, texture, largeur, etc.).

Dans un contexte contemporain, la définition de la *marche* en milieu intra-urbain inclut un *continuum* d'utilisateurs piétons aux capacités de mobilité diverses. Tout un chacun peut ainsi être un jour confronté à une situation d'inadéquation avec l'environnement qui l'entoure selon ses caractéristiques intrinsèques et son état de santé. 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 [Minaire, 2012 ; Thomas, 2003 ; Bodin, 2007]. A l'heure où les espaces publics doivent être organisés de manière à permettre une accessibilité totale aux personnes dotées d'un handicap (convention ONU [2006] ; 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]. Par ailleurs, les comportements de mobilité pédestre sont également influencés par une série d'exigences et de besoins : faisabilité, accessibilité, utilité, sécurité, confort environnemental et physique, plaisir des sens ou encore sentiment d'appartenance [Southworth, 2005 ; Lo, 2009]. La hiérarchie d'importance de ces critères dans les choix d'itinéraires des piétons en milieu urbain varie alors non seulement selon leurs caractéristiques sociodémographiques mais également selon l'objectif de déplacement (utilitaire ou récréatif) et le contexte du trajet. Dans ce contexte, cette thèse propose dès lors de s'interroger sur comment tenir compte des spécificités de

chacun et des situations qui peuvent influencer les déplacements piétons afin de garantir une ville propice à la marche, support aux mobilités quotidiennes ?

Notre méthodologie garantit 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. A cet effet, une typologie de voies et un relevé systématique des propriétés des tronçons (largeur, revêtement, hauteur à franchir) permettent d'identifier si les normes d'accessibilité sont respectées de manière à garantir un accès au plus grand nombre. Grâce à une approche pluridisciplinaire (géomatique, géographie-aménagement, analyse spatiale, santé et médecine), de nombreux outils tels que l'*indice synthétique de walkability* (ISW) ou le *score d'inclusion* ont ainsi pu être développés pour permettre une analyse de la capacité des espaces publics à accueillir équitablement une grande diversité d'usagers piétons au quotidien. En complément, la mise en place d'un questionnaire évaluant la capacité de mobilité pédestre d'un usager permet de personnaliser le modèle et de proposer des itinéraires individualisés pour se rendre d'un point A à un point B, dans différents contextes – météorologique, utilisation d'un support au déplacement (fauteuil, canne, béquilles, etc.). A cet effet, le questionnaire MoCaPA (*Mobility's Capacity of a Person Assesment*) inclut un protocole médical, le RAND-36 [Hays, 1998], qui permet d'identifier à quel point la santé physique d'une personne influence son quotidien. Les itinéraires individualisés sont ainsi basées selon une situation de handicap ressentie par l'usager.

Les analyses effectuées sur le centre-ville de Luxembourg ont montré des résultats prometteurs en révélant des stratégies d'aménagement favorisant la marche à travers une spécialisation du design urbain suivant les fonctionnalités des quartiers. Les diagnostics d'accessibilité et d'inclusion, quant à eux, attestent d'un véritable effort de la part de la ville de Luxembourg à accueillir une grande diversité d'usagers malgré une topographie très contrainte et une partie du centre-ville dotée d'une architecture médiévale. Des simulations ont pu être proposées pour évaluer l'utilité de la mise en place de certains aménagements (passerelle, ascenseur urbain) pour désenclaver des quartiers et garantir un accès à tous. La précision des itinéraires conseillés ont pu être testés sur une trentaine d'usagers aux différentes capacités de déplacement de manière à affiner le modèle. Les données qualitatives extraites de l'enquête-usagers nous ont permis de spécifier notre modèle en fonction des us et coutumes de la population locale. Au final, la mise en place du modèle de déplacements piétons PAWLux a permis d'effectuer une évaluation du centre-ville de Luxembourg-ville et proposer des itinéraires adaptés aux profils de mobilité pédestre des usagers piétons. Au cours de cette thèse, un véritable effort de collaboration avec des institutions locales a été effectuées (Info Handicap, Adaph, Ville de Luxembourg, Assurance dépendance, etc.) ainsi que de dissémination à travers des conférences nationales et internationales, la publication de deux articles et d'un chapitre d'ouvrage. Enfin, nous avons conçu le modèle de manière à lui permettre d'évoluer avec le temps en prévision de collaborations futures avec des spécialistes du domaines médicales pour pouvoir affiner les profils de mobilité pédestre et inclure de nouveaux types de handicap (cognitive, visuel, etc.). A travers une démarche innovante, PAWLux propose ainsi une solution pour identifier d'éventuelles situations de handicap selon les usagers et leur proposer un support d'aide à la décision en retour.

Bibliographie :

- 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
- HAYS Ron D., 1998. *Rand-36 Health Status Inventory*, Psychological Corporation, 126 p.
- LANTERI Raphaël, Gérard IGNAZI et Maryvonne DEJEAMMES, 2005. *Accessibilité des espaces publics urbains. Outil d'évaluation ergonomique*, Rapport CERTU, 44 p.
- LO Ria Hutabarat, 2009. « Walkability: what is it? », *Journal of Urbanism*, vol. 2, n°2, pp. 145-166
- MINAIRE Pierre, 2012. « Le handicap en porte-à-faux », *ALTER, European Journal of Disability Research*, « Retour sur textes », vol. 6, pp. 214-222
- ONU (Organisation des Nations-Unies), 2006. *Convention relative aux droits des personnes handicapées et Protocole facultatif*, Rapport, 38 p., consulté le 08/04/2015
- SOUTHWORTH Michael, 2005. « Designing the Walkable City », *Journal of Urban Planning and Development*, vol. 131, n°4, pp. 246-257
- THOMAS Rachel, 2003. « 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



Saint-Etienne, 28/01/2017

Destinataire : Le jury du prix de thèse IFRATH-KAELIS 2016

Objet : avis sur la candidature de Nadja Victor

Madame, Monsieur

J'ai le plaisir de recommander chaleureusement la candidature de Nadja Victor au Prix de thèse IFRATH-KAELIS 2016. Nadja a travaillé sous la double supervision de Olivier Klein, chercheur au LISER à Luxembourg, et de moi-même sur une méthode d'évaluation des déplacements piétons quotidiens dans la ville de Luxembourg. Les rapports de thèse et de soutenance vous ayant été communiqués, je me contenterai de renvoyer aux propos élogieux que Olivier et moi tenons dans ce rapport, et à ceux des autres membres du jury d'ailleurs. Nadja a conduit de manière rigoureuse et imaginative une recherche originale et innovante en combinant des capacités à la modélisation générique d'un problème et un sens aigu des situations concrètes et vécues par les personnes en chair et en os. Au-delà des qualités intrinsèques dans les méthodes et propositions de la recherche, cette association plutôt rare de formalisme et de pragmatisme me semble à souligner.

La recherche de Nadja Victor apporte des pistes de solution scientifiquement fondées et rapidement applicables pour favoriser l'accessibilité à l'espace urbain des personnes en situation de handicap et accroître leur autonomie. Ces solutions peuvent être mises en œuvre dans les systèmes d'information urbain afin de faciliter les projets des aménageurs. Elles pourraient aussi rapidement être mises à disposition directe des usagers afin qu'ils organisent eux-mêmes leurs déplacements et puissent agir plus efficacement auprès des pouvoirs publics pour l'amélioration de leur environnement quotidien.

J'espère que le Jury du prix de thèse IFRATH-KAELIS 2016 partagera notre enthousiasme à propos de cette thèse et lui accordera une récompense, que je pense méritée.

Avec mes sentiments sincères,

Thierry Joliveau
Professeur de Géographie et Géomatique
UJM-Université de Lyon
Chercheur de l'UMR Environnement-Ville-Société

Dr Olivier Klein

Directeur du Département Développement Urbain et Mobilité

LISER | Luxembourg Institute of Socio-Economic Research

11, Porte des Sciences

L-4366 Esch-sur-Alzette

Grand-Duché de Luxembourg

olivier.klein@liser.lu

Esch-sur-Alzette, le 28 Janvier 2017

Objet : Prix de thèse IFRATH-KAELIS 2016. Avis sur la candidature de Nadja Victor

Mesdames et Messieurs les membres du Jury,

En tant que co-directeur de la thèse de Nadja Victor, je soutiens pleinement sa candidature au prix de thèse IFRATH-KAELIS 2016. Cette thèse de doctorat soutenue publiquement le 24 octobre 2016 propose la mise en place d'outils pour l'***Evaluation des déplacements piétons quotidiens***, avec une application se focalisant sur le quartier historique de la ville de Luxembourg. L'objectif sous-jacent à cette recherche est de rendre la ville accessible à tous, quelle que soit la situation de handicap de l'utilisateur, et d'encourager les déplacements des personnes à mobilité réduite à l'aide d'un prototype d'outil d'aide à la décision.

A partir d'une revue de littérature adaptée et d'un développement méthodologique original, la thèse propose un outil d'aide à la décision qui s'adresse simultanément à des personnes en situation de handicap et à des décideurs locaux. En premier, le prototype vise à améliorer la qualité des déplacements de l'ensemble des usagers et plus particulièrement les personnes en situation de handicap. Ainsi, en fonction des caractéristiques physiques des usagers, l'outil propose une série d'itinéraires possibles, dont l'itinéraire le mieux adapté à leurs conditions de déplacement. En second, cet outil s'adresse également à des décideurs locaux en leur fournissant des indicateurs d'évaluation des espaces urbains. Parmi ces indicateurs, la mesure du degré d'inclusivité permet une aide à la décision adaptée afin de prioriser les lieux d'interventions et de rendre accessible la plus grande partie des espaces urbains.

D'un point de vue théorique et appliqué, cette thèse apporte un ensemble d'éléments permettant d'améliorer les déplacements quotidiens des personnes en situation de handicap. Aussi, je soutiens pleinement la candidature de Nadja Victor pour le prix de thèse IFRATH-KAELIS 2016, en espérant que le jury partagera également cet avis. N'hésitez pas à me contacter si vous avez besoin d'informations supplémentaires.

Avec toute ma gratitude, je vous prie d'agréer, Mesdames et Messieurs, l'expression de mon profond respect.

Olivier Klein



24 Octobre 2016

Thèse de Géographie

Université de : Saint Etienne

Candidate : N Victor

Titre : Évaluation de la thèse de doctorat de N. Victor intitulée *Évaluation des déplacements piétons quotidiens : Application à la ville de Luxembourg*

Jury :

Mme Cloutier INRS-UCS en viséoconférence de Montréal, examinatrice

Mme Davoine, Université de Grenoble, rapporteur

M Escobar, Université Alcalá de Henares, Espagne, rapporteur

Mme Weber, CNRS, Montpellier, examinatrice

Et

M Klein, Liser, Luxembourg

M Joliveau, Université de St Etienne

Co directeurs

/

Après la présentation des membres du jury, la présidente Mme Weber donne la parole à Mme Victor pour une soutenance de 30 minutes.

A la suite de cette présentation, la présidente donne la parole à M Olivier Klein, chercheur au LISER (Luxembourg Institute of Socio-Economic Research) en tant que co-directeur pour fournir les éléments de cadrage des travaux réalisés.

O. Klein, co directeur

M. Klein tient particulièrement à féliciter la candidate qui a mené avec enthousiasme un travail de recherche intense et sérieux. Cette thèse de doctorat est une première collaboration entre l'Université Jean Monnet, le Laboratoire EVS-ISTHME et le LISER. Le co-directeur de thèse revient sur le parcours de Nadja Victor.

A la fin de l'année 2009, le LISER a publié une proposition de stage ayant pour sujet une première mesure de l'accessibilité piétonne à Luxembourg-Ville. La candidate, étudiante en Master 2 « Territoires, Patrimoines, Environnement, SIG » à l'Université Jean Monnet, est arrivée au CEPS/INSTEAD, ancien nom du centre de recherche, au printemps 2010. Durant cette période de stage de 6 mois, Nadja Victor a fait preuve de bon nombre d'initiatives et a proposé un premier modèle d'accessibilité fonctionnel qui tient compte de trois grandes catégories d'utilisateurs : personnes à mobilité classique, personne à mobilité réduite et personne à mobilité très réduite. Ce mémoire de Master s'est vu décerner le prix « environnement et développement durable » au concours de l'Association des Amis de l'Université de Lyon ». La qualité du mémoire et les possibilités d'étendre ces recherches témoignèrent de l'aptitude de la candidate à poursuivre sa carrière en menant une recherche doctorale.

A l'issue de ce stage, Nadja Victor a continué à collaborer avec le LISER dans le cadre d'un projet INTERREG ayant pour objet la promotion d'alternatives à la voiture. En parallèle, à ce contrat, la candidate a développé un projet de recherche qui a été soumis au Fonds National de la Recherche du Luxembourg. Cette demande de financement, très compétitive, a été retenue et la candidate obtint un financement pour sa thèse.

Le travail de thèse menée par Nadja Victor est de grande ampleur avec une réflexion théorique sur la marche menée à partir d'une revue de littérature pluridisciplinaire. De là, elle a proposé un développement méthodologique adapté au déplacement piéton en se focalisant sur les interactions entre usagers et environnement. La proposition méthodologique a ensuite été appliquée sur la ville de Luxembourg, terrain propice à l'expérimentation, en ayant recours à des collectes de données conséquentes pour compléter les bases

de données existantes. Des indicateurs d'évaluation aussi bien à destination d'usagers que de professionnels de l'aménagement ont ensuite été proposés.

Le résultat de cette recherche fait l'objet de la présente évaluation. Il est également mesurable d'un point de vue académique avec la publication d'un chapitre d'ouvrage (In Lord et al., 2015, *Mobilité et exclusion quelles relations ?*, Presses de l'Université de Laval), de deux articles (dans la *Revue Internationale de Géomatique* et dans *Espace, Populations, Sociétés*) ; un troisième en anglais devrait voir le jour après la soutenance. Ce travail a également fait l'objet de participations à différentes conférences nationales et internationales parmi lesquelles Théoquant, les journées ESRI, BIVEC-GIBET Transport Research Day, ACFAS, SAGEO ou encore International Cartographic Conference.

Nadja Victor a également participé à la vie du centre, et notamment à différentes actions de promotion scientifique comme la Nuit des chercheurs à Luxembourg, le Festival International de Géographie de Saint-Dié-des-Vosges ou encore l'action Chercheurs à l'école organisée par le Fonds National de la Recherche du Luxembourg. Au niveau du LISER, elle a contribué à la création des InterLabs, à savoir l'organisation d'une première journée doctorale au LISER. Cette initiative bien que n'ayant eu que deux éditions, se poursuit aujourd'hui sous une autre forme dans notre institution.

Toutes ces activités de recherche témoignent de l'implication et du sérieux de la candidate. Olivier Klein tient une nouvelle fois à lui exprimer ses félicitations.

Marie-Soleil Cloutier, examinatrice.

Selon Mme Cloutier, la présentation faite par la candidate de ses travaux de thèse lors de la défense était excellente. Elle a permis, entre autres, d'expliquer la démarche scientifique sous-jacente à la thèse de façon claire et équilibrée entre les différentes étapes méthodologiques et leurs assises dans la revue des écrits. Cette présentation était un excellent complément à la thèse, notamment pour la deuxième partie qui était parfois complexe et peu synthétisée. L'usage des figures/diagrammes et des cartes a enrichi de beaucoup le propos. Comme l'a dit une autre intervenante lors de la défense (Mme Davoine), leur utilité vient du fait que la candidate nous donné les explications de vive voix ! Pour Marie-Soleil Cloutier, cela a grandement bonifié sa compréhension de certaines cartes dans la thèse d'ailleurs.

Lors de la discussion qui a suivi la présentation, elle a posé trois questions à la candidate. La première concernait les enjeux entourant l'équité socio-spatiale dans la marche, notamment pour les femmes (leurs perceptions du danger ne sont pas les mêmes que les hommes, entres autres), et le choix du lieu de résidence (les gens qui ont le « luxe » de choisir leur lieu de domicile en fonction de la qualité de marche, par exemple). La candidate y a répondu de façon satisfaisante en soulignant que les entretiens ont en effet démontré un usage différencié de la marche chez les femmes. Elle a aussi mentionné le problème qui reste entier pour les quartiers défavorisés moins bien desservi pas les transports collectifs : la marche est alors complémentaires, voire essentielle au quotidien, d'où l'importance d'un réseau accessible.

La seconde question était en lien avec l'élaboration des profils de restrictions, de leur application à son exemple empirique et de leur utilisation dans d'autres contextes. La candidate a ajouté des précisions pertinentes sur la construction de ces profils en revenant au passage sur les forces et les faiblesses de l'analyse multicritère. Elle admet par ailleurs qu'un effort d'adaptation de ces restrictions est à faire pour les utiliser dans d'autres contextes, quoiqu'ils reposent tout de même sur une revue des écrits solide. L'apport de professionnels de la santé a été souligné comme étant un incontournable sur ce point.

La troisième question concernait le « réel » accès que les plus vulnérables devraient (ou pourraient) avoir en lien avec les outils comme celui qui est proposé ici en fin de thèse. Les personnes âgés et les moins nantis, par exemple, ne sont-ils pas encore plus « démunis » devant ces outils qui demandent de posséder un appareil (téléphone ou ordinateur) et une certaine connaissance de la technologie. La candidate est bien consciente des limites de ce type d'outils et rajoute même que la lecture d'une carte n'est pas donnée à tous non plus. Par ailleurs, elle souligne que l'outil s'avère potentiellement plus intéressant pour les aménageurs et que dans le temps, nous aurons aussi potentiellement plus d'usagers à même d'en « profiter ». Devant la qualité de la thèse et les réponses

satisfaisantes, Marie-Soleil Cloutier affirme en tant qu'examinatrice externe que la candidate a réussi haut la main sa défense et la félicite du travail colossal accompli.

Paule Davoine, rapporteure

Paule-Annick Davoine, félicite Nadja Victor pour la qualité de son manuscrit et de son exposé, montrant son expertise dans le domaine de la « marchabilité », et la maîtrise de nombreux concepts et méthodes d'analyse spatiale. Elle souligne aussi tout l'intérêt qu'elle a eu à lire ce manuscrit très volumineux qui explique très bien le déroulement de la démarche de recherche et montre la capacité de la candidate à mener un raisonnement scientifique. Elle précise aussi que le manuscrit fait preuve d'un vaste travail de recherche aboutissant à des contributions riches et de différentes natures : les revues de littératures effectuées sur les différentes thématiques mobilisées (mobilité et réseaux urbains, accessibilité, marchabilité, médecine...) sont bien construites et permettent de bien comprendre les choix méthodologiques sur lesquels sont construites les différentes propositions. Les contributions se situent aussi bien au niveau conceptuel qu'opérationnel : réseau pédestre urbain, modèle de déplacement piétonnier, audits urbains, indices d'évaluation de l'accessibilité, instanciation du modèle. P-A Davoine, souligne aussi l'aspect opérationnel de la recherche, non seulement à travers une étude de cas – celle de l'analyse de l'accessibilité et de la marchabilité de Luxembourg Ville, mais aussi via les spécifications d'un système d'information géographique dédié. P-A Davoine précise aussi que le travail impressionne aussi en termes de collecte de données nécessaires à la constitution du réseau pédestre de Luxembourg, de mobilisation de méthodes aussi bien quantitatives que qualitatives, et d'ingéniosité pour trouver des solutions aux questionnements. A l'issue de cette évaluation globale très positive, P-A Davoine pose un certain nombre de remarques qui font l'objet d'une discussion. La première remarque concerne la démarche d'élaboration et de validation du modèle de déplacement piéton basée uniquement sur la ville de Luxembourg. Nadja Victor explique que sa proposition fait l'objet d'applications sur d'autres villes européennes contribuant ainsi à sa validation et montrant le caractère générique de ses propositions. P-A Davoine enchaîne sur la question de l'enrichissement sémantique du réseau pédestre qui est une véritable problématique que Nadja Victor a soulevé à juste titre. Le modèle de déplacement piéton nécessite de mobiliser une importante quantité de données variées (données réseaux, données urbaines et environnementales, données sur les usagers, ...). Nadja Victor précise la difficulté d'obtenir ces données qui sont dispersées dans différents services urbains généralement très cloisonnés. Elle propose de s'appuyer sur une approche de production collaborative et citoyenne des données (Volunteered Geographical Information) basée sur le principe « donnant-donnant ». Cette approche nécessite de mettre en place des protocoles permettant à la fois d'inciter les personnes à contribuer et d'intégrer la question de la qualité des données collectées. P-A Davoine interroge aussi Nadja Victor sur la visualisation des données qui constitue un aspect peu valorisé de la recherche. Nadja Victor reconnaît que la cartographie des données de réseaux et de mobilité pose des problèmes de visibilité et de lisibilité et qu'il serait intéressant de mener des recherches spécifiques sur cette question.

Paule-Annick Davoine conclut en félicitant à nouveau Nadja Victor, pour la qualité de la recherche réalisée et qui ouvre de nombreuses perspectives. Elle souligne aussi les nombreuses publications que Nadja Victor a déjà réalisées, et l'encourage à poursuivre la valorisation de ses résultats de recherche sous différentes formes

Francisco Escobar, rapporteur

M. Escobar félicite à la fois la doctorante et ses directeurs de thèse en soulignant qu'il s'agit d'un travail de recherche de haute qualité. Travail dont M Escobar tient à souligner les principales qualités :

- Une bibliographie abondante, intéressante et à jour ;
- Une approche méthodologique adaptée ;
- Un nombre impressionnant d'outils méthodologiques ; du SIG au travail de terrain ; enquêtes, cartographie, suivi GPS, statistiques et même analyse qualitative ;
- Des résultats permettant des progrès remarquables dans un certain nombre de domaines et de disciplines : sciences de l'information géographique, géographie, urbanisme et design, santé publique...
- Un focus sur l'individu, et pas seulement sur l'environnement ;

- Une présentation extrêmement complète de nouvelles lignes de recherche ouvertes en conclusion de la thèse.
- D'autres aspects formels : un travail très bien présenté à la fois dans sa structure et dans sa mise en page.

M Escobar présente ensuite quelques critiques concernant les points suivants :

- Il n'a pas pu discerner quelles étaient l'hypothèse principale du travail, et il souligne que les objectifs auraient pu être plus clairement présentés ;
- de plus il aurait aimé avoir une justification au sujet du choix de l'approche vecteur.

Les trois questions principales posées par M. Escobar concernent :

1. Le choix d'une approche vecteur alors que la nature sans restriction de la mobilité des piétons semblerait en principe plus adaptée à l'aide d'une approche raster ?
2. Outre les caractéristiques physiques de l'environnement et les différentes caractéristiques possibles de l'usager qui sont extrêmement bien analysées, pourquoi la thèse n'a-t-elle pas tenu compte de caractéristiques perçues de l'environnement sachant que cette perception a un impact fort sur le comportement humain ?
3. Enfin pourquoi la technologie Lidar n'a-t-elle pas été considérée comme un substitut au vaste et intense travail de terrain ?

Le sentiment général de M. Escobar est que la candidate au doctorat n'a pas pu fournir des réponses aussi précises que dans le travail présenté. L'approche vecteur a été justifiée par l'objectif d'appliquer la théorie des graphes. Toutefois, Mme Victor a reconnu qu'une approche basée sur le raster pourrait également être envisagée et qu'elle aurait peut-être été mieux adaptée. La réponse à la seconde question a été très bien développée. Dans les faits, Mme Victor semblait bien connaître le sujet et a même envisagé d'inclure une sorte d'analyse cognitive dans la thèse. Cette option a été abandonnée du fait de la longueur de la thèse qui était déjà plus que suffisante. M. Escobar a été satisfait par sa réponse. Bien que la troisième question ait été incluse dans le rapport de pré-soutenance, la candidate ne s'est pas, semble-t-il, assez préparée à y répondre. Elle a limité sa réponse en montrant un attrait pour la technologie Lidar, mais elle ignorait les éventuels problèmes associés à cette technologie (coût, quantité de données nécessaires pour toute une ville, résolution spatiale...). Dans l'ensemble, M Escobar émet un regret quant au décalage entre l'excellent niveau écrit de la thèse et le niveau inégale de réponses fournies à ses questions. Cela n'empêche que M Escobar reconnaît un travail de recherche d'excellence et félicite à nouveau à la doctorante.

Thierry Joliveau, co-directeur

Pour Thierry Joliveau, cette soutenance est à la fois un grand plaisir et une vraie satisfaction. Nadja Victor a rejoint l'Université de Saint-Etienne après une licence de géographie pour suivre un Master 1 en géographie suivi d'un master 2 en sociologie « Espaces publics : design, architecture et pratiques ». Elle a ensuite complété son cursus par un master 2 en SIG. Les trois mots qui résument son parcours universitaire design, espace public et SIG sont ainsi ceux de sa thèse. Celle-ci est dans le prolongement logique d'un parcours académique rapidement mené et bien réfléchi, combinant Information géographique et action sur l'espace commun. C'est à Olivier Klein que revient l'essentiel du crédit de l'encadrement de la thèse puisque Nadja était basée au LISER à Luxembourg. Thierry Joliveau l'a suivie à distance à travers de nombreux échanges sur l'avancée de la thèse elle-même ou à l'occasion de la rédaction d'articles, car Nadja a produit un important travail de publication en parallèle de son travail de thèse. Travailler avec Nadja a été très agréable. Rigoureuse, organisée, perfectionniste mais aussi créative, avec un enthousiasme qui accompagne un solide réalisme, elle a su mener à bien ses recherches en trouvant les moyens qu'il fallait et en s'intégrant dans le collectif compétent et dynamique du LISER, tout en mobilisant celui-ci sur son projet propre. Ses recherches illustrent la capacité de Nadja à combiner deux capacités souvent peu conciliables : un sens de la formalisation générique des problèmes et des solutions à apporter et une capacité à inventer des solutions ancrées dans le concret et dans la réalité spécifique des individus. Abstraire et modéliser une situation par des critères et de règles formelles élaborés scientifiquement tout en partageant ces constructions avec les individus et les collectifs concernés pour agir, voilà ce qui meut Nadja, et qui est très représentatif de l'expertise nécessaire actuelle et à venir. Ces qualités s'expriment pleinement dans la thèse qu'elle soutient aujourd'hui.

Christiane Weber, présidente

Christiane Weber félicite la candidate pour la qualité de la thèse et les efforts fournis pour sa réalisation ; efforts dans bien des domaines (GIS, analyse spatiale, santé etc.). Elle a été particulièrement attentive aux données collectées et aux indicateurs proposés. Ainsi sa première question porte sur le fait qu'un des scores entrant dans la caractérisation de la pondération selon les profils des marcheurs vient d'études nord-américaines. N'y a-t-il pas un biais à utiliser ce type d'information? Les différences évidentes entre les modes de vie entre les États Unis et l'Europe ne risquent-elles pas de trop influencer les résultats?

Toujours dans le même ordre d'idée, Mme Weber signale qu'elle aurait aimé avoir un paragraphe ou quelques lignes sur les données utilisées ; en effet certaines sont potentiellement plus « efficaces » que d'autres comme les données LandSat par exemple qui ne sont pas toujours intéressantes en milieu urbain etc. Les entrées des choix méthodologiques sont tout aussi importantes que les méthodes elles-mêmes.

La troisième question tourne autour de l'opérationnalité d'un tel projet. Il manque selon elle, une dimension économique à la proposition de l'outil de diagnostic. Quel est le coût de la mise en place et celui de la mise à jour des données? Pour être pertinent pour une collectivité, il faut qu'elle puisse définir l'investissement en homme et en moyens à mettre en face d'un gain de fonctionnement ou d'amélioration de la mobilité.

Une dernière question tourne autour de l'équité, concept déjà avancé. Mme Weber pense que celle-ci n'existe pas face aux avancés technologiques selon les populations. Ne pourrait-on pas dès lors proposer d'autres supports à la population en complément? Par exemple des bornes interactives accompagnées d'une signalétique?

Mme Victor répond à l'ensemble de ces questions avec pertinence et franchise, notamment sur le volet économique de ses travaux qu'elle n'a pas posé. Pour la dernière question elle fait état de réalisations qui vont dans le sens d'un apport plus équilibré des informations fournies à la population dans des lieux intermodaux de déplacement dans certaines villes européennes.

Mme Weber la remercie et réitère ses félicitations.

Après délibération, le jury décerne le titre de docteur en géographie à Mme Victor, il souligne que l'université de St Etienne ne décerne plus de mention depuis mai 2016, mais assure la candidate que la qualité des travaux lui aurait certainement permis d'obtenir les félicitations du Jury.

Le Président du jury

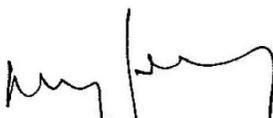
C. Weber



 Paul-Annick BAVOINE

Les membres du jury


 F. ESCOBAR


 Th. JOLIVEAU


 O. KLEIN



Marie-Soleil Cloutier



Rapport sur le manuscrit de thèse de Nadja Victor intitulé « Évaluation des déplacements quotidiens : application à la ville de Luxembourg »

Nadja Victor soumet un manuscrit de thèse de 432 pages (annexes comprises) afin d'obtenir le grade de docteur de l'Université Jean Monnet, Saint-Etienne, spécialité Information Géographie et Applications, dans la discipline Géographie. Ce doctorat de l'Université Jean-Monnet, Saint-Etienne, a été réalisé conjointement au sein de l'Unité Mixte de Recherche Environnement Ville et Société (UMR5600) sous la direction de Thierry Joliveau, professeur à l'Université de Saint-Etienne, et au Luxembourg Institute of Socio-Economic Research sous la co-direction d'Olivier Klein, chargé de recherche. La thèse s'inscrit dans le projet PAWLux (Pedestrian Accessibility and Walkability in Luxembourg-city) financé par le Fonds National de la Recherche luxembourgeois.

Motivations et objectifs de la thèse

Les travaux de thèse de Nadja Victor abordent la problématique des déplacements quotidiens des piétons au moyen d'outils et de méthodes issus de l'analyse spatiale. Nadja Victor s'intéresse à la prise en compte de la diversité des capacités de mobilité des usagers et des situations de contexte environnemental dans les modèles de déplacements quotidiens afin de promouvoir la marche en milieu intra-urbain. L'objectif de la thèse est de proposer un outil d'aide à la décision, permettant « d'analyser la capacité d'un réseau pédestre à accueillir une grande diversité d'usager et à disposer d'environnements urbains favorisant la marche ». Cette recherche repose sur le constat que la ville dans ses caractéristiques morphologiques ne favorise pas les déplacements des piétons. Nadja Victor s'est attachée à développer une méthodologie et un modèle basés sur une approche SIG permettant de considérer différents contextes de déplacement, les spécificités de mobilité des usagers (motricité, caractéristiques physiques ...) ainsi que celles de l'environnement (type et caractéristiques des voiries, aménagements urbains, aménités ...). L'originalité de ce travail réside dans la démarche inclusive retenue pour l'élaboration d'un modèle de déplacement multi-usager (avec différents niveaux de motricité physique des individus) et multi-scalaire (du tronçon à la ville) et la prise en compte des interrelations usagers-environnement. Nadja Victor s'est donnée comme objectif de prendre en compte un maximum de situation en termes d'accessibilité, en prenant en compte une diversité de profils d'usagers s'inscrivant dans un continuum allant de la mobilité classique à la mobilité très réduite (personne en fauteuil roulant). La construction du modèle prend appui sur un cas d'étude spécifique, celui de la ville de Luxembourg, et fait l'objet d'une validation montrant ainsi le caractère applicatif et opérationnel des propositions.

Le manuscrit est particulièrement riche en contributions de différentes natures : revues de littératures, conceptualisation, propositions méthodologiques de collecte de données et d'audit urbain, modélisation et enrichissement sémantique d'un réseau pédestre, construction d'indices d'évaluation, instanciation et opérationnalisation d'un modèle, implémentation d'un outil d'aide à la décision, mais aussi analyse géographique des caractéristiques de Luxembourg Ville et de son accessibilité. Le manuscrit est structuré en 3 parties, auxquelles s'ajoutent, un chapitre d'introduction et un chapitre de conclusion, une bibliographie et huit annexes (qui constituent une partie non négligeable du document). Les trois parties correspondent aux différentes étapes de la recherche : positionnement scientifique et encrage méthodologique ; propositions et contributions scientifiques ; validation des propositions. Les références bibliographiques sont particulièrement nombreuses, pertinentes et largement internationales. Les annexes détaillent les matériaux produits pendant la thèse et présentés dans le corps du manuscrit, à savoir la description des données produites, les méthodes de conversion des espaces ouverts en réseau pédestre ; les questionnaires réalisés pour la collecte des données et l'audit urbain, les grilles d'entretien ...

Le manuscrit est très bien soigné, bien rédigé, bien illustré. Un effort a été fait pour proposer des transitions entre toutes les parties, tous les chapitres, sections et sous sections. Des conclusions synthétiques à la fin de chaque chapitre et de chaque partie sont là pour faciliter la compréhension



globale de la recherche. Toutefois, cette volonté systématique de rappel des objectifs, sous objectifs, choix méthodologiques a tendance à favoriser les répétitions, ce qui a pour conséquence de complexifier la lecture.

Avant de présenter le contenu de la thèse, nous pouvons d'ores et déjà préciser que le travail réalisé par Nadja Victor est substantiel, bien ancré dans les questions méthodologiques de l'accessibilité et de la marchabilité en milieu urbain. Les solutions proposées sont opérationnelles et d'un grand intérêt pour mieux comprendre et analyser selon une approche multiscalaire, les problématiques de la marche et des déplacements piétons en milieu urbain.

Contenu de la thèse

L'introduction positionne la thèse de façon synthétique en termes de contexte et de problématique, d'objectifs. La démarche méthodologique est annoncée à travers la présentation des différentes parties de la thèse. On comprend que l'objectif est d'apporter des solutions concrètes pour favoriser les déplacements piétons des usagers dans un espace urbain dont la morphologie est caractérisée par des coupures urbaines variées et de différentes natures : macro-coupures comme les grandes infrastructures de transport, de loisirs ou autres ; micro-coupures situées à l'échelle de la rue ou du tronçon de rue comme les chicanes, trottoirs, traversées On retient que Nadja Victor souhaite s'intéresser à une diversité de profils de motricité et que les interrelations usagers-environnement doivent être prises en compte pour mieux comprendre les problématiques de déplacements piétons.

La première partie intitulée « de la marche au déplacement piéton » contient 3 chapitres. Elle constitue un état de l'art sur les concepts de marche et d'usager piéton dans un contexte de déplacement urbain. De nombreux concepts, issus de différentes disciplines, et notamment de la médecine sont mobilisés. Cette partie est très pédagogique avec un effort particulier pour présenter les différents facteurs physiques, physiologiques et environnementaux influençant l'usager dans sa pratique de la marche urbaine au quotidien. L'auteure s'attache à expliquer les relations entre état de santé des individus et pratique de la marche. Ceci conduit l'auteure à justifier son positionnement scientifique et l'originalité de la recherche. Elle introduit la notion d'interrelations usagers-environnement et définit les concepts à mobiliser pour la création du modèle de déplacement piéton envisagé. A l'issue de cette première partie, on perçoit bien les fondements théoriques et méthodologiques sur lesquels va reposer la recherche.

La seconde partie, composée de 3 chapitres, porte sur la « Mise en place du modèle de déplacements piétons urbains » lui-même. Basée sur une approche SIG, l'approche retenue pour l'élaboration du modèle est constituée de 4 étapes : 1) construction d'un réseau pédestre ; 2) configuration du modèle selon les interrelations usagers-environnement ; 3) évaluation multi-échelles ; 4) visualisation. Cette partie constitue une des contributions charnières de la thèse. Elle est particulièrement riche en propositions.

À partir d'une synthèse des outils connexes, Nadja Victor met en lumière les limites des SIG pédestres existants pour l'analyse des déplacements piétons. Elle met en avant la problématique des données nécessaires à l'exploitation de ces outils. À partir de ce constat, elle positionne ses choix méthodologiques pour la construction du réseau pédestre. Elle propose de recourir à la théorie des graphes et au système d'information géographique pour construire un réseau sous forme d'objets vecteurs. Il s'agit là d'une approche classique et largement reconnue dans la littérature. A plusieurs reprises, Naja Victor précise « qu'un réseau pédestre construit selon une approche par objet vecteurs facilite la prise en compte des relations environnement-usagers ». Cependant un réseau de déplacement basé sur la théorie des graphes, n'est-il pas toujours constitué d'objets vectoriels ?

En revanche la difficulté et la complexité de la recherche se situent dans le fait que l'auteure souhaite enrichir cette modélisation. Elle prend notamment en compte la topologie du réseau en rapport avec les coupures urbaines, (macro-coupures et micro-coupures tels que trottoirs, rues piétonnes, traversées matérialisées et informelles...), les espaces ouverts qui offrent une certaine liberté de déplacement, ainsi que la topographie en rapport avec les caractéristiques de motricité physique des usages. Nadja Victor apporte des solutions concrètes à ces verrous à partir de méthodes identifiées dans la littérature et qu'elle adapte à sa problématique (modélisation des espaces ouverts la forme de segments linéaires). L'auteure montre aussi que la construction d'un tel type de réseau nécessite de croiser différentes bases de données géographiques urbaines existantes, de les adapter mais aussi d'en créer de nouvelles afin de prendre en compte les infrastructures utilisées par les usagers piétons, ainsi que les



interactions usagers-environnement. Dans un esprit de généricité de son modèle, Nadja Victor définit aussi de façon rigoureuse les spécifications préalables à la digitalisation et à la saisie des données (afin de compléter les bases de données urbaines) en s'appuyant toujours sur des éléments de la littérature, mais aussi sur des observations de terrain. Une fois l'ensemble des objets construits, ceux-ci doivent être renseignés sémantiquement. Toujours dans une démarche exhaustive et rigoureuse, elle propose une typologie des voies urbaines qui prend en compte une diversité de cas de figure. Elle élabore aussi une grille de collecte de données permettant de relever de façon systématique et quasi exhaustive, les éléments du milieu urbain susceptibles d'influencer le déplacement piéton : caractéristiques physiques et topographiques des segments, leur état de propreté, aménagements urbains existants, aménités situées à proximité, mais aussi les aménagements adaptés aux usagers en situation de mobilité réduite... Au delà de l'objectif initial de collecte d'informations, cette grille constitue aussi un support pour l'établissement de diagnostics morpho-fonctionnels destinés à prendre en compte aussi les situations de handicaps et pour la réalisation d'un audit urbain relatif aux déplacements piétons. Si la méthode proposée trouve tout son intérêt, l'auteure reconnaît que sa mise en œuvre est lourde et chronophage. Se pose donc le problème de la collecte des informations sur le terrain. Nadja Victor, évoque des solutions issues de la littérature (audit urbain virtuel ou d'une approche basée sur le *crowdsourcing*) mais préfère travailler à une échelle micro et retenir la solution d'un sous échantillonnage spécifique à un territoire choisi. On comprend qu'il s'agit-là, d'une problématique de recherche en soit et que la priorité pour l'auteure est de disposer d'un jeu de données pertinentes pour instancier le modèle. Mais quels ont été les critères retenus pour choisir l'échantillon ?

Une fois le réseau pédestre construit et renseigné, Nadja Victor s'attache à proposer les variables intervenant dans le calculateur d'itinéraires et qui permettent de prendre en compte les interrelations usagers-environnement. Pour répondre à cette problématique, Nadja Victor fait ici la distinction entre variables interindividuelles (i.e. entre les individus au sein d'un groupe) et les variables individuelles (i.e. pour un même individu mais dans des contextes de déplacements et environnementaux différents). Dans le premier cas, elle définit une méthode basée sur la détermination de profils de vitesse et de consommation énergétique identifiée dans la littérature en médecine. L'idée est d'affecter à chaque tronçon des coûts de déplacement (temps de déplacement, énergie nécessaire pour la marche) tout en tenant compte de la typologie et des types de pente des tronçons ainsi que des caractéristiques de l'individu (âge, motricité, genre). Dans le second cas, l'auteure s'intéresse à l'influence de la santé physique sur les déplacements et aux réactions des usagers pendant leur déplacement. Le premier aspect est mesuré à travers un indice de santé physique (nommé Physical Health Composite) qui tient compte de quatre facteurs intervenant dans le processus de mobilité : perception générale de la santé, fonctionnement physique, rôle des limitations dues à des problèmes de santé et la douleur. En revanche, le second aspect est observé à partir d'un questionnaire, mais les informations d'ordre qualitatif et subjectif ne sont pas intégrées dans le SIG. Ainsi la construction de ces variables lui permet d'identifier des profils de restriction au réseau pédestre et de les individualiser selon les territoires et la population. Les données nécessaires à l'élaboration de ces indices sont collectées au moyen de questionnaires usagers renseignant sur la capacité motrice d'un piéton et l'influence de son état de santé sur la mobilité pédestre. La méthode est intéressante et originale, notamment dans les variables à prendre en compte, et s'avère pertinente. (Petite remarque : quelle est la différence entre les extraits de questionnaires présentés en figures V-4 et V-5 ? Il semblerait que ce soit les deux mêmes).

Une fois le SIG « configuré », Nadja Victor s'intéresse à « l'évaluation de la capacité d'un réseau à favoriser la marche » (chapitre VI). Pour cela, elle s'appuie sur des indices connus de la littérature (accessibilité, linéarité et connectivité du réseau, proximité et accessibilité globale au réseau pédestre), mais construit une série de mesures plus spécifiques permettant de prendre en compte les interrelations usagers-environnement : indice global d'accessible inclusive, indice local de potentiel d'accessibilité, indice local de proximité aux aménités, indice de mixité et de diversité, indice de densité de population, indice de verdure, indice de la qualité du design urbain. Ces indices lui permettent de calculer un Indice Synthétique de *walkability* (ISW) pour évaluer les secteurs favorables à la marche. Elle utilise aussi la notion de score d'inclusion qui permet de mesurer la capacité d'un espace à être équitablement favorable à la marche selon les différents profils d'usagers. Ce score permet de



comparer l'indice de *walkability* calculé à un profil de référence sans difficulté motrice particulier et dont l'état de santé n'influe pas.

La troisième partie intitulée « Ville de Luxembourg : des déplacements piétons favorables à tous ? » présente un cas d'application du modèle d'évaluation des déplacements piétons proposé. Selon l'auteure, la ville de Luxembourg présente les caractéristiques adéquates pour tester et valider le modèle.

Composée de 3 chapitres, cette partie présente dans un premier temps les résultats issus d'une enquête de perception réalisée auprès d'un petit groupe d'usagers piétons de Luxembourg Ville. L'objectif est d'identifier en « quelles circonstances les interrelations usagers-environnement peuvent être considérées comme favorables ou défavorables à la marche ».

A partir de l'analyse des pratiques piétonnes effectuée sur un échantillon restreint de personnes, l'auteure tente de prioriser les conditions de déplacements recherchées par les usagers et d'en déduire une pondération des indicateurs intervenant dans le calcul de l'ISW en fonction de l'influence de l'état de santé sur la mobilité. Deux scénarios de pondération sont proposés selon que le contexte de déplacement correspond à budget temps contraint ou non. Nadja Victor procède aussi à la qualification du réseau pédestre de la ville de Luxembourg afin d'« évaluer si l'accessibilité piétonne dans la ville de Luxembourg est ouvert à tous ». L'analyse multi-échelle lui permet d'identifier à la fois les situations d'enclavement et d'inégalités d'accès au réseau pour différents profils de mobilité pédestre. L'auteure évalue donc les indices proposés, analyse les résultats quantitatifs obtenus et les compare avec les données qualitatives issues de l'enquête. Elle montre que l'accessible des quartiers est très variable d'un quartier à l'autre selon le profil de motricité et identifie les obstacles majeurs responsables de ces diversités d'accessibilité. Elle en conclue notamment que le réseau pédestre de la ville de Luxembourg est fortement contraint par la présence de coupures urbaines et d'obstacles aux déplacements. Les résultats obtenus font l'objet de visualisations cartographiques, ce qui facilite leur compréhension, même si dans certains cas la perception et la lisibilité des cartes sont délicates (en raison notamment de la taille des figures et de la difficulté à représenter des objets linéaires).

L'analyse est bien menée, construite de façon méthodique et pédagogique même si le texte comprend parfois des redondances. On perçoit bien la volonté de l'auteure à démontrer l'intérêt des méthodes proposées en menant une analyse poussée de la marchabilité de la ville de Luxembourg dans certains quartiers. Par ailleurs, au delà de cette analyse et de celle de la capacité de la ville à favoriser la marche, l'auteure identifie aussi les limites de ses propositions méthodologiques. Ce qui est tout à son honneur. On peut toutefois s'interroger sur la place et le contenu du chapitre VII qui présente de façon plutôt descriptive les verbatim obtenus lors de l'enquête de perception et donne un sentiment de répétition perturbant la lecture. Si effectivement l'objectif ici est de collecter les informations nécessaires à la calibration du modèle. Ce chapitre aurait gagné être plus analytique et synthétique en mettant plus l'accent sur la traduction de l'information qualitative à la calibration du modèle.

Dans un dernier chapitre, Nadja Victor propose un regard critique sur sa méthode notamment en termes d'acquisition et de mise à jour des données, ainsi que sur l'obtention d'une cohorte représentative des usagers. Alors que son objectif est de mettre en avant les problématiques de marche urbaine notamment des personnes à mobilité réduite, l'auteure est confrontée à la difficulté de collecter des informations sur ce type de profil. Pour répondre à la problématique de collecte des données, Nadja Victor propose une application Web basée sur le principe d'acquisition citoyenne des données où l'utilisateur fournit des données en échange d'information sur sa pratique de la marche. L'application Web proposée tente de répondre à un double objectif : restituer des informations sur les déplacements piétons (calcul itinéraires selon des profils type ou personnalisé, diagnostics d'accessibilité et de *marchabilité* urbaine, calcul de l'Indice Synthétique de *Walkability* et le score d'inclusion pour un territoire donné...) et collecter et mettre à jour des données sur les usages et l'environnement pour instancier et compléter le modèle. Nadja Victor présente les spécifications de l'application en décrivant les principaux cas d'utilisation. Elle met l'accent sur l'aspect multi-utilisateur de l'application qui doit être accessible au grand public et aux professionnels de l'aménagement et de l'urbanisme. Ce chapitre très descriptif présente l'intérêt de montrer certains aspects de l'opérationnalisation du modèle de déplacement piéton qui se veut générique. En revanche, on s'interroge sur le processus de collecte citoyenne des données évoqué par l'auteure et qui soulève de nombreuses questions méthodologiques : comment est-il mis en œuvre ? Selon quel protocole ?



Comment s'effectue la validation des données ? Le principe « *donnant-donnant* » proposée par l'auteure pour inciter les usagers à contribuer est-il efficace ? Face à la quantité d'information requise pour faire tourner le modèle, que se passe-t-il si toutes les informations ne sont pas renseignées ? Qu'en est-il de la gestion de la qualité des données ? Le problème de la collecte des données et de l'enrichissement sémantique d'un réseau piédestre reste entier. Il relève bien entendu d'une autre recherche, compte tenu du travail déjà effectué, mais ne doit pas être négligé. En effet, on doit s'interroger sur la pérennité de l'application et l'efficacité du modèle si les données restent difficilement accessibles ? Pourrait-on envisager une « connexion » entre l'application proposée par Nadja Victor et celles basées sur des dispositifs mobiles dont l'objectif est de favoriser la collecte de données géolocalisées en vue de la réalisation de diagnostics urbains participatifs ?

Pour élaborer son modèle de déplacement piéton Nadja Victor doit mobiliser une importante diversité de données (données réseaux, données urbaines et environnementales, données sur les usagers, ...). Toutes ces données devant être intégrées dans le SIG, se pose la question de la structuration et de l'organisation conceptuelle des données que l'auteure n'aborde pas. Certes l'annexe II décrit les données utilisées, mais comment sont-elles organisées dans l'application ? Quels sont les problèmes posés ?

Dans sa conclusion générale, Nadja Victor rappelle les objectifs de la thèse et les résultats obtenus. Elle rappelle les limites de sa recherche mais qui constituent autant de perspectives de recherche. On peut regretter cependant que celles-ci ne soient pas plus développées. Elles le seront peut-être à l'occasion de la soutenance.

Evaluation de la thèse

Le sujet traité et la démarche exploratoire retenue sont complexes et ont conduit Nadja Victor à s'inscrire dans une approche pluridisciplinaire : géographie-aménagement, analyse spatiale, santé et médecine. On apprécie particulièrement le fait que Nadja Victor a su mobiliser de façon très cohérente de nombreux concepts issus de ces différentes disciplines, et adapter ceux liés à la médecine à une problématique géographique complexe : celle de déplacement piéton (de la marchabilité) en milieu urbain. Le croisement de l'approche médecine et aménagement est particulièrement original, peu de travaux s'inscrivant dans cette démarche. Son mémoire fait preuve d'un vaste travail de recherche contenant des aspects conceptuels, de la modélisation, de l'analyse géographique et du prototypage, ce qui apporte une grande richesse à la recherche. La thèse de Nadja Victor impressionne par la somme de travail effectuée, à la fois en termes de spécification des données à produire pour la construction du modèle piédestre, de mobilisation de méthodes aussi bien quantitatives que qualitatives et d'ingéniosité pour trouver des solutions aux questionnements. On apprécie particulièrement le caractère générique et reproductible du modèle et des matériaux de collecte des données proposés.

Nadja Victor s'est efforcée de décomposer le problème posé en sous problèmes et de proposer systématiquement des solutions en s'appuyant sur des revues de littérature, qu'elle présente de façon synthétique et didactique tout au long de son mémoire. Elle a su identifier les cadres théoriques et méthodologiques lui permettant de proposer des solutions pertinentes et opérationnelles. On perçoit bien que la construction méthodologique a été mûrement réfléchie, et que différentes solutions ont été explorées, même si certaines ne sont qu'évoquées (méthodes d'analyse multicritères par exemple).

La recherche doctorale de Nadja Victor a été valorisée par huit de publications dans des colloques et revues au niveau national et international.

Compte tenu de la grande qualité de la recherche doctorale et de celle du mémoire, j'émet un avis très favorable à la soutenance de thèse de Mademoiselle Nadja Victor, en vue d'obtenir le grade de docteur de l'Université Jean-Monnet, Saint-Etienne, spécialité Information Géographie et Applications.

Fait à Grenoble, le 30 Septembre 2016

Paule-Annick Davoine
Maître de Conférences HDR Institut polytechnique de Grenoble
Laboratoire d'Informatique de Grenoble

Rapport sur le manuscrit présenté par **Nadja VICTOR** intitulé *Evaluation des déplacements piétons quotidiens. Application à la ville de Luxembourg* en vue de la soutenance d'une thèse de doctorat devant l'Université Jean Monnet Saint-Étienne,

Par Francisco ESCOBAR, « Profesor Titular de Universidad », Département de Géologie, Géographie et Sciences de l'environnement de l'Université de Alcalá, Espagne.

The PhD thesis presented by Nadja Victor titled *Evaluation des déplacements piétons quotidiens. Application à la ville de Luxembourg* is an outstanding example of innovative methodological developments impacting on a number of disciplines such as public health, urban planning and design, and geographic information sciences.

The manuscript is structured in three main parts preceded and followed by an introduction and a conclusion respectively.

These parts are:

1. Theoretical background (76 p.)
2. Methodological design and implementation (108 p.)
3. Luxembourg case study (114 p.)

The **introduction** begins with an overview on the evolution of transportation modes in western cities. Then it shows the negative impacts of the car dependency and opens up the debate towards the walking concept as an essential component of urban sustainability.

This way, the author outlines the main objective of the thesis; to analyse and to propose acceptable conditions to facilitate walking to the diverse range of personal conditions inherent to urban population. Prior to outlining the thesis structure, the text offers clues on the approach undertaken, being based on GIS, in order to develop a complex pedestrian model for the city of Luxembourg.

The novelty of this model mainly lies on the diverse range of users and conditions considered.

The introduction ends with a summary and justification of the parts and chapters that structure this thesis.

Part 1 «**De la marche au déplacement piéton**»

Besides its introduction and conclusion, Part 1 includes three chapters. Each of them is in turn preceded and ended with an introduction and a conclusion respectively. This structure is consistent with the conceptualization of walking offered by the author in the introduction to this part.

Chapter 1 (18 p.) « La marche : action ou concept ? » tackles the concept of walking. It reviews the diverse definitions and conceptions of the term to then focus on the implications of walking in urban mobility.

Chapter 2 (25 p.) reviews and enlarges the concept of walking person (pedestrian), in the context of mobility and accessibility studies, in order to include a larger number of users possessing different personal conditions.

Chapter 3 (31 p.) focusses on the environmental characteristics, and regulations, that can promote or impeded walking activities.

As it is stated in the conclusion to part 1, the study of these domains has resulted in the identification of inadequacies for walking. This gives way to formulating the need for a pedestrian model as a solution to these issues, announcing the content of section 2.

Part 2 « Mise en place d'un modèle de déplacements piétons urbains »

This part is dedicated to the implementation of a pedestrian model. As it is stated in the introduction, the part is divided in three chapters; review of GIS in pedestrian models, description of a vector-based GIS as a pedestrian model and evaluation of the model and its capacity to promote walking for different types of people and different conditions.

Chapter 4 (42 p.) first outlines constraints and possibilities of GIS-based pedestrian models and walkability measures by means of reviewing case studies from the specialized literature. Second, this chapter sets the basis for the GIS-based model implemented for Luxembourg. The approach undertaken is based on vector geometry and applies graph theory to its implementation. The last part of the chapter details the data collection process and its particularities needed to implement the model.

Chapter 5 (29 p.) details the parametrization of personal conditions for their inclusion in the pedestrian GIS-based model.

Chapter 6 (29 p.) proposes a number of techniques to evaluate a pedestrian network on its capacity to promote walking as well as its potential to serve to a large range of user types.

This part concludes that graph theory applied in a vector-based GIS context constitutes an efficient approach to model and to analyze pedestrian networks. It announces the application of such model to the city of Luxembourg in order to identify issues arising from its application to a specific setting.

Part 3 « Ville de Luxembourg : des déplacements piétons favorables à tous ? »

Unlike its precedent parts, part 3 contains four chapters. Throughout its 4 chapters, this part introduces the Luxembourg case study.

Chapter 7 (27 p.) focuses on the qualitative analysis of surveys undertaken with 25 walkers. Although the sample is not representative, some interesting insights have been extracted from comments provided by the interviewed people.

Chapter 8 (26 p.) analyzes the Luxembourg pedestrian model performance in what regards accessibility, breaks, obstacles and capacity to nest diverse users. The chapter ends with the analysis of three itineraries-type. The same three itineraries are adopted in chapter 9 for assessing public spaces walkability.

Chapter 9 (30 p.) assesses three different public spaces in Luxembourg in what regards a number of indicators (walkability, connectivity, linearity, potential accessibility, etc.), functionality, obstacle presence, environmental quality, and accessibility to services and commodities.

Chapter 10 (12 p.) introduces the tool *PAWapp-Lux* as a way to restate research findings and to offer a solution to issues identified in the assessment of the model, this is the possibility to self-update and the introduction of visualization and itinerary planning tools.

The main **conclusion** (7 p.) offers a summary of the main contributions of the thesis in terms of its methodological proposal and the results obtained. A significant number of future research and policy initiatives are provided.

The **bibliography** is relevant, abundant, up-to-date and properly presented.

Questions

After the reading of the manuscript the main question arising is related to the methodological choice of implementing the pedestrian model by means of a vector-based GIS.

Considering the relatively unrestricted space potentially used for walking purposes, as opposed to motor-based displacements, I would tend to consider a raster approach as a better suited model than the vector approach presented in the thesis. In my opinion, a raster-based model, not only would be better adapted to walking practices but also would imply a more efficient way to build the model. Most of the work presented in chapter 5 could have been done faster and probably with more accurate results under a raster approach.

This brings me to a second consideration; the amount of man-hours needed to complete the survey in order to feed the model is recognized as one of its limitations. Given the increasing availability of lidar data, wouldn't it be possible to extract all necessary information about the environment from these data easing this way data collection as well as facilitating integration with other layers in raster form?

How can the choice of the vector-based network approach be justified?

Strengths

- The subject researched is highly relevant. It impacts on the way we conceive our cities and the way we make use of them. This in turn impacts on variable habits and customs related to health promotion and sustainability.
- The amount of topics (public health, urbanism, geography, GIS) and techniques (GIS analysis and visualization, data collection, model assessment) covered are remarkable. In addition to the quantitative techniques applied, chapter 7 offers an interesting and useful qualitative analysis of verbatim extracted from one of the surveys conducted.
- The proposed methodology is rigorous. The author demonstrates a thorough knowledge of the different techniques applied in each phase.
- The text is well written and extremely well presented. Diagrams, maps and tables are of great quality and nicely integrated in the discourse.

Weaknesses

- I have missed a clearer statement of both the hypothesis and objectives. Although they emanate from the revision and questions expressed in the main introduction, in my opinion, it would have been more appropriate and would have helped understand the message earlier on.
- In relation with the questions made above, I would have liked to read a more detailed justification on the choice of a vector-based approach.
- Although the quality of the figures is recognized, some of them failed to send the message across. For instance, figures IX-5, IX-6 and IX-7 are highly unreadable. A contextual image to locate the area presented as well as additional visual variables perhaps would have increased the communication power of these images. For different reasons, figures including an orthophoto as a background are equally difficult to read.

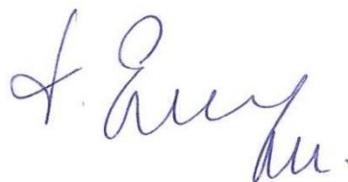
Conclusion

Given the relevance and the extraordinary quality of the work presented by Nadja Victor, I am delighted to recommend the public defense of the thesis.

Nadja Victor has demonstrated her ability to conduct research in all its phases in a professional manner.

I would like to congratulate the PhD aspirant and her supervisors for the excellent work presented.

Madrid, 2 October 2016



Nadja Victor, Olivier Klein et Philippe Gerber

Handicap de situation et accessibilité piétonne : reconcevoir l'espace urbain

Avertissement

Le contenu de ce site relève de la législation française sur la propriété intellectuelle et est la propriété exclusive de l'éditeur.

Les œuvres figurant sur ce site peuvent être consultées et reproduites sur un support papier ou numérique sous réserve qu'elles soient strictement réservées à un usage soit personnel, soit scientifique ou pédagogique excluant toute exploitation commerciale. La reproduction devra obligatoirement mentionner l'éditeur, le nom de la revue, l'auteur et la référence du document.

Toute autre reproduction est interdite sauf accord préalable de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France.

revues.org

Revues.org est un portail de revues en sciences humaines et sociales développé par le Cléo, Centre pour l'édition électronique ouverte (CNRS, EHESS, UP, UAPV).

Référence électronique

Nadja Victor, Olivier Klein et Philippe Gerber, « Handicap de situation et accessibilité piétonne : reconcevoir l'espace urbain », *Espace populations sociétés* [En ligne], 2016/2 | 2016, mis en ligne le 29 juin 2016, consulté le 29 juin 2016. URL : <http://eps.revues.org/6279>

Éditeur : Université des Sciences et Technologies de Lille

<http://eps.revues.org>

<http://www.revues.org>

Document accessible en ligne sur :

<http://eps.revues.org/6279>

Document généré automatiquement le 29 juin 2016.

Espace Populations Sociétés est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Nadja Victor, Olivier Klein et Philippe Gerber

Handicap de situation et accessibilité piétonne : reconcevoir l'espace urbain

Introduction

- 1 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 semblent dorénavant devoir « 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] 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 fournirait alors la clef de la définition d'un « handicap de situation ». Il 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, 2003 : p.239].
- 2 À ce titre, le déplacement piéton est un véritable révélateur de la relation entre usagers et environnement. Il concerne, en effet, tous les usagers, qu'il s'agisse d'un liant entre divers modes de déplacement ou d'une pratique en soi, quotidienne ou exceptionnelle. En ce sens, le déplacement piéton est universel [Von der Mühl, 2004]. Dès lors, s'il est nécessaire de considérer l'environnement du point de vue de l'usager, comment saisir les situations favorables ou défavorables au déplacement piéton suivant les spécificités de chacun ? Face à des obstacles, l'usager doit-il s'adapter à l'environnement ou faut-il, au contraire, adapter l'environnement à l'usager ? L'identification et la localisation des éléments de l'environnement pouvant influencer le déplacement piéton semble un premier élément de réponse. Leurs analyses doivent permettre de reconcevoir l'espace urbain par une approche du handicap en fonction des situations induites par la relation usager-environnement.
- 3 Cette relation est abordée ici par la constitution d'un modèle d'accessibilité piétonne pour tous qui prend la forme d'un système d'information géographique (SIG) adapté construit dans le but de prévenir le « handicap de situation » lors des trajets du quotidien. Dans le cadre de cet article, nous proposons d'expérimenter cette démarche à Luxembourg-ville qui dispose d'une diversité topographique et de formes urbaines relativement variées. Les résultats obtenus à partir de préconisations sur l'accessibilité [Grobois, 2010 ; Norme ISO/FDIS 21542:2011 ; Guide des normes Luxembourgeois, 2000] permettront de généraliser ultérieurement le modèle à d'autres villes européennes.
- 4 Pour ce faire, un état de l'art apportant des précisions sur les usagers piétons et l'environnement urbain qu'ils côtoient conduit à développer la problématique vers les conséquences de la relation usager/environnement sur le déplacement piéton. Au-delà de la déficience physique, la notion de handicap peut dès lors être abordée en fonction de situations d'inadéquation entre l'usager et l'environnement. Une fois ces conséquences identifiées, la présentation d'une méthodologie d'acquisition et d'analyse de données, prenant la forme d'un audit urbain, offre la possibilité de compléter le système d'information géographique et de configurer

des restrictions potentielles de déplacement suivant les usagers. Pour finir, l'analyse des résultats extraits du terrain permet une double finalité à l'attention, d'une part, des usagers en préconisant des itinéraires adaptés à leurs spécificités et, d'autre part, des aménageurs en mettant en lumière les zones défavorables aux déplacements piétons à l'échelle des différents quartiers.

1. « Handicap de situation » : une accessibilité variable dans le temps et l'espace

- 5 Le « Handicap » sert de « terme générique pour désigner les déficiences, les limitations d'activités ou les restrictions de participation. Il désigne les conséquences négatives de l'interaction entre un individu (ayant un problème de santé) et les facteurs contextuels dans lesquels il évolue (facteurs personnels et environnementaux) » [OMS, 2001 : p.167]. Dans le cadre du déplacement piéton, l'usager est confronté directement à l'environnement extérieur et peut donc être confronté à un moment donné à des obstacles invisibles aux autres mais infranchissables à ses yeux. Ces effets barrières peuvent aussi bien être physiques que psychologiques. La compréhension de cette notion de handicap de situation passe donc par une connaissance de l'usager piéton et des éléments de l'environnement qu'il peut potentiellement être amené à côtoyer lors de son déplacement.

1.1. Les usagers piétons : au-delà des statistiques

- 6 La majorité des études sur le déplacement piéton, en géographie ou en médecine, catégorise alternativement le piéton par sexe [Carre et Julien, 2000 ; De Solere et Papon, 2010 ; Steffen *et al.*, 2002] , par âge [De Solere et Lasserre, 2012 ; Hine, 1996 ; Langevin *et al.* 2012] ou par handicap [Beale *et al.*, 2006 ; Priebe et Kram, 2001] alors que d'autres critères peuvent être pris en compte comme le statut professionnel [De Solere et Papon, 2010 ; Schlossberg *et al.*, 2006], les mensurations [Frank *et al.*, 2006 ; Lerner *et al.*, 2014], l'ethnie [Schlossberg *et al.*, 2006] voire même l'encombrement (poids de charge) [Knapik *et al.*, 1996 ; Abe *et al.*, 2004 ; Bhambani et Maikala, 2000]. Cependant, ces catégories ne peuvent jamais faire totalement référence à un groupe homogène d'usagers. L'usager est en effet « 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) » [Lanteri, 2005 : p.9] menant plutôt vers l'élaboration d'un continuum de profils qui s'entrecroisent en fonction de l'objectif de l'enquête.
- 7 En 2003, par exemple, F. Papon analyse les mobilités piétonnes à travers les résultats de l'Enquête Nationale sur les Transports et les Communications menée et exploitée par l'INSEE et l'INRETS (1993-1994) en France. Les résultats confirment l'existence de différences de perception et de fréquence en fonction du sexe, de l'âge mais aussi du statut professionnelle. La prise en compte du sexe fait notamment état de différences en matière de choix modal. Les femmes sont ainsi plus nombreuses (58 % de femmes, [Papon, 2003 : p.76]) à se déplacer à pied et ce mode tend à se féminiser de plus en plus (surtout en semaine) [Solere et Papon, 2010]. Ces différences de sexe sont également identifiables en matière de longueur et de fréquence de pas ou encore de vitesses. A ce propos, A. Julien et J-R. Carre [2003] constatent que les hommes marchent en moyenne plus rapidement que les femmes. Une étude médicale confirme ce constat en proposant, sur terrain plat, 4,6 km/h en moyenne pour les hommes et 4,2 km/h pour les femmes [Liu *et al.*, 2014]. Ces différences persistent même lorsque les mensurations et la santé sont prises en compte [Knapik *et al.*, 1996].
- 8 L'âge est un autre indicateur. Les tranches de la population les plus jeunes et les plus âgées apparaissent, dans la littérature, comme les plus étudiées et les classes d'âges sont déterminées en fonction de l'objectif de l'enquête. Ainsi, selon l'âge, la marche est davantage pratiquée aux extrémités du cycle de vie : le recours à la marche suit grossièrement une courbe en U avec des maxima pour les plus jeunes (5-10 ans et 11-14 ans) et les plus âgés (plus de 60 ans) [Papon, 2003]. L'âge est souvent un critère mentionné dans les études à cause de l'impact que peut avoir le temps sur les capacités physiques et les compétences cognitives ainsi que sur les perceptions et sentiments de la route et de l'environnement [Tight *et al.*, 2004]. Pour autant,

l'utilisation de catégories par âge chez les seniors semble faire état d'une dégénérescence de la santé menant, par la suite, à une perte de fonctionnement de l'organisme, des structures anatomiques mais également des activités et de la participation à la vie courante. En étudiant le vieillissement et l'accessibilité, A-S. Dube et J. Torres [2011 : p.61] font le constat que si catégoriser les personnes en fonction de leur âge occulte de nombreuses différences et similarités qui distinguent ou unissent les usagers, il est néanmoins un fait que le processus de vieillissement conduit communément à une perte graduelle sensorielle (visuelle, auditive, etc.), cognitive et/ou des mobilités.

9 Les cas de déficiences physiques transgressent les catégories de sexe ou d'âge et se révèlent le plus souvent dans les enquêtes comme une catégorie en soi en fonction du degré et du type de handicap. La notion de déficience est définie par l'OMS [2001 : p.167] comme « 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 ». Le handicap est quant à lui défini comme un terme générique désignant les déficiences, les limitations d'activité et les restrictions de la participation. En d'autres termes, il est fonction d'une ou de plusieurs déficiences de fonctions organiques ou de la structure anatomique de l'utilisateur et de facteurs environnementaux ou personnels (cadre de vie, critères sociodémographiques). Par exemple, la relation personnes handicapées et environnement peut être abordée par les effets de l'environnement sur les fonctions organiques ou la structure anatomique [Waters et Mulroy, 1999 ; Paysant *et al.*, 2006 ; Gottschal et Kram, 2006] ou par les limites d'accès à l'environnement en fonction des caractéristiques physiques des usagers [Beale *et al.*, 2006 ; Church et Marston, 2003 ; Hine, 1996 ; Dejeannes et Fiore, 2011].

10 Par conséquent, lors d'un déplacement piéton, la relation entre usagers et environnement dépend des caractéristiques de l'utilisateur qui peuvent évoluer dans le temps mais également des propriétés de l'environnement. De cette relation naît un certain nombre de besoins que le piéton cherche à satisfaire lors de son déplacement.

1.2. Environnement urbain et besoins liés aux déplacements piétons

11 Le déplacement piéton trouve son origine dans les pratiques quotidiennes de mobilité. Pour Kim *et al.* [2014], 91 % des déplacements piétons sont utilitaires contre 9 % récréatifs. En ce sens, il s'agit essentiellement d'un moyen nécessaire au déploiement d'activités s'appliquant particulièrement aux sphères domestiques - achats de proximité, accompagnement à l'école, etc. [Julien et Carre, 2003 ; Kaufmann, 2000]. Par ailleurs, il existe une certaine logique dans le choix des itinéraires piétons. Chaque usager, suivant ses caractéristiques intrinsèques, adapte son itinéraire en fonction de structures présentes dans l'environnement urbain. Helbing *et al.* [2001] insistent, notamment, sur la forte aversion des piétons pour les détours ou les déplacements n'allant pas dans la direction de leurs destinations et ce, même lorsqu'une route est encombrée. Les usagers cherchent également à satisfaire un certain nombre de critères qui conditionne leurs choix de déplacement de manière à réaliser leur tâche en réduisant la pénibilité et la complexité du trajet tout en maintenant un niveau de sécurité satisfaisant [Bergeron *et al.*, 2008]. L'ordre de priorité de ces critères dépend de l'utilisateur et de son budget-temps [Middleton, 2009 ; Miller, 1999]. La faisabilité et l'accessibilité [Alfonzo, 2005 ; Metha, 2008] apparaissent néanmoins comme deux nécessités primaires, l'une conditionnant l'utilisation de ce mode et l'autre le déplacement en lui-même. La faisabilité correspond à la viabilité du trajet et peut affecter le choix du mode de déplacement utilisé. Elle se fonde sur les caractéristiques de l'utilisateur mais également sur un budget-temps pouvant justifier un report modal. Le fait d'accompagner des enfants, des personnes âgées ou toutes autres catégories de personnes sensibles au déplacement piéton peut également réduire cette faisabilité. L'accessibilité, quant à elle, correspond ici à la possibilité de franchir un espace pour se rendre à une destination [Church and Marston, 2003 ; Lwin et Muramaya, 2011]. Elle peut être conditionnée par des barrières physiques (naturelles ou anthropiques) ou encore

psychologiques. La perception de la distance à parcourir pour rejoindre une destination peut également affecter le niveau de satisfaction de l'utilisateur.

Tableau 1. Critères influençant le choix d'itinéraires piétons

Références bibliographiques	Critères influençant le choix d'itinéraire																				
	Largeur du réseau	Traversées	Trafic	Connectivité	Qualité sensorielle	Verdure et Paysage	Qualité de l'environnement	Insécurité (criminalité)	Diversité-mixité du bâti	Accessibilité au réseau	Uniformité du sol	Zone tampon	Propreté	Morphologie du bâti	Continuité	Linéarité	Conditions climatiques	Topographie	Lien avec d'autres modes	Appropriation des lieux	
Zacharias, 2001	x	-	-	-	x	-	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alfonzo, 2005	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	x	x	-	-	-
Southworth, 2005	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	-	x	x	x	x	x
Metha, 2008	-	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	x	x	-	-	-	-	-
Lo, 2009	-	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-
Kelly <i>et al.</i> , 2011	x	x	x	-	-	-	x	-	-	-	x	-	x	-	x	-	-	-	-	-	-
Kim <i>et al.</i> , 2014	x	x	-	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x	x	x	x
Redondances parmi les auteurs	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	2	2

X : critère cité
 - : critère non cité
 N. Victor, 2014.

12 À partir d'une revue de littérature comparant aussi bien des approches théoriques qu'empiriques (issues de contextes internationaux différents : France, USA, Angleterre, Corée), les auteurs retenus synthétisent au mieux les critères de l'environnement influençant le choix d'itinéraires piétons. Le tableau 1 met ainsi en lumière des critères redondants quant à l'influence de certains facteurs environnementaux sur les usagers. Les plus fréquents concernent globalement la notion de sécurité, la forme du réseau, la qualité de l'environnement et l'expérience sensorielle qui en découle. Le besoin de sécurité se réfère à la fois au trafic et au sentiment de sûreté par rapport à la criminalité. Il varie en fonction de la forme urbaine, de l'occupation du sol ou encore de la présence de certains groupes d'individus. Il souligne l'importance pour les piétons de certaines mesures comme le fait de réduire la largeur des rues, de limiter la vitesse, de séparer les piétons des véhicules rapides ou encore de sécuriser les carrefours. Le besoin de sécurité, par exemple, se mêle parfois à l'accessibilité pour certains usagers, comme lors de traversées sécurisées où les temps aux feux de signalisation alloués aux piétons sont parfois trop courts pour permettre aux usagers les moins rapides de traverser en toute sécurité.

13 Finalement, les autres facteurs environnementaux cités dans le tableau 1 correspondent davantage à une demande de l'utilisateur quant à l'utilité des lieux, au confort ou encore à une quête de plaisir. Leur importance semble varier en fonction du contexte, de l'objectif de déplacement et des sensibilités de chacun. L'utilité des lieux correspond ainsi à la capacité de l'environnement à satisfaire les besoins quotidiens ou hebdomadaires des individus par la présence d'aménités telles que les magasins, restaurants, divertissements et autres. La localisation n'est cependant pas suffisante. La qualité de l'offre et des services proposés, tout comme la concentration d'activités, influent également sur l'attractivité. Le confort correspond, quant à lui, au niveau de facilité, de commodité et de contentement d'un déplacement pour une personne mais également aux conditions météorologiques, incluant la température, l'ensoleillement et l'ombrage ou encore le vent. Pour finir, le plaisir se réfère

au niveau d'attrait d'un élément lors d'un déplacement. Il est lié à l'agrément et à l'intérêt d'un espace.

- 14 Le déplacement piéton est donc tributaire d'un processus à la fois pratique et fonctionnel mais également de l'ordre du sensible. La faisabilité et l'accessibilité conditionnent le mode de déplacement et la capacité à accéder à l'espace. Ces deux critères apparaissent néanmoins prioritaires et incontournables face aux autres critères.

1.3. Relation Usager/environnement : identifier les situations favorables ou défavorables au déplacement piéton

- 15 Si la faisabilité peut conditionner le choix modal, l'accessibilité détermine la capacité à se rendre à destination. Elle dépend de l'usager mais aussi de l'environnement. C'est pourquoi 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. Par exemple, les bateaux sans pavement rainuré doivent être codés comme facilitateurs pour l'utilisateur d'une chaise roulante, mais constituent un obstacle pour une personne malvoyante ». Un élément de l'environnement est donc considéré comme facilitateur lorsque sa présence ou son absence améliore le déplacement piéton ou réduit les difficultés d'accès. A l'inverse, les obstacles désignent tout facteur environnemental qui, par sa présence ou son absence, limite le déplacement voire provoque une incapacité d'accéder à un espace.
- 16 L'espace public est ainsi composé d'éléments dont l'emplacement, les propriétés et l'état peuvent successivement être favorables ou défavorables aux déplacements piétons en fonction de l'usager [Victor *et al.*, 2014 ; Amiaud, 2012]. Dans *Handicap et construction*, L-P. Grobois [2010] convient que le handicap peut être supprimé par un aménagement adapté en complétant la forme par l'usage, en accommodant tous les usages et en partant des capacités les plus faibles. Pour ce faire, un ensemble de normes [Grobois, 2010 ; Guide des normes Luxembourgeois, 2000 ; Norme ISO/FDIS 21542:2011] sont préconisées en fonction des supports à la mobilité utilisés (cane, béquille, fauteuil roulant, orthèse, etc.), des capacités d'atteinte et de préhension ou encore d'éventuelles déficiences visuelles, auditives ou mentales. Elles ont pour objectif de faciliter des manœuvres de déplacements mais également de proposer des dispositifs de compensation de la vision, de l'audition et de compréhension de l'espace. Par ailleurs, les contraintes d'accès liées à l'utilisation de landaus/poussettes, mais aussi la présence d'accompagnants (chien d'aveugle, accompagnateur) sont également prises en compte. Ces normes concernent des dimensions (largeur, hauteur), des seuils et des longueurs de pente, mais également des textures de sols ou encore la présence d'aménagements spécifiques adaptés aux usagers.
- 17 L. Beale *et al.* [2006] insistent, quant à eux, sur la nécessité de travailler à grande échelle pour détailler les barrières à l'accessibilité en relevant des types de surface (pavés, grilles, dégrés et longueurs de pente), la présence d'éléments mobiles restreignant l'espace (poubelles) ou encore l'absence d'aménagement pour guider les traversées de route. De manière similaire, Dejeammes et Fiore [2011] soulignent l'importance de la logique des cheminements piétons pour les personnes à mobilité réduite en fonction du tracé, de la lisibilité et de la compréhension de l'espace global, mais également des caractéristiques géométriques (largeur, pentes, escaliers, rampes), des revêtements de surface, des interférences avec des flux traversiers (carrefours, sorties d'établissements) ou encore des événements particuliers (chantier). En outre, les espaces mettant en contact direct les usagers avec d'autres modes de déplacement comme les flux traversiers se révèlent d'autant plus sensibles chez les personnes ayant une déficience motrice ou visuelle. L'enquête de J. Hine, en 1996, sur l'impact du trafic sur les habitudes et la perception de sécurité des piétons, indique que, face à un flux dense, les personnes à mobilité réduite seraient même prêtes à reconduire leurs déplacements à un moment de la journée plus calme.
- 18 En somme, si le déplacement piéton est dépendant de l'objectif du déplacement et de son contexte, il est d'autant plus contraint par la relation qu'entretient l'usager avec l'environnement qui l'entoure. Le même espace peut dès lors apparaître comme favorable

ou défavorable au déplacement suivant les caractéristiques physiques de l'utilisateur et le coût énergétique ou temporel déjà consommé ou à venir. Il dépend également de la présence d'autres usagers l'accompagnant. La problématique qui se pose alors est la suivante : comment rendre compte de ces caractéristiques à la fois mentales et physiques afin de saisir le handicap de situation ? Autrement dit, comment mesurer et articuler ces caractéristiques dans le temps et l'espace de sorte à faciliter la préconisation d'itinéraires adaptés aux usagers d'un côté, et à cibler des zones à risques aux aménageurs de l'autre ? Pour cela nous émettons l'hypothèse suivante : si les catégories d'usagers permettent l'utilisation de critères communs, il semble néanmoins indispensable de concevoir le déplacement piéton comme dépendant d'un continuum de relations entre les usagers et l'environnement pouvant varier à court terme mais aussi à long terme. Il s'agit donc d'aborder le déplacement piéton par trois entrées : les caractéristiques physiques (structure du corps et fonction physiologique), l'environnement (éléments facilitateurs/obstacles) et différentes temporalités (attente, ralentissement, notion de fatigue, saisonnalité, etc.).

2. Audit urbain et configuration de restrictions à l'environnement dans le modèle d'accessibilité : protocoles d'enquête

2.1. Modéliser les déplacements piétons par une approche réseau : mise en place d'un système d'information géographique

19 Les fonctions classiques d'un système d'information géographique (SIG) permettent la création d'un réseau pédestre dans le but de modéliser des situations de handicap spécifiques au déplacement piéton à diverses échelles [Victor *et al.*, 2014]. Ce dernier est constitué d'une succession de tronçons, découpés à chaque carrefour, auxquels des valeurs d'altitudes sont associées afin d'intégrer explicitement la topographie dans le réseau. Une classification des tronçons basée sur la mise en place d'une typologie de voies est également fondée sur un ensemble de critères et de normes pluridisciplinaires issues notamment de l'urbanisme [Merlin et Choay, 1988], des réglementations et des législations spécifiques comme le code de la route ou plus généralement en géographie [Pumain *et al.*, 2006]. Elle apparaît sous la forme de données signalétiques, attribuées à chaque tronçon, dans le SIG.

20 Cette typologie permet d'identifier des conditions propices aux déplacements piétons afin de proposer des itinéraires adaptés basés sur des normes d'accessibilité préconisées [Grobois, 2010, Guide des Normes, 2000]. Tout d'abord, le temps de déplacement d'un usager tient compte de la pente et de situations d'attentes. Pour ce faire, une mesure métrique des segments, associée à une vitesse fonction de la pente, permet de calculer un temps de déplacement sur chaque tronçon. Ce temps de parcours peut varier suivant le type de voies et peut être augmenté d'un temps d'attente lié à un franchissement de chaussée avec un feu piéton ou un ascenseur, par exemple. Ensuite, lorsque les normes d'accessibilité préconisées s'avèrent en inadéquation avec les définitions proposées par la typologie de voies, un système de restrictions est mis en place. D'une part, il est actif de manière binaire dans les cas les plus extrêmes en interdisant totalement l'accès ou non aux tronçons. A titre d'exemple, les sentiers étant par définition des chemins étroits de moins de 70 cm [Merlin et Choay, 1988], l'accès à ce type de tronçons est totalement restreint aux personnes en fauteuil roulant mécanique dont la largeur varie en principe entre 65 et 75 cm [Grobois, 2010]. D'autre part, le système de restriction influe sur le calculateur d'itinéraires. Ce dernier fonctionnant de manière à prendre le chemin aux coûts temporels ou métriques moindres selon l'algorithme de Dijkstra, le système de restrictions ajoute des valeurs-poids aux tronçons - équivalent à une restriction faible, moyenne, forte - afin de défavoriser la prise en compte de ces segments dans le calcul lorsque les normes d'accessibilité ne sont pas optimales. Cependant, si l'on s'accorde sur le fait que le handicap de situation dépend des caractéristiques physiques de l'utilisateur mais également des propriétés de l'environnement à traverser, ce système de restrictions doit pouvoir s'adapter aux spécificités du terrain étudié. Il requiert, de fait, un jeu de données plus détaillées comportant pour chaque tronçon des informations au sujet du revêtement, de la texture, des dimensions, etc. Or, de

telles bases de données exhaustives n'existent pas. Un protocole de collecte de données a donc été mis en place pour appliquer notre approche au terrain, ici le centre-ville de Luxembourg, et garantir la prise en compte de facteurs environnementaux du point de vue de la personne dont on veut décrire la situation.

2.2. Inventorier les éléments de l'environnement pouvant impacter les déplacements piétons : l'audit urbain

- 21 La mise en place d'un protocole de type « audit urbain » correspond à un processus systématique et précisément documenté permettant de recueillir des informations objectives à l'aide d'une grille à compléter pour chaque tronçon formant le réseau. Il permet d'obtenir des données spatialisées afin de réaliser des diagnostics morpho-fonctionnels [Lord et Negron-Poblete, 2014]. La collecte systématique d'éléments pouvant impacter le déplacement piéton a ici deux objectifs : 1) la localisation sur les tronçons d'obstacles en fonction des caractéristiques des usagers et 2) la localisation et l'identification d'espaces favorables à défavorables au déplacement piéton.
- 22 Dans le cas luxembourgeois, parmi les 1 183 km de réseau piéton à Luxembourg-ville, seize types de voies - détaillées dans la figure 1 - ont été répertoriés. D'une longueur moyenne de 48 mètres, les tronçons révèlent un terrain très accidenté avec des pentes pouvant varier de 0 à 62 % et des segments ayant une pente moyenne de 2 %. La topographie est relativement complexe avec la présence de deux vallées encaissées par deux rivières - l'Alzette et la Pétrusse - délimitant le centre-ville. En outre, les espaces dédiés aux piétons, c'est-à-dire sans la coprésence d'autres modes de déplacement (voiture, bus, vélo) constituent 46 % de ce réseau piéton. Dans ce contexte, les éléments ciblés de l'environnement correspondent aux critères satisfaisant potentiellement la liste des besoins du piéton lors de son choix d'itinéraire. L'audit urbain (figure 1) est ainsi découpé en cinq catégories de critères : 1) les propriétés et l'état du segment, 2) les aménagements handicapés, 3) les intersections, 4) le trafic et la chaussée, 5) les éléments urbains sur le segment et 6) les aménités localisées à proximité du segment. Les deux premières catégories ont pour rôle principal de déterminer la possibilité pour les usagers de franchir le tronçon ou non. Les autres sont davantage relatives à des éléments pouvant ralentir ou faire accélérer l'usager ou encore faire apparaître l'environnement urbain comme attractif ou répulsif. Par ailleurs, afin de saisir l'impact des éléments de l'environnement sur le déplacement de l'ensemble des usagers, les critères de classement des données correspondent toujours aux valeurs préconisées par les normes d'accessibilité [Grobois, 2010 ; Guide des normes, 2000] les plus contraignantes.

Figure 1. Grille de collecte de données de l'Audit Urbain

Nom rue :		ID :		Date et			
Nom rue début :		Côté rue :		Heure :			
Nom rue fin :		Météo :					
Type de tronçon : Trottoir (1), Passage piéton (2), Traversee 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)							
Propriétés et Etat 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 surelevé	0	
Meuble	0	Durée d'attente au feu piéton (en seconde)?					
Lisse/polé	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 cyclables? 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	Eléments urbains sur le segment				
Hauteur	plus de 1,50 m	0	Présence d'éléments urbain? Comptez				
	moins de 3 cm	0	Banc		Atribus		
	plus de 16 cm	0	Enseigne publicitaire-information		Lampadaire		
Dénivelé du segment ? (0 ; 1)		Poubelle fixe		Oeuvre d'art			
Pente ? (0 ; 1)	Plate ou douce	0	Arbre isolé/Buisson/Plante		Sortie de Garage		
	Modérée	0	Bouche d'égout-grille partielle		Station Vel'Oh!		
Orientation ? (0 ; 1)	Forte	0	Parking Vélo/Moto		Fontaine		
	Montée	0	Eléments sur la totalité du segment? (0; 1)				
Dévers? (0 ; 1)	Descente	0	Grille sur la largeur, plus de 20 mm espacement barreaux		0		
	Plat ou doux	0	Aménités sur place ou le plus proche (0; 1)				
	Modéré	0	Restaurant/Café/Bar		0	Terrasse	0
	Fort	0	Bâtiment Administratif/ Bibliothèque/		0	Magasin	0
	vers Droite	0	Banque		0	Distributeur	0
	vers Gauche	0	Boulangerie/Boucherie/Primeur/Spiritueux		0	Superette	0
Forme? (0 ; 1)	Les deux	0	Centre de soin/Clinique		Pharmacie		0
	Concave	0	Coiffeur/Toiletage/Esthétique		Laverie		0
	Convexe	0	Espace vert/Square		Jeu pour enfant		0
Si Escalier (0 ; 1)		Etablissement scolaire		0	Toilette publique	0	
Nombre de marches		Centre de sport		0			
Palier de repos (nb)		(0; 1 : présence; absence)					
Si Ascenseur (0 ; 1)		(0; 1; 2; 3 : absence; un peu, moyennement; beaucoup)					
Durée appel (s)		Commentaires :					
Durée trajet (en s)							
Nb étages ascenseur							

N. Victor, 2014.

- 23 Dans le but de comparer les propriétés des tronçons, la collecte des données doit être harmonisée. Cependant, certains biais pourraient survenir en fonction de la manière dont les enquêteurs perçoivent l'environnement et le définissent. C'est pourquoi un protocole prenant la forme d'un livret explicatif définit les propriétés et les éléments à relever et offre quelques exemples visuels de manière à s'assurer une mutualisation des données. L'extrait, présenté dans la figure 2, a pour but de guider les relevés de textures des tronçons selon trois critères : l'élasticité, la granulométrie et la présence d'irrégularités.

Figure 2. 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	<input type="checkbox"/>	Lisse/polie	<input type="checkbox"/>	Rainurée/bosselée	<input type="checkbox"/>
Meuble	<input type="checkbox"/>	Granuleuse/rugueuse	<input type="checkbox"/>	Fissurée/trouée	<input type="checkbox"/>
				Absence	<input type="checkbox"/>

- Pour l'élasticité, cochez l'une ou l'autre réponse.
 - Pour la granulométrie, cochez l'une ou l'autre réponse.
 - En cas d'ambiguïté, relever 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.
 - Pour les irrégularités, plusieurs réponses possibles. En cas de présence de pavés à joints larges et creusés, cochez systématiquement «Rainurée/bosselée».

Veillez-trouver ci-dessous des exemples non exhaustifs illustrant différents cas de textures à relever :

Elasticité

Compacte

Elasticité

Elasticité

Meuble

Elasticité

Granulométrie

Lisse / polie

Granuleuse / Rugueuse

Granulométrie

Irrégularité

Rainurée / bosselée

Irrégularité

Irrégularité

Fissurée / Trouée

Irrégularité

N. Victor, 2014.

- 24 Le recours à des photographies permet d'illustrer la diversité de textures existantes en milieu urbain et la complexité qu'il en découle en matière de déplacement. Le protocole permet de clarifier des situations ambiguës où certaines propriétés combinées peuvent provoquer des handicaps de situation. Par exemple, la présence de pavés en pierre naturelle n'est pas systématiquement synonyme d'obstacle au déplacement. C'est la présence d'irrégularités - rainurée-bosselée - qui présage de difficultés en permettant de différencier pavés avec joints cimentés de ceux à joints larges et creusés, qui peuvent bloquer une roue ou accrocher un pied.

25 L'acquisition de données sur les propriétés et l'état d'un segment ainsi que la présence d'aménagements handicapés offrent ainsi la possibilité de modéliser la nature du réseau. Si l'étude du réseau dans un système d'information géographique (SIG) permet déjà d'analyser la continuité et la connectivité du réseau, l'audit urbain détaille, entre autres, les éléments pouvant interférer avec son accessibilité. Les données sur le revêtement et la texture informent par exemple sur la qualité du sol et localisent d'éventuelles difficultés de déplacement en fonction des caractéristiques des usagers. Les dénivelés ressentis donnent quant à eux un complément d'information sur la pente. Si la topographie est modélisée à l'échelle de la ville à travers un modèle numérique de terrain dans le SIG pour retranscrire les pentes, une indication à l'échelle du segment permet de tenir compte de micro-obstacles, comme des déformations locales du sol. La perception de la pente et du dévers à l'échelle des tronçons varient suivant les caractéristiques physiques des usagers. Lors de l'audit, la pente et le dévers perçus ont donc été relevés en adoptant systématiquement le point de vue de l'utilisateur le plus sensible à ce type d'obstacle.

2.3. Traitements géostatistiques des données de l'Audit urbain

26 Une fois collectées, les données sont analysées selon deux échelles différentes, la zone d'étude et le tronçon, afin d'identifier d'une part les espaces favorables et défavorables au déplacement piéton et d'autre part, les obstacles au déplacement sur le terrain en fonction des caractéristiques des piétons.

27 Premièrement, l'identification d'espaces favorables ou défavorables au déplacement piéton est fonction d'une accessibilité généralisée à l'espace. Pour ce faire, les tronçons sont regroupés selon les propriétés – soit le revêtement, les dimensions (largeur, hauteur), la pente et le dévers –, leurs entretiens et la présence d'aménagements handicapés. Une analyse des correspondances multiples (ACM) permet de révéler les relations non-linéaires existantes entre les tronçons en fonction des variables qui les décrivent. On détermine ainsi les tronçons aux critères similaires au-delà de la typologie de voies proposée en utilisant une classification en fonction de l'algorithme de Ward. Un regroupement de quatre classes est alors effectué selon les propriétés les plus représentées dans chaque groupe pour identifier les espaces favorables ou défavorables à l'accessibilité dans la zone d'étude suivant les impacts potentiels de l'environnement sur les usagers. Deuxièmement, à l'échelle des tronçons, l'intégration des données de l'audit urbain dans le SIG offre dorénavant la possibilité de proposer des parcours accessibles en fonction des caractéristiques de l'utilisateur. Le système de restrictions est ainsi actualisé en fonction de la capacité motrice du piéton mais aussi de son état de santé.

28 En fin de compte, l'identification à diverses échelles des difficultés de déplacement piéton a bel et bien le mérite de proposer un diagnostic des espaces plus ou moins favorables au cœur de la zone d'étude. Le modèle permet également de proposer des itinéraires évitant les tronçons à risque.

3. Application sur Luxembourg-ville : résultats et perspectives

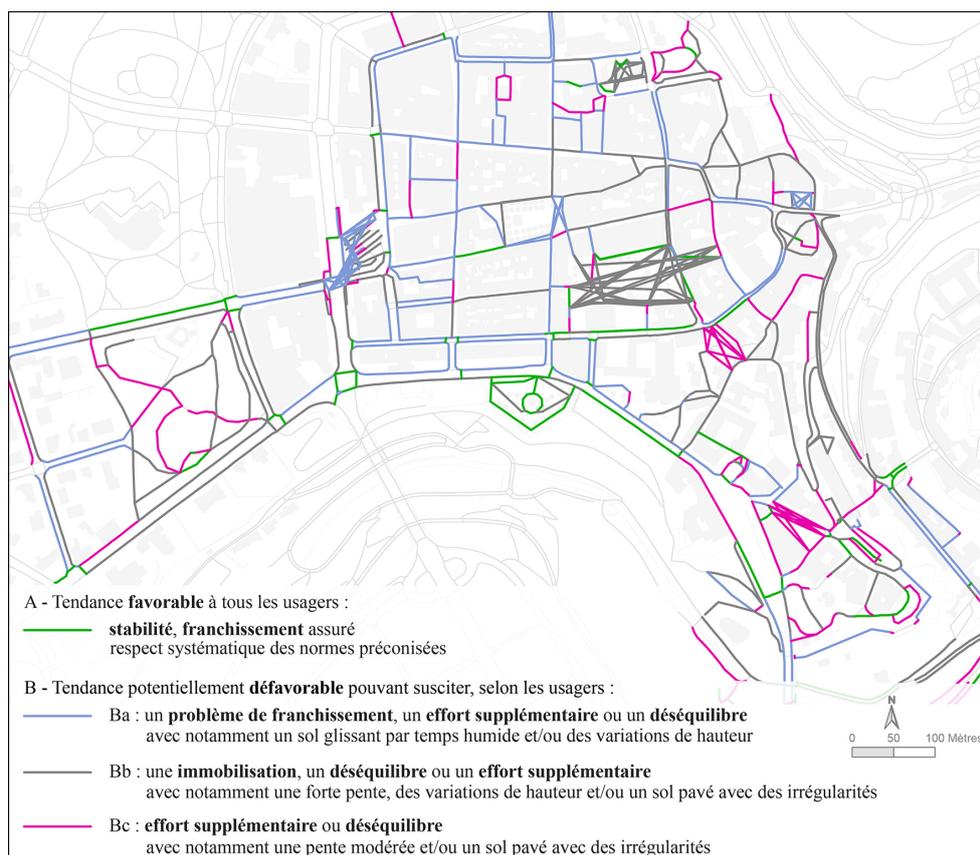
29 La pratique de marche dans la ville de Luxembourg est relativement peu renseignée : aucune enquête de transport n'a été réalisée à ce jour à l'échelle nationale. Un rapport du ministère du développement durable et des infrastructures sur la stratégie « MODU » (Mobilité durable) dénonce toutefois une forte dépendance à la voiture au Luxembourg : 60 % des trajets compris entre 0 et 1 kilomètre sont réalisés en voiture et seulement 13 % des déplacements quotidiens le sont à pied ou en vélo [MODU, 2012]. L'application de notre modèle adapté à chacun offre ainsi une première analyse de la capacité de la ville de Luxembourg à susciter les déplacements piétons.

3.1. Classification de l'environnement urbain à travers le prisme de l'accessibilité piétonne

30 L'audit urbain et l'analyse des données collectées permettent de reconcevoir l'environnement urbain à travers les relations usagers-environnements qui s'opèrent durant les déplacements piétons. Cependant, en partant du constat que l'environnement impacte de différentes manières

les usagers en fonction de leurs caractéristiques intrinsèques, une approche ordinale de l'accessibilité semble inadaptée. L'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 (figure 3).

Figure 3. Qualification des espaces pour l'ensemble des usagers piétons à Luxembourg-ville



Source Audit urbain Pawlux 2013-14, Victor N. et LISER. Auteur Victor N., 2015.

- 31 La qualification des espaces permet tout particulièrement de révéler les configurations favorables à l'accessibilité de tous les usagers. La classe A – *stabilité, franchissement assuré* – regroupe majoritairement des tronçons en asphalté, réguliers, avec des pentes et des dévers ressentis plats-doux dont les surfaces n'imposent pas de franchissement 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.
- 32 Cette classification permet également d'identifier des tendances de configurations pouvant impacter le déplacement des usagers en fonction de leurs caractéristiques physiques. De la sorte, en fonction des éléments les plus représentés dans les classes, ces espaces peuvent se révéler défavorables pour certains usagers – et néanmoins 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/polis. 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

pentés 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 la 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 buttes 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.).

33 Au final, l'identification d'espaces présentant des difficultés d'accès dans la zone d'étude varient de simples ralentissements ou contournements à l'incapacité totale de franchir un tronçon en fonction des caractéristiques de chacun. Par conséquent, si la prise en compte de l'accessibilité à l'échelle de la zone permet d'identifier les espaces potentiellement défavorables, seule la prise en compte des propriétés au niveau des tronçons permet d'en déterminer la véritable teneur en fonction des usagers.

3.2. Préconisation d'itinéraires adaptés à l'utilisateur et perspectives

34 L'identification des propriétés et état des voies sur le terrain permet de proposer des itinéraires adaptés aux caractéristiques physiques des usagers. La figure 4 représente deux tracés pour relier les points A et B, l'un proposant l'itinéraire « le plus rapide tenant compte de l'accessibilité », l'autre celui en fonction d'un usager-témoin. Il s'agit d'un homme jeune, en bonne santé, se déplaçant en fauteuil roulant. Le calculateur d'itinéraire est ainsi configuré de manière à interdire les tronçons où le revêtement est composé de pavés aux jointures creusées et larges. De même, la largeur des tronçons ne peut être inférieure à 70 cm et la présence de bateaux en cas de traversée est exigée. Les pentes à plus de 5 % sont également interdites sur de longues distances.

Figure 4. Itinéraires « le plus rapide » ou « le plus rapide tenant compte de l'accessibilité



- 35 L'identification des obstacles au déplacement mais également des aménagements facilitateurs le long des parcours permettent de localiser les espaces défavorables à l'échelle des tronçons. Ainsi, au-delà de la typologie de voies utilisée pour configurer la capacité d'accéder à l'espace des usagers, les propriétés de l'environnement sont utilisées pour préconiser des itinéraires adaptés. La figure 4 relève la présence d'obstacles forts à infranchissables pour une personne en fauteuil roulant dans l'itinéraire « le plus rapide ». Le tracé présenté comme « le plus rapide tenant compte de l'accessibilité » lui demandera un effort physique additionnel modéré pour franchir le premier tronçon. Cependant, étant en bonne santé, ce deuxième parcours devrait permettre à notre usager-témoin de ne pas avoir à recourir à un report modal ou à l'aide d'une personne extérieure pour rejoindre la destination 2.
- 36 À ce stade de la recherche, la tolérance des usagers aux obstacles est établie sur la base d'une revue de littérature proposant des normes d'accessibilité. Toutefois, au-delà des obstacles interdisant totalement l'accès à un espace, chaque usager semble avoir ses propres critères de tolérance face aux handicaps de situation qui peuvent survenir au quotidien. Une enquête qualitative auprès d'usagers piétons sur leurs pratiques de déplacement a ainsi été réalisée afin de définir des classes de restrictions ajustées à leur état de santé mais aussi à leurs sensibilités. Cette dernière a permis de valider la démarche mais aussi d'ajuster les paramètres du modèle. L'enquête se présentait en trois étapes : 1) l'enquêté répond à un questionnaire pour définir son état de santé et sa capacité à accéder aux espaces urbains ; 2) il effectue ensuite un parcours piéton, en centre-ville, accompagné d'un observateur ; 3) à l'issue du parcours, un entretien entre l'enquêté et l'observateur offre un retour d'expérience sur le déplacement effectué. Si la faisabilité et l'accessibilité demeurent prioritaires, notre perspective de recherche résidait à savoir si le niveau de sensibilité aux obstacles varie en fonction des usagers indépendamment de leur handicap. Les résultats, bien que non représentatifs, démontrent bien des différences individualisées.

Conclusion

- 37 L'espace urbain ne peut être épuré de tout obstacle puisque certains espaces favorables aux usagers peuvent être simultanément défavorables à d'autres. La localisation et l'identification de la nature des espaces à l'échelle des quartiers, mais aussi la préconisation d'itinéraires adaptés à l'usager, à celle des tronçons, semble alors être la réponse socio-spatiale aux attentes d'une approche du « handicap de situation ». En conséquence, la mise en place d'un modèle de déplacement piéton se doit d'être adaptable à chaque situation. Pour ce faire, il est indispensable de créer et de structurer un réseau adapté au déplacement pédestre, puis de le configurer selon les spécificités de chaque individu, pour finalement aboutir à une qualification du réseau quant à la qualité d'accès à l'espace urbain. La prise en compte des propriétés des éléments de l'environnement présents sur le terrain offre donc la possibilité de tenir compte de caractéristiques physiques variables et d'explorer ainsi véritablement les situations de handicap sous-jacentes. En matière d'accessibilité à l'espace, l'identification de situations favorables ou défavorables au déplacement a démontré l'importance de prendre en compte le plus grand nombre d'usagers au-delà d'une simple moyenne ou normalisation statistique. Les usagers piétons possédant une déficience physique transgressent, en effet, les catégories habituelles de sexe, d'âge, de santé ou encore de type de supports au déplacement utilisé dans le cadre d'études sur l'accessibilité piétonne.
- 38 Ainsi, l'usager piéton doit certes s'adapter à l'environnement, face à une situation du moment, en effectuant un éventuel ralentissement, un effort supplémentaire, un contournement ou encore un détour, mais l'environnement doit également être adapté au plus grand nombre d'usagers en veillant à la présence d'aménagements conformes à leurs besoins. L'utilisation d'un modèle de déplacement piéton adapté au plus grand nombre est une solution à double enjeu s'adressant, d'une part, aux aménageurs en mettant en évidence les zones non accessibles à tous ou à risques et, d'autre part, au grand public en préconisant des itinéraires adaptés à leurs profils dans un rôle d'information.

Bibliographie

- ABE D., YANAGAWA K., NIIHATA S. (2004), Effects of load carriage, load position, and walking speed on energy cost of walking, *Applied Ergonomics*, 2004, vol. 35, pp. 329-335.
- AMIAUD D. (2012), Handicap et politiques de gestions des déplacements piétons : cohabitation et accessibilité pour tous, in GRANIE M.A., AUBERLET J.M., DOMMES A. et SERRES T. (dir.) *Qualité et sécurité du déplacement piéton : facteurs, enjeux et nouvelles actions*, Salon-de-Provence, 3e colloque francophone international du GERI COPIE, 13-14 octobre 2011.
- ALFONZO M.A. (2005), To Walk or Not to Walk? The Hierarchy of Walking Needs, *Environment and Behavior*, vol. 37, pp. 808-836.
- BHAMBANI Y. et MAIKALA R. (2000), Gender differences during treadmill walking with graded loads : biomechanical and physiological comparisons, *European Journal of Psysiology*, vol. 81, issue 1-2, pp. 75-83.
- BEALE L., FIELD K., BRIGGS D., PICTON P. et MATTHEWS H. (2006), Mapping for wheelchair users: Route Navigation in Urban spaces, *The Cartographic journal*, vol. 43, n°1, pp. 68-81
- BERGERON J., CAMBON de LAVALETTE B., TIJUS C., PONTENAUD S., LEPROUX C., THOUEZ J-P. et RANNON A. (2008), Effets des caractéristiques de l'environnement sur le comportement des piétons à des intersections urbaines, in GRANIE M.A., AUBERLET J.M., *Le piéton et l'environnement. Quelles interactions ? Quelles adaptations ?*, Paris, Actes INRETS n°115, pp. 163-174.
- CARRE J. et JULIEN A. (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*, Lyon, Les Collections de l'INRETS, n°221, 109 p.
- CHURCH R.L. et MARSTON R. (2003), Measuring Accessibility for People with a Disability, *Geographical Analysis*, vol. 35, n°1, pp. 83-96.
- DE SOLERE R. et PAPON F. (2010), La mobilité à pied : que nous apprennent les dernières enquêtes?, *Le piéton : Nouvelles connaissances, Nouvelles pratiques et Besoins de Recherche*, Lyon, Les Collections de l'INRETS, 330 p.
- DE SOLERE R. et LASSERRE V. (2012), Vieillesse et pratique de la marche, Qualité et sécurité du déplacement piéton : facteurs, enjeux et nouvelles actions, in GRANIE M-A., AUBERLET J-M., DOMMES A. et SERRE T., *Qualité et sécurité du déplacement piéton : facteurs, enjeux et nouvelles actions*, Salon de Provence, Actes du 3e colloque francophone international du GERI COPIE, 13-14 octobre 2011.
- DEJEAMMES M. et FIOLE B. (dir.) (2011), *Accessibilité de la voirie et des espaces publics : éléments pour l'élaboration d'un diagnostic dans les petites communes*, Paris, Rapport CERTU 96 p.
- DUBE A-S. et TORRES J. (2011), Vieillesse 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.
- FRANK L.D. et al. (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.
- GROBOIS, L-P. (2010), *Handicap et Construction*, Paris, Le moniteur, 508 p.
- GOTTSCHAL J.S. et KRAM R. (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.
- HELBING D., MOLNAR P., FARKAS J. et BOLAY K. (2001), Self-organizing pedestrian movement, *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 28, pp. 361-383.
- HINE J. (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.
- INFO HANDICAP, (dir.) (2000), *Guide des Normes, Luxembourg*, Victor Buck, 100 p.
- JULIEN A. et CARRE J-R. (2003), La marche dans les déplacements quotidiens des citadins, in PUMAIN D. et MATTEI M-F., *Données Urbaines 4*, Paris, Economica, pp. 87-95.
- KELLY C., TIGHT M., PAGE M. et HODGSON F. (2011), A comparison of three methods for assessing the walkability, *Journal of Transport Geography*, vol. 19, pp. 1500-1508.
- KIM S., PARK S. et LEE J.S. (2014), Meso- or micro-scale? Environmental factors influencing pedestrian satisfaction?, *Transportation Research Part D*, vol. 30, pp. 10-20.

- KNAPIK J., HARMAN E. et REYNOLDS K. (1996), Load carriage using packs: A review of physiological, biomechanical and medical aspects, *Applied Ergonomics*, vol. 27, pp. 207-216.
- LANTERI R., IGNAZI G. et DEJEAMMES M. (2005), Accessibilité des espaces publics urbains. Outil d'évaluation ergonomique, *Rapport CERTU*, Paris, 44 p.
- LANGEVIN S., DOMMES A., CAVALLO V., VIENNE F., CARO S. (2012), Les effets du déclin des capacités fonctionnelles avec l'âge sur la sécurité des décisions de traversée de rue, in GRANIE M-A., AUBERLET J-M., DOMMES A. et SERRE T., *Qualité et sécurité du déplacement piéton : facteurs, enjeux et nouvelles actions*, Salon de Provence, Actes du 3e colloque francophone international du GERI COPIE, 13-14 octobre 2011.
- LERNER Z.F., BOARD W.J. et BROWNING R.C. (2014), Effects of obesity on lower extremity muscle function during walking at two speeds, *Gait & Posture*, vol.39, issue 3, pp. 978-984.
- LIU Y., YAN S., SUN M., LESTER D.K. et ZHANG K. (2014), Gait phase varies over velocities, *Gait & Posture*, vol. 39, issue 2, pp. 756-760.
- LO R. H., 2009. « Walkability: what is it? », *Journal of Urbanism*, vol. 2, n°2, pp. 145-166
- LORD S. et NEGRON-POBLETE P. (2014), Les grands ensembles résidentiels adaptés québécois destinés aux aînés. Une exploration de la « marchabilité » du quartier à l'aide d'un audit urbain, *Norois – Environnement, aménagement, société*, (accepté).
- LWIN K.K. et MURAMAYA Y. (2011), « Modelling of urban green space walkability: Eco-friendly walk score calculator », *Computers, Environment and urban systems*, 13 p.
- MERLIN P. et CHOAY F. (1988), *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, Paris, PUF, 963 p.
- METHA V. (2008), Walkable streets: pedestrian behavior, perceptions and attitudes, *Journal of Urbanism*, vol. 1, n°3, pp. 217-245.
- MIDDLETON J., 2009. « "Stepping in time": waling, time and space in the city », *Environment and Planning A*, n°41, pp. 1943-1961.
- MILLER J.H. (1999), « Measuring space-time accessibility benefits within transportation networks: Basic Theory and computational procedures », *Geographical Analysis*, vol. 31, pp. 187-212.
- MINAIRE P. (2012). Le handicap en porte à faux, *ALTER, European Journal of Disability Research*, "retour sur textes", vol.6, pp. 214-222.
- MODU (2012). *Stratégie globale pour une mobilité durable pour les résidents et les frontaliers*, Rapport commandé par le Département de l'aménagement du territoire.
- ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE (OMS) (2001). *Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé*, Genève, OMS, 220 p.
- PAPON F. (2003), « La ville à pied et à vélo », in PUMAIN D. et MATTEI M-F., *Données Urbaines 4*, Paris, Economica, pp. 75-85.
- PAYSANT J., BEYAERT C., DATIE A-M., MARTINET N. et ANDRE J-M. (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.
- PRIEBE J.R. et KRAM R. (2001), Why is walker-assisted gait metabolically expensive?, *Gait & Posture*, vol. 34, pp. 265-269.
- PUMAIN D., PAQUOT T. et KLEINSCHMAGER R. (2006). *Dictionnaire La ville et l'urbain*, Paris, Economica, 322 p.
- RABISCHONG P. (2008), *Le handicap*, Paris, PUF, 128 p.
- SCHLOSSBERG M., GREENE J., PAULSEN PHILLIPS P., JOHNSON B. et PARKER B. (2006), School trips: Effects of urban forms and distance on travel mode, *Journal of the American Planning Association*, vol. 72, n°3, pp.337-346.
- SOUTHWORTH Michael, 2005. « Designing the Walkable City », *Journal of Urban Planning and Development*, vol. 131, n°4, pp. 246-257.
- STEFFEN M.S. et al. (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. 87-137.
- TIGHT M., KELLY C., HODGSON F. et PAGE M. (2004), Improving Pedestrian Accessibility and Quality of Life, *Actes de conférence : 10th World Conference on Transport Research*, Istanbul, 4-8 juillet, 20 p.

THOMAS R. (2003), 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.

VICTOR N., KLEIN O. et JOLIVEAU T. (2014), Déplacement piéton et SIG : Comment prendre en compte les interactions environnement-usagers ?, Article long pour la conférence *SAGEO*, Grenoble, 24-27 novembre, 17 p.

VON DER MÜHL D. (2004), Mobilité douce : Nostalgie passéiste ou perspective d'avenir ?, in VODOZ L. et al., *Les territoires de la Mobilité*, Lausanne, PPU Romandes, 383 p.

WATERS R.L. et MULROY S. (1999), The energy expenditure of normal and pathologic gait, *Gait & Posture*, vol. 9, pp.207-231.

ZACHARIAS John, 2001. « Path choice and visual stimuli: signs of human activity and architecture », *Journal of environmental psychology*, n°21, pp. 341-352.

Pour citer cet article

Référence électronique

Nadja Victor, Olivier Klein et Philippe Gerber, « Handicap de situation et accessibilité piétonne : reconcevoir l'espace urbain », *Espace populations sociétés* [En ligne], 2016/2 | 2016, mis en ligne le 29 juin 2016, consulté le 29 juin 2016. URL : <http://eps.revues.org/6279>

À propos des auteurs

Nadja Victor

Doctorante en Information géographique et applications

Laboratoire EVS ISTHME UMR 5600

6, rue Basse des Rives

42023 Saint-Etienne

LISER

Maison des Sciences Humaines

11, Porte des Sciences

L-4366 Esch-sur-Alzette / Belval

nadja.victor@liser.lu

Olivier Klein

Chargé de recherche

LISER

olivier.klein@liser.lu

Philippe Gerber

Chargé de recherche

LISER

philippe.gerber@liser.lu

Droits d'auteur



Espace Populations Sociétés est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Résumés

À l'heure où les espaces publics doivent être organisés de manière à permettre une accessibilité totale aux personnes handicapées, les mesures proposées pour améliorer la mobilité des piétons semblent dorénavant devoir considérer l'espace du point de vue des usagers. Toutefois, l'espace urbain ne peut être épuré de tout obstacle puisque certains espaces favorables aux

uns peuvent être simultanément défavorables aux autres. Le handicap est ici abordé comme le résultat d'une situation où l'adéquation entre l'aménagement des espaces et la demande de l'utilisateur en fonction de ses caractéristiques physiques intrinsèques s'avère inexistante ou insuffisante. La localisation et l'identification de la nature des espaces, à l'échelle des quartiers, mais aussi la préconisation d'itinéraires adaptés à l'utilisateur, à celle des tronçons, semble être une réponse socio-spatiale aux attentes d'une approche du « handicap de situation ». Pour ce faire, une méthodologie d'acquisition et d'analyse de données spécifiques à l'accessibilité piétonne, un audit urbain, est proposée dans le but de compléter un système d'information géographique et de configurer des restrictions potentielles de déplacement suivant les usagers.

Handicap of situation and pedestrian accessibility: redesign urban space

Nowadays, public spaces have to be planned to allow a full accessibility for people with disabilities. The measures proposed to improve pedestrian mobility need to consider the surrounding space from the users' point of view. However, urban space cannot be purged of any obstacles, since a favourable areas for some users can simultaneously be unfavourable to others. Therefore, disability is addressed as the result of a situation where the balance between urban planning and the user's demands, according to his own physical characteristics, are inexistent or not efficient. A socio-spatial answer to the expectation of a "handicap of situation" approach seems to pass by the location and the identification of the nature of spaces at the scale of a neighbourhood, but also by adapted routes to users at the scale of a segment. To achieve this, a pedestrian-oriented data collection and analysis, an urban audit, is provided to complete a geographical information system and to configure potential moving restrictions in respect of various users.

Entrées d'index

Mots-clés : déplacement piéton, accessibilité, système d'information géographique, handicap de situation, marche

Keywords : pedestrian trip, accessibility, geographical information system, handicap of situation, walk

Modéliser la marche urbaine et les relations environnement–usagers dans un SIG. Application à la ville de Luxembourg.

Nadja VICTOR¹ et ², Olivier KLEIN² et Thierry JOLIVEAU¹

1. Laboratoire EVS ISTHME UMR 5600 EVS, Université Jean Monnet
6, rue Basse des Rives, 42023 Saint-Etienne, France

2. LISER – Luxembourg Institute of Socio-Economic Research (Anciennement CEPS/INSTEAD)
3, avenue de la Fonte, L-4364 Esch-sur-Alzette, Luxembourg
nadja.victor@liser.lu ; olivier.klein@liser.lu ; thierry.joliveau@univ-st-etienne.fr

RESUME.

Proposer un modèle d'accessibilité piétonne adapté aux besoins de chacun nécessite de considérer les interactions existantes entre les éléments de l'environnement à traverser et les caractéristiques physiques de l'utilisateur, au-delà de la simple prise en compte de références de vitesse ou de capacité moyenne d'accès. Dès lors, afin de créer une base de données spécifique aux déplacements piétons, un ensemble de protocoles et de méthodes d'acquisition et d'analyses est proposé. Implémentée dans un système d'information géographique, cette base de données permet finalement de qualifier les tronçons constituant le réseau en fonction du terrain et d'identifier des espaces aux profils plus ou moins favorables à l'accessibilité piétonne selon les spécificités de chacun.

ABSTRACT.

Providing a pedestrian accessibility model adapted to individual needs requires to consider existing interactions between elements of the environment to cross over and user's physical characteristics beyond a simple consideration of speed references or average capacities to access. Therefore, a set of protocols and methods of data collection and analysis have been used in order to create a specific database dedicated to pedestrian displacements. Implemented in a geographical information system, this database finally allows to call the sections component of the network following the field and to identify spaces with more or less favourable profiles for pedestrian accessibility according to the specificities of each.

MOTS-CLES : Accessibilité. Piéton. Environnement. SIG. Réseau. Handicap.

KEYWORDS: Accessibility. Pedestrian. Environment. GIS. Network. Handicap.

DOI:10.3199/JESA.45.1-n © Lavoisier 2012 [AR_DOI](#)

1. Introduction

Dans les modèles de déplacement piéton, le recours à un usager standard, caractérisé par une vitesse moyenne constante et une capacité d'accès à l'environnement sans restriction, est une pratique très répandue. Néanmoins, cette approche classique n'est pas représentative de la diversité des usagers. Pour identifier les situations de restrictions d'accès à l'espace pouvant être imperceptibles pour certains mais insurmontables pour d'autres, il est indispensable de tenir compte des spécificités individuelles des usagers (Lanteri, 2005) d'une part, et d'aborder les facteurs environnementaux du point de vue de l'utilisateur (OMS, 2001), d'autre part. Cette recherche exploratoire propose ainsi d'aborder l'accessibilité piétonne sous le prisme de la relation environnement-utilisateur de manière à identifier les situations garantissant une ville propice aux déplacements piétons et inclusive. Il s'agit, pour ce faire, de dépasser l'utilisateur standard et de le remplacer par un ensemble d'utilisateurs dont les caractéristiques physiques sont variables et dépendantes de l'environnement parcouru. En d'autres termes, cela revient à s'interroger sur les circonstances et les modalités d'interactions entre les propriétés de l'environnement et les caractéristiques physiques des utilisateurs. Elles sont ici explorées à travers les éventuelles contraintes d'accès à un espace causé par un handicap physique fonction de la situation où la notion même de handicap disparaît au profit de celle de situation urbaine handicapante (Thomas, 2003 ; Bodin, 2007 ; Fort-Jacques, 2008 ; Dejeammes et Fiore, 2011). « Un handicap de situation apparaît ainsi dans deux circonstances : lorsque l'adéquation entre l'aménagement des espaces et la demande de l'utilisateur s'avère inexistante ; lorsque ce dernier éprouve des difficultés à mobiliser et s'approprier les aménagements du lieu » (Thomas, 2003 : p. 239).

Lors d'un déplacement, tout piéton peut ainsi être momentanément contraint par une situation où les propriétés d'éléments de l'environnement se révèlent en inadéquation avec ses caractéristiques physiques intrinsèques. De nombreuses études sur les conditions favorables à la marche ou à l'accessibilité piétonne proposent des solutions d'aide à la décision pour les aménageurs ou/et les particuliers (Golledge *et al.*, 1991 ; Matthews *et al.*, 2003 ; Mackett *et al.*, 2008 ; Yairi et Igi, 2007 ; Amiaud, 2012 ; Kammoun, 2013 ; etc.). A notre connaissance, seul un projet de recherche propose à ce jour un produit intégré se concentrant à la fois sur la préconisation d'itinéraires accessibles et sur l'évaluation du potentiel d'un espace à favoriser les déplacements piétons. Ce projet dénommé AMELIA (*A Methodology for Enhancing Life by Increasing accessibility*) propose à des aménageurs et des décideurs politiques du Royaume-Uni de tester, via un logiciel, l'efficacité de leurs politiques de transport à accroître l'inclusion sociale (Mackett *et al.*, 2008 ; Titheridge *et al.*, 2009). Cependant, cette solution se focalise essentiellement sur les aspects physiques de l'exclusion sociale (obstacles sur les trottoirs, changement de niveau, véhicules accessibles, etc.) et n'intègre que partiellement la variété d'utilisateurs piétons présents sur la voirie et les situations de contraintes que cela peut engendrer (situation de handicap temporaire ou récurrente, conflit d'usage des aménagements handicapés, etc.).

Dans cette perspective, l'approche retenue s'appuie sur un système d'information géographique (SIG) pour construire une plate-forme de recherche efficace pour traiter ces questions en proposant des outils multiscalaires d'acquisition, d'archivage, d'analyse et d'affichage de données numériques géolocalisées. Les fonctions de calcul d'itinéraires basés sur l'algorithme de Dijkstra permettent d'implanter des restrictions de segments sous la forme de poids de manière à tenir compte de la présence d'obstacles et de leurs influences sur le réseau. Dès lors, afin de garantir des perspectives de recherches multiples autour des conditions urbaines propices à la marche et inclusives, il est indispensable, dans un premier temps, de collecter et de structurer des données géographiques adaptées – détaillant finement les caractéristiques de l'environnement parcouru par les piétons – pour pouvoir, dans un second temps, permettre une agrégation des données adaptée aux études et à leurs échelles d'analyse. Cette approche est expérimentée sur Luxembourg-ville, cadre propice pour tester le modèle proposé. Bien que de taille modeste, cette ville dispose d'un environnement relativement varié présentant aussi bien des contraintes naturelles topographiques qu'anthropiques. Pour ce faire, la mise en place d'une base de données géographiques requiert un certain nombre d'étapes allant de la construction d'un réseau pédestre spécifique à l'intégration de données attributaires détaillant les propriétés de l'environnement. La création d'un protocole de collecte de données complémentaires sous la forme d'un audit urbain complète cette approche. L'ensemble des données collectées permet alors de définir plus précisément les éléments de l'environnement concernés par le modèle d'accessibilité piétonne et de proposer une classification des espaces selon leur accessibilité.

2. Acquérir et intégrer des données spatiales spécifiques à l'accessibilité piétonne

2.1. Création d'un réseau dédié aux déplacements piétons

L'acquisition et l'intégration de données spécifiques au déplacement piéton sont deux étapes initiales incontournables pour mettre en place un modèle d'accessibilité dans un système d'information géographique. De la sorte, la première étape d'acquisition consiste à collecter l'ensemble des données administratives permettant de construire un réseau pédestre. L'Administration du Cadastre et de la Topographie (ACT) du Grand-Duché de Luxembourg et la Ville de Luxembourg possèdent des bases de données topo-cartographiques précises décrivant la morphologie de la ville. Ces bases de données sont notamment composées de bâtiments, de voies de communications routières et ferroviaires, du réseau hydrographique et de la topographie. De toute évidence, ces données aux finalités bien différentes de nos besoins spécifiques, se révèlent incomplètes et partiellement en inadéquation avec notre objectif d'élaboration d'un réseau pédestre. Pour exemple, les trottoirs ou les traversées de voies ne figurent pas dans ces bases de données.

En conséquence, une digitalisation complémentaire du réseau s'avère indispensable. Deux types d'espaces urbains sont alors identifiés : ceux qui suivent le linéaire des chaussées ou du bâti (trottoir, rue piétonne) et ceux qui correspondent aux espaces ouverts pouvant être parcourus par des piétons (place, pelouse, etc.). Les

espaces qui suivent le linéaire sont digitalisés manuellement en s'appuyant sur diverses sources telles que des orthophotos et des plans de ville spécifiques à l'image du *Kinderstadtplan* (Plan de la ville pour les enfants). Les espaces libres surfaciques sont traités à part et font l'objet d'une modélisation distincte permettant de les reconstruire sous une forme réticulaire pour les intégrer au réseau pédestre.

Cette transformation d'éléments géométriques surfaciques en éléments linéaires est mise en place selon une démarche adaptée s'appuyant sur des théories issues de la *Space Syntax* et des *isovists*. D'un côté, la *Space Syntax* se base sur l'étude du bâti dont la morphologie crée par défaut un système d'espaces ouverts qui structure la ville en un réseau d'espaces continus (Hillier et Hanson, 1984 : p. 89). De l'autre, 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 (Benedikt, 1979 : p. 47). De là, des graphes d'intervisibilité peuvent être créés pour simuler les traversées de ces espaces ouverts en fonction de la morphologie du bâti et des aménagements présents (statues, arbres) (Turner *et al.*, 2001 ; Peponis *et al.*, 1997). La figure 1 illustre le procédé utilisé pour digitaliser une traversée de place. Cette approche repose sur l'hypothèse qu'un piéton maintient un cap mental entre son point d'entrée *A* dans l'espace ouvert et celui de sortie *B* afin de tracer un segment les reliant par la distance la plus courte. A partir de ces points définis, deux *isovists* sont dès lors créés en fonction des aménagements présents (Suleiman *et al.*, 2012). Le point d'intersection C_x des deux *isovists* le plus proche du segment (cap) est sélectionné et permet de tracer une polyligne AC_xB traversant l'espace en évitant les aménagements présents dans l'environnement. L'ensemble de ces tronçons créé vient ainsi compléter le réseau piéton formant une succession de segments reliés les uns aux autres par leurs sommets et découpés à chaque situation de carrefour et/ou de changement de revêtement.

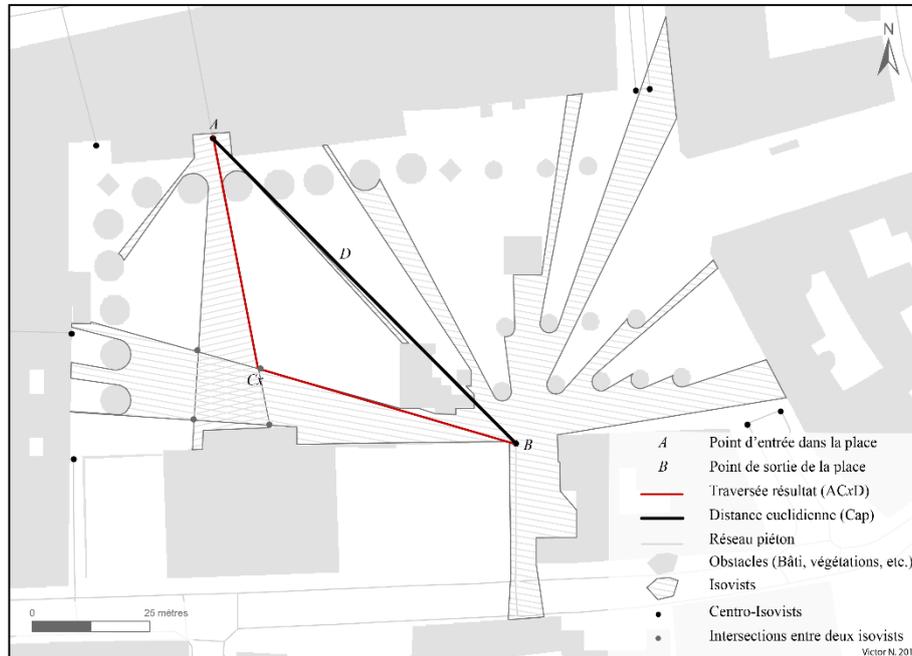


Figure 1 : Digitalisation d'une place à l'aide d'isovists

A ce réseau piéton bidimensionnel vient s'ajouter la topographie qui peut se révéler un obstacle naturel aux déplacements pédestres. De ce fait, un Modèle Numérique de Terrain (MNT) a été construit avec les données topographiques fournies par l'ACT (points cotés et courbes maitresses, normales, intercalaires et de cuvettes). Les valeurs d'altitude issues du MNT sont ensuite intégrées à chaque sommet composant les tronçons afin de valuer la composante z du réseau et d'en déduire les valeurs de pentes des segments qui sont inclus en tant qu'attributs.

2.2. Structuration la base de données et configuration du calculateur d'itinéraires

Une fois le réseau créé, la base de donnée constituée est structurée suivant l'idée que les tronçons ne permettent pas tous le même degré de liberté de mouvement du piéton sur la voie et que la réglementation en vigueur ne protège pas toujours ce dernier face aux autres modes de transports. Les segments dont la voirie est entièrement utilisée par les piétons et où la circulation piétonne est le plus souvent prioritaire par rapport aux autres modes sur toute la largeur de la voie (rue piétonne) sont considérés comme des « espaces dédiés ». A l'inverse, ceux qui correspondent aux parties de la voie publique dont la surface est généralement normée et dont la pratique est spatialement affectée par la présence d'autres modes de déplacements (voiture, bus, vélo, etc.) tels les trottoirs, les chaussées ou encore les accotements, sont qualifiés d'« espaces contraints ». Cette double approche aboutit à la création d'une

typologie de voies en se fondant sur un ensemble de critères et de normes pluridisciplinaires issus notamment de l'urbanisme (Merlin et Choay, 1988 : p. 560), des réglementations et des législations spécifiques (Code de la Route du Grand-Duché de Luxembourg, 1955) ou encore de la géographie (Pumain *et al.*, 2006 : p. 219). La typologie établie identifie ainsi 10 voies caractéristiques des espaces dédiés – rue piétonne, place, traverse, chemin, allée, sentier, escalier, ascenseur, passerelle et pelouse – et 6 voies pour les espaces contraints – trottoir, passage piéton, traversée informelle, accotement, pont, parking.

Dès lors, il devient possible d'intégrer au calculateur d'itinéraires des règles permettant de prioriser certains tronçons au détriment d'autres en fonction du type de voie. Ceux-ci sont hiérarchisés de manière à ce que le calculateur d'itinéraires privilégie les voies aux critères les plus favorables aux déplacements piétons (sécurité, confort, etc.). Pour cela, il intègre des règles d'accessibilité additionnelles lors du calcul de parcours. Ces règles sont déterminées en fonction des difficultés d'accès au réseau déterminées selon l'environnement et des catégories d'utilisateurs. A ce stade du modèle, il s'agit donc de tenir compte d'une part des normes et critères qui ont permis de définir les types de voies et d'autre part, de normes d'accessibilité préconisées par rapport aux catégories d'utilisateurs (Grobois, 2010 ; Info Handicap, 2000). Trois profils sont proposés (Victor et Klein, 2011) : les personnes à mobilité classique (sans contrainte d'accessibilité à l'espace), les personnes à mobilité réduite (utilisateurs de canne, béquille, prothèse) et les personnes à mobilité très réduite (fauteuil roulant, poussette). Par exemple, les sentiers sont configurés dans le calculateur d'itinéraires comme impraticables par les personnes à mobilité très réduite du fait d'un sol irrégulier et d'une largeur étroite inadéquate à l'utilisation d'un fauteuil roulant ou d'une poussette (largeur, stabilité).

Néanmoins, pour tenir véritablement compte de la relation Environnement/Usager qui dépend des caractéristiques physiques de l'utilisateur mais également des propriétés de l'environnement à traverser, ces règles d'accessibilité s'avèrent insuffisantes. Il est alors indispensable d'aller plus loin en adaptant le terrain modélisé aux spécificités hétérogènes et complexes des usagers. Par conséquent, des données plus détaillées sont nécessaires pour mieux caractériser chaque tronçon en relevant divers attributs comme le revêtement, la texture et les dimensions. Pour ce faire, un protocole de collecte de données a été mis en place et expérimenté dans le centre-ville de Luxembourg.

2.3. Construction d'un protocole pour la réalisation d'un audit urbain

Dans le but de compléter les données relatives au réseau piéton avec un niveau de détails très élevé, un protocole d'acquisition de données localisées, dénommé *audit urbain*, est mis en place. Sébastien Lord et Paola Negron-Poblete (2014) décrivent l'audit urbain comme un processus systématique et précisément documenté permettant de recueillir des informations objectives et spatialisées afin de réaliser des diagnostics morpho-fonctionnels. Ils proposent 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. Leurs objectifs consistent à (1) caractériser de manière systématique les environnements immédiats des résidences pour personnes âgées et (2) 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, notre méthodologie d'audit urbain propose ainsi un relevé qualitatif systématique visant à tenir compte de toutes les situations de handicap potentielles. Pour cela, les propriétés et éléments à relever ont été sélectionnés à partir de normes d'accessibilité luxembourgeoises complétées par des normes européennes (Info handicap, 2000 ; Grobois, 2010 ; norme ISO/FDIS 21542:2011) ainsi que des résultats de recherches menées auprès de publics spécifiques (Lord, 2013 ; Lanteri *et al.*, 2005 ; Matthews *et al.*, 2003 ; Yairi et Igi, 2007 ; Golledge *et al.*, 1991). La transposition de ces normes dans le SIG oriente la collecte des données pour obtenir ultérieurement des indicateurs pour qualifier un degré plus ou moins favorable d'accessibilité pour chaque usager. La réalisation de cet audit urbain s'appuie sur une grille d'enquête recensant toutes les caractéristiques propres à chaque segment du réseau pouvant potentiellement influencer le déplacement piéton (figure 2).

Nom rue :	Bd Prince Henri	ID :	851	Date / Heure :	
Nom rue début :	avenue Monterey	Côté rue :	Est		16:37 09/09/2014
Nom rue fin :	avenue Marie-Therese	Météo :	froid sec nuageux -1°C		
Type de tronçon : Trottoir (1); Passage piéton (2); Traverse 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)					1
Propriétés et Etat du segment		Si Ascenseur (0; 1)		Si Escalier (0; 1)	
Revêtement du segment ? (0; 1)		Durée appel (s)		Nombre de marches	
Asphalte/Ciment	0	Durée trajet (en s)		Palier de repos (nb)	
Gravier	0	Nb étages ascenseur		0	
Terre Battue		Aménagement handicapé (0; 1)			
Pavage en pierre naturelle	0	Palier repos/ascenseur Profondeur - 1,4 m		Palier Largeur - 1,5 m	
Dalle ou revêtement en pierre	1	Rampe murale simple		Rampe double	
Caoutchouc ou mat. synthétique	0	Bateau		Bateau Largeur - 2 m	
Bois	0	Repère podotactile		0	
Végétal (Herbe-gazon-mousse)	0	Intersections, Trafic et Chaussée			
Texture du segment ? (0; 1)		Nombre de voies		Sens unique (0; 1)	
Compact	1	Présence d'aide aux piétons ? (0; 1)			
Meuble	0	Feu tricolore voiture		Céder le passage	
Lisse/polé	0	Stop		0	
Granuleux/Rugueux	1	Feu tricolore piéton		Feu sonore	
Rainuré/Bosselé	1	Bouton d'appel		Passage surélevé	
Fissuré/Troué	1	Durée d'attente au feu piéton (en seconde) ?			
Etat du segment ? Quantifiez (0; 1; 2; 3)		Durée pour passer au vert qd bouton appuyé		Durée feu rouge	
Déchet	0	Caractéristiques de la chaussée ? (0; 1)			
Déjections diverses	0	Limitation de vitesse à 50 km/h		Zone 30	
Débris minéral (cailloux, boue)	0	Zone 20 (mixte piéton-voiture)		Autres, précisez	
Débris végétal (feuilles, bois)	0	Piste cyclables ? Types ? (0; 1)			
Graffiti	0	Bande cyclable (chaussée)		Voie partagée	
Autres :		Piste cyclable (trottoir)		0	
Dimensions du segment ? (0; 1)		Présence de zone tampon entre le segment et la rue ? (0; 1)			
Largeur	moins de 0,7 m	Caractéristiques dominantes de la zone tampon ? (hiérarchisez)			
	moins de 0,9 m	Arbre/Arbuste		Gazon	
	plus de 1,50 m	Poteau/signalisation		Piste cyclable	
Hauteur	moins de 3 cm	Voiture stationnée		Barrières	
	plus de 16 cm	Eléments urbains sur le segment			
Dénivelé du segment ? (0; 1)		Présence d'éléments urbain ? Quantifiez (0; 1; 2; 3)			
Pente ressentie sur le segment ? (0; 1)	Plate ou douce	Banc		Abris	
	Moderée	Bouche d'égout-grille partielle		Eclairage	
	Forte	Grille sur la largeur		Poubelle fixe	
Orientation ? (0; 1)	Montée	Arbre/Buisson/Plante		0	
	Descente	Emplacement vélo/moto		Station Vel'Oh!	
Dévers ressenti sur le segment ? (0; 1)	Plat ou doux	Emplacement voiture		Sortie de Garage	
	Moderé	Aménités sur place ou le plus proche (0; 1)			
	Fort	Restaurant/Café/Bar		Terrasse	
	vers Droite	Espace vert/Square		Magasins	
Forme ? (0; 1)	vers Gauche	Bâtiment Administratif/ Bibliothèque/ Centre culturel		Superette	
	Les deux			Toilette publique	
		(0; 1 : présence; absence) (0; 1; 2; 3 : absence; un peu, moyennement; beaucoup)			

Figure 2. Grille de collecte de données de l'Audit urbain

Dès lors, 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. Par ailleurs, afin que toute 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 collecte de données sans ambiguïté. L'extrait présenté, en figure 3, a pour but de guider le relevé des revêtements.

Relevez les différents revêtement sur les segments

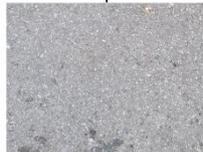
Revêtement : «Ce dont on recouvre une voie pour éviter la formation de poussière ou de boue et faciliter la circulation» (Merlin et Choay, 2014).

Parmis les 8 revêtements proposés, cochez les cas présents sur le segment :

Asphalte/ciment	<input type="checkbox"/>	Dalle en revêtement artificiel	<input type="checkbox"/>	Pavage en pierre naturelle	<input type="checkbox"/>
Gravier	<input type="checkbox"/>	Terre battue	<input type="checkbox"/>	Caoutchouc ou matière synthétique	<input type="checkbox"/>
Bois	<input type="checkbox"/>	Végétal	<input type="checkbox"/>		

- En cas d'ambiguïté, relevez le cas où la surface est assez importante pour contraindre l'accessibilité.
Exemple : si un segment alterne asphalte et pavés en pierre et que la surface de pavés en pierre est assez large pour gêner le passage ou les contourner, relever «pavage en pierre naturelle».

Veillez-trouver ci-dessous des exemples non exhaustifs illustrant différents cas de textures à relever :

Asphalte / ciment			
			
Dalle en revêtement artificiel			
			
Pavage en pierre naturelle			
			
Gravier	Terre battue	Caoutchouc ou matière synthétique	
			
Bois		Végétal	
			

Auteur : N. Victor 2015

Figure 3. Extrait du protocole d'enquête : qualification des revêtements des tronçons

L'utilisation de photographies permet d'illustrer la diversité des revêtements présents en milieu urbain. Les règles énoncées ont pour objectif de dissiper toutes ambiguïtés notamment en cas de coprésence de revêtements différents sur un même segment. Pour compléter une grille relative à un tronçon, 8 minutes environ 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.

La phase de collecte de cet audit urbain engendre un coût temporel relativement élevé par le nombre d'éléments à relever sur le terrain. Dans le but de créer une plateforme pour différentes recherches autour de la marche urbaine, l'utilisation d'un échantillon du réseau est une solution envisageable qui offre un premier laboratoire expérimental sur cette thématique. Toutefois, pour une mise en service au grand public ou aux politiques et aménageurs, l'ensemble du réseau doit être traité. Un procédé de simplification de la collecte de données est en cours de développement. Il repose sur deux propositions à partir de plusieurs échantillons du réseau. La première consiste à identifier les critères dominants à relever qui sont spécifiques au terrain étudié, à partir des échantillons, pour soulager la durée de collecte. La seconde consiste à déterminer les profils de voies présentes sur le terrain, en fonction des échantillons, et d'appliquer ce profil aux autres segments du réseau non-audités ; puis de compter sur un retour des usagers ou associations pour modifier les éventuelles erreurs, à l'instar de plateformes collaboratives (*crowdsourcing*), comme *OpenStreetMap* ou *Waze*. Une action collaborative permettrait ainsi une mise à jour des données et pourquoi pas l'identification en temps réel d'obstacles. Dans les deux cas, l'une ou l'autre proposition reposent sur la création d'échantillons représentant la diversité du réseau piéton. Dans le cadre des déplacements piétons, nous proposons d'effectuer cet échantillonnage en tenant compte de la diversité des facteurs environnementaux pouvant avoir une influence sur la marche (Zacharias, 2001 ; Southworth, 2005 ; Lo, 2009). Des indices de *walkability* basés sur des critères comme la connectivité, l'occupation du sol, la mixité du bâti ou encore l'accessibilité pourraient dès lors être utilisés pour sélectionner des profils d'espaces urbains divers et variés (Frank *et al.*, 2009 ; Duncan *et al.*, 2011 ; Gutiérrez-Martinez, 2014). Une fois ces échantillons identifiés et l'audit urbain effectué, une analyse statistique des données collectées pour chaque espace permettra d'identifier les critères dominants à relever d'une part, et de déterminer des profils statistiques de voies, de l'autre.

Qu'il s'agisse d'un échantillon expérimental ou du réseau en entier, la réalisation de l'audit urbain ancre donc le modèle sur le terrain. Bien que la commune de Luxembourg-ville ne soit pas très grande, sa topographie est complexe, à cheval sur deux vallées encaissées par deux rivières – l'Alzette et la Pétrusse – délimitant le cœur de la ville. Pour un total de 1 183 km de réseau piéton, les tronçons ont une longueur moyenne de 48 mètres et sont relativement bien connectés (*gamma index* : 0,48). Par ailleurs, la ville de Luxembourg possède un terrain très accidenté avec des pentes pouvant varier de 0 à 62% et une pente moyenne à 2%. Pour finir, les espaces dédiés constituent 46% de la voirie. Dans le cadre de cette approche expérimentale, l'audit urbain se concentre sur les quartiers centraux de Luxembourg (38 km de réseau), portion de la ville présentant la plus grande diversité de tronçons, des pentes

importantes (pente moyenne 3%) et une connectivité supérieure à celle de l'ensemble de la ville (*gamma index* : 0,52). Par ailleurs, étant traversé en grande partie par une zone piétonne, 52% du réseau sélectionné correspond à des espaces dédiés aux piétons.

Une fois intégré au modèle, l'audit urbain, améliore les possibilités d'identification et de localisation des obstacles au déplacement. La configuration du calculateur d'itinéraires peut alors être perfectionnée en tenant compte des impacts défavorables au déplacement en reliant les propriétés des éléments présents sur les tronçons aux caractéristiques intrinsèques à l'utilisateur sous la forme de restrictions.

3. Configurer le réseau selon les caractéristiques d'un usager

3.1. Instauration d'un principe de restriction

Les restrictions établies à l'issue de l'audit urbain permettent d'articuler la relation qui s'établit entre l'environnement et l'utilisateur lors d'un déplacement. Dès lors, elles sont abordées sous la forme d'un questionnaire. L'individu selon ses caractéristiques est-il capable de franchir l'obstacle ? S'il peut le franchir, éprouve-t-il des difficultés ? En d'autres termes, s'agit-il d'une restriction totale à un tronçon ? Ou l'individu peut-il poursuivre son chemin au prix d'un temps et/ou d'un effort supplémentaire ? S'agit-il alors d'une restriction partielle ? 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.

A ce stade de la recherche, l'impact de l'environnement sur ces caractéristiques et leurs conséquences sur l'accessibilité sont déterminés à l'aide d'une revue de littérature (Grobois, 2010 ; Info handicap, 2000 ; Norme ISO/FDIS 21542:2011). Il s'agit d'estimations qui pourront être ultérieurement précisées au moyen d'une enquête usager et confirmée par une expertise médicale. Une 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 est ainsi proposée et permet d'établir des limites de restrictions aux tronçons. Pour cela, un tableau (figure 4) permet de faire évoluer les pondérations de restrictions 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 climatiques. La figure 4 est un exemple considérant la capacité de déplacement d'utilisateurs se déplaçant de manière autonome avec une aide à la marche dotée de roues (fauteuil roulant, rollator).

Conditions climatiques		Soleil / Nuageux			Pluie/Gel-neige						
Propriété de la voie		Santé de l'utilisateur									
		Excellente	Bonne	Fragile	Excellente	Bonne	Fragile				
Revêtement	pavage en pierre naturelle disjoint	2	2	3	3	3	4				
	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	3	4				
	bosselé/troué	2	2	2	3	3	4				
	disjoints	2	2	3	2	2	3				
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	1	1	2	2	2	0				
	plus de 16 cm	4	4	4	4	4	4				
Pente	5-8 %	1	1	3	2	3	4				
	8-10 %	2	3	4	3	4	4				
	10-12 %	3	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	plus de 25 marches	4	4	4	4	4	4				
	moins de 25 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 : d'après Grobois, 2010 ; Info Handicap, 2000 ; Norme ISO/FDIS 21542:2011 ; Hays, 1998

Figure 4 : Restrictions au réseau pédestre consécutive à un déplacement avec utilisation d'une aide à la marche de type fauteuil roulant ou rollator

L'accessibilité du réseau est ainsi contrainte par un certain nombre de critères qu'il est possible d'identifier grâce aux normes d'accessibilité préconisées détaillées dans la littérature. Par exemple, un fauteuil roulant ne peut franchir des obstacles ayant des hauteurs supérieures à 3 cm et des largeurs inférieures à 70 cm (Grobois, 2010). Pour déterminer l'influence de la relation usager-environnement sur les déplacements piétons, il apparaît, entre autres, indispensable de tenir compte des conditions climatiques 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). L'état de santé de l'utilisateur est également un indicateur incontournable puisqu'il renseigne sur le potentiel d'un usager à effectuer un effort supplémentaire pour franchir un obstacle. Cet aspect est évalué par un questionnaire médical standard, dénommé RAND-36 (Hays, 1998) qui propose une estimation de l'influence de l'état de santé physique et psychologique d'une personne sur sa vie quotidienne. Dans le contexte des déplacements piétons, nous nous sommes d'abord focalisés sur les limitations physiques. Les barrières psychologiques au déplacement seront intégrées ultérieurement au modèle. Le RAND-36 permet de déterminer un score témoignant de la condition physique perçue d'un usager. Une santé *excellente* signifie donc 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.

Parallèlement, les restrictions 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 franchie 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'utilisateur. 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. Par exemple, les cas de déséquilibre se rapportent généralement à une situation où l'utilisateur risque de glisser, de s'enfoncer dans le sol ou de se heurter à une pente ou un dévers trop important pouvant le faire basculer. D'autres cas peuvent être liés aux conditions de santé de l'utilisateur (endurance) et peuvent avoir comme conséquence des risques de suffocation ou de tachycardie. 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. Pour finir, un accès impossible au tronçon indique des situations où l'environnement est complètement en inadéquation avec les capacités de déplacements de l'utilisateur. Pour des personnes à mobilité réduite ou très réduite, les butées suite à une largeur trop étroite ou encore à une hauteur infranchissable apparaissent comme les cas les plus fréquents d'obstacles impliquant un accès impossible au tronçon.

En perspective, l'influence d'éléments favorables au déplacement sur les itinéraires proposés par le modèle pourrait également être implémenté en intégrant des préférences lors des calculs selon la présence d'aménités relevées dans l'audit urbain (espaces verts, rues commerçantes, etc.). Cet aspect est un projet encore en développement qui nécessite d'évaluer quels éléments de l'environnement sont prioritaires en fonction des usagers. Nous émettons, d'ores-et-déjà, une première hypothèse : la faisabilité et l'accessibilité sont les deux conditions prioritaires lors des déplacements piétons alors que la hiérarchisation des autres critères comme l'utilité des lieux, la sécurité, le confort environnemental et physique ou encore le plaisir des sens (Metha, 2008 ; Alfonzo, 2005 ; Southworth, 2005) varie en fonction des usagers. Un état de l'art complémentaire sur les critères de *walkability* et une enquête usagers apporteront peut-être des premiers éléments de réponse.

3.2. Description de la mise en œuvre dans un SIG

Les conditions définies au préalable permettent donc de paramétrer les requêtes pour interroger le SIG et calculer des itinéraires spécifiques aux caractéristiques de chaque usager. L'algorithme de Dijkstra (1959) est alors utilisé de manière à ne sélectionner que des valeurs optimisées qu'elles soient métriques, temporelles ou encore énergétiques. Pour commencer, si l'ensemble des caractéristiques de l'utilisateur détermine une vitesse moyenne de confort qui lui est propre, cette dernière est également dégradée en fonction des propriétés de l'environnement (Klein et al., 2011). Ainsi l'évolution de la vitesse est relative à l'utilisateur et à son rapport à la pente et aux escaliers.

Des surcoûts sont ensuite utilisés de manière permanente afin de simuler les situations d'attente lors d'une traversée de rue ou d'un recours à un ascenseur. Les temps de traversées 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 ou une moyenne par étage a été estimée. Afin de simuler également les contraintes conséquentes à l'attente lors des chemins les plus courts ou moins fatigant, une conversion des temps d'attente supplémentaire est proposée en mètre et joule. Par exemple, dans le cas d'une attente de traversée à un feu tricolore avec bouton poussoir est estimée en moyenne à 40 secondes. 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 à un équivalent de 51 mètres et 5890 joules. Si ces valeurs peuvent paraître surestimées par rapport au procédé qu'utilise Frédéric Héran (2011 : p. 37), elles ont le mérite de mettre en valeur l'effet coupure de ce type d'infrastructure sur les itinéraires piétons et l'agacement qui en découle.

Ensuite, dans le but d'appréhender la diversité des usagers piétons dans un SIG (cf. figure 6), l'utilisation de restrictions temporaires (sous forme de coefficients de pondération) permet d'influencer les valeurs des tronçons lors du calcul d'itinéraires. Un tronçon doté d'un obstacle pour l'utilisateur sera donc affecté d'un coût (temporel,

métrique ou énergétique) supplémentaire de manière à être défavorisé par rapport à un tronçon sans obstacle (cf. figure 5).

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

Figure 5 : Coefficients représentant un poids de restriction équivalent à un surcoût sur le tronçon

Si 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). Les coefficients correspondent à une valeur supérieure à 1 de manière à créer un surcoût. Les coefficients entre 0 et 1 permettent de favoriser la présence d'éléments sur le tronçon (aménités, aménagements handicapés). L'utilisation 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 (Dijkstra, 1959) et ne sont donc pas intégrés aux estimations de coût des cheminements. La relation environnement/usager est donc intégrée à différents niveaux dans le SIG. Certains critères comme la vitesse ou les surcoûts d'attente sont intégrés directement dans la base de données alors que l'influence conséquente à la présence d'obstacles sur les tronçons est flexible et appliquée à partir du calculateur d'itinéraires. Ce processus nécessite donc de définir les caractéristiques de l'utilisateur en premier, puis de configurer un profil de vitesses et d'accessibilité en fonction de l'utilisateur. Le tout est alors implémenté au SIG (base de données et calculateur d'itinéraire) et permet d'obtenir divers résultats de types cartographiques ou matriciels (cf. figure 6).

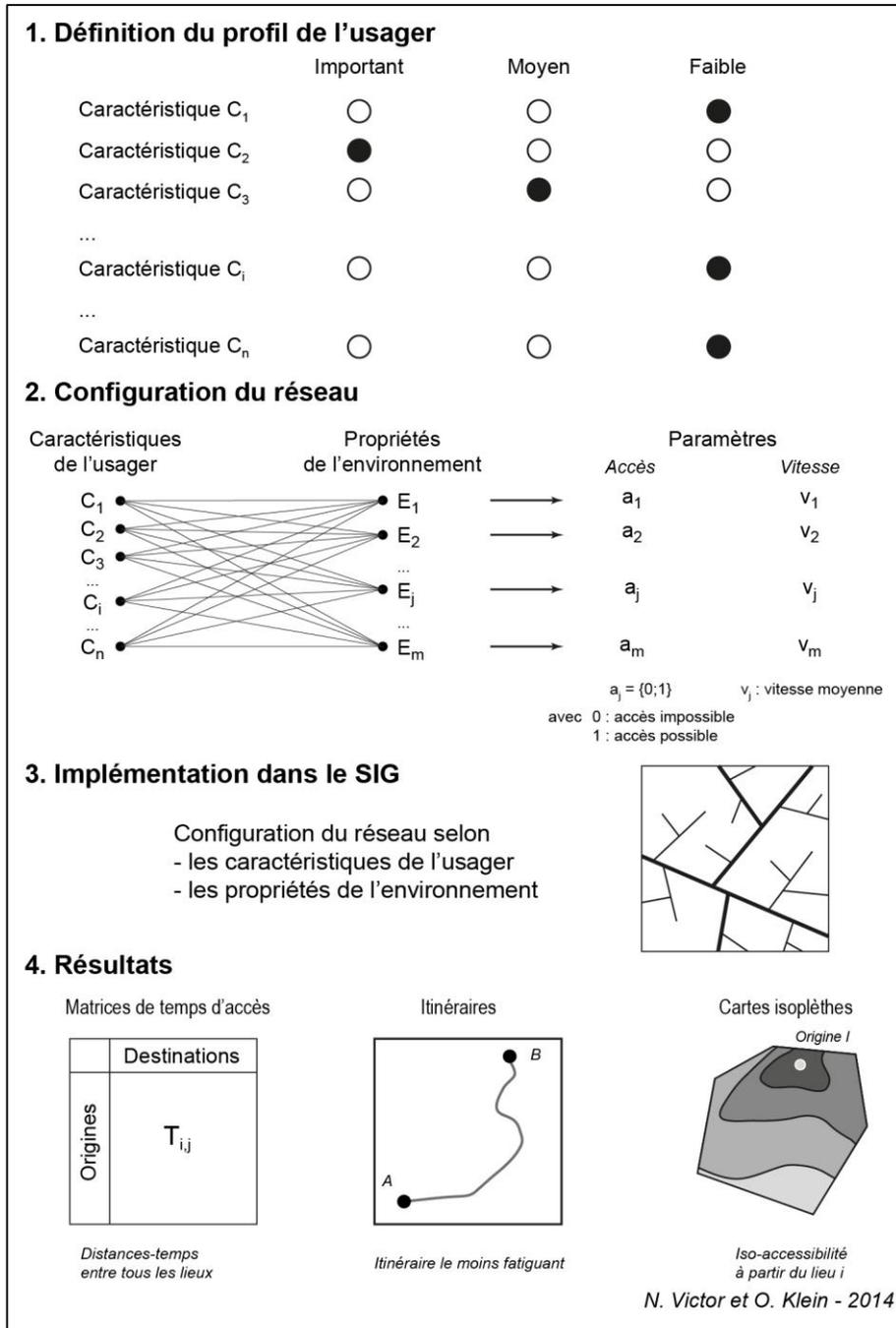


Figure 6 : Intégration de la relation environnement/usager dans un SIG

A ce stade de la recherche, 3 types de résultats peuvent être produits : 1) pour un usager avec ses caractéristiques spécifiques, différents itinéraires peuvent être calculés, entre autres le plus court, le plus rapide, le plus accessible ou le moins fatiguant ; 2) de là, des matrices origines-destinations peuvent être générées à partir d'un ensemble de lieux sélectionnés pour chaque cas de figure mentionné précédemment ; 3) parmi les cartes pouvant être produites, les cartes d'iso-accessibilité offrent la possibilité de représenter l'accessibilité intra-urbaine à travers des lignes joignant des points d'égal temps d'accès ou de consommation énergétique. De telles représentations permettent de rendre visible les zones urbaines les plus facilement accessibles et, au contraire, celles nécessitant un temps et/ou un effort plus important. Pour le moment, le potentiel cartographique n'a pas encore été pleinement développé, des solutions sont en cours de test pour mieux identifier des zones enclavées ou mal aménagées.

3.3. Exploitations statistiques des données issues de l'audit urbain

La démarche proposée basée sur un principe de restrictions permet de mieux caractériser les tronçons et leur potentiel d'accès. Son intérêt est multiple.

Premièrement, les définitions et la typologie de voies sont affinées en fonction du terrain, ce qui permet de mieux hiérarchiser les tronçons. Pour ce faire, seuls les types de segments les plus représentés ont été conservés pour ne pas induire de biais dans les traitements statistiques. Sur seize types de tronçons répertoriés, huit ont été conservés : les trottoirs, les places, les rues piétonnes, les passages piétons, les allées, les escaliers, les traverses et les accotements. Ainsi, afin de requalifier la typologie de voies en fonction des propriétés et éléments présents sur le terrain, des arbres de décisions sont générés pour chaque type. Dans ce but, six variables nominales sont prises en compte : la largeur de voie, la hauteur à franchir, le revêtement, la granulométrie, la présence d'irrégularités, la pente, le dévers et la présence d'aménagement handicapé. Le Khi-2, pondéré par l'indice T de Tschuprow, est alors utilisé pour déterminer les variables les plus représentatives de chaque type de tronçon. La variable avec l'indice le plus élevé est considérée comme explicative et sert de départ à l'arbre de décision. La méthode CHAID (*Chi-squared Automatic Interaction Detector*) et d'autres paramètres associés servent ensuite à détecter des interactions entre ces variables et à générer les arbres finaux.

Deuxièmement, l'apport de données détaillées au SIG permet d'identifier des groupes de tronçons ayant des propriétés communes favorables ou défavorables à l'accessibilité piétonne suivant les usagers. Afin d'identifier ces espaces, les critères correspondant aux propriétés et états des tronçons – soit le revêtement, les dimensions (largeur, hauteur), la pente et le dévers, l'entretien et la présence d'aménagement handicapé – sont activés. Ensuite, une analyse des correspondances multiples permet de révéler les relations non-linéaires existantes entre les tronçons en fonction des variables qui les décrivent et de déterminer ainsi les tronçons aux critères similaires au-delà de la typologie de voies proposée. Pour cela, l'utilisation d'une classification hiérarchique en fonction de l'algorithme de Ward permet de regrouper deux classes d'une partition pour en obtenir une plus agrégée. Un regroupement sous formes de

classes est alors effectué en fonction des propriétés les plus représentées dans chaque groupe. Il permet d'identifier des espaces favorables ou défavorables à l'accessibilité dans la zone d'étude.

4. Qualifier les espaces urbains et évaluer leur accessibilité

4.1. Qualification des tronçons en fonction du terrain

La démarche expérimentée sur le centre de Luxembourg-ville permet, non seulement, de qualifier les tronçons par rapport aux propriétés et aux éléments présents ou absents (figure 2), mais aussi, de préciser la typologie des voies présentes sur le terrain. Ainsi au-delà de la description du réseau, les analyses statistiques mettent à jour des profils de modalités récurrentes pour chaque type de tronçons. Concernant la zone de l'audit urbain, un profil général de tronçons ressort à travers l'analyse des fréquences par modalités. En moyenne, les tronçons analysés ont une largeur variant entre 0,9 m et 1,50 m, ce qui permet une circulation à tous types d'usagers sans cependant offrir un confort maximal. La zone d'étude semble également dotée de nombreuses voies accessibles aux fauteuils roulants avec des hauteurs à franchir de moins de 3 cm. En outre, la texture du sol indique des surfaces granuleuses-rugueuses, régulières, offrant des espaces stables aux piétons. Des propriétés semblant relativement favorables à l'accessibilité de divers types d'usagers. Cependant, les pourcentages de pente, calculés à partir du SIG, ainsi que les ressentis de pente et de dévers à l'échelle du tronçon, relevés lors de l'audit, pondèrent ce bilan en révélant des espaces plats à modérés. Si les sols et dévers plats permettent une accessibilité intégrale au réseau, les segments aux pentes modérées peuvent contraindre fortement certains types d'usagers en fauteuil roulant ou ayant recours à des béquilles ou prothèses. En outre, trois variétés de revêtements aux potentiels d'accessibilité variant de favorable à défavorable recouvrent les tronçons. Si l'asphalte et les dalles en revêtement artificiel sont, en général, favorables au déplacement piéton, les pavés en pierre naturelle sont régulièrement considérés comme défavorables.

La qualification de la zone d'étude indique donc des espaces mixtes tantôt favorables, tantôt défavorables. La localisation des propriétés par classes pouvant impacter le déplacement piéton doit donc permettre d'identifier les zones plus ou moins favorables suivant les usagers.

4.2. Evaluation de l'accessibilité piétonne

Si l'analyse des données de l'audit, combinée à leurs localisations dans le SIG, permet d'approfondir les connaissances de l'environnement intra-urbain, ce procédé a également rendu possible la localisation et la révélation d'espaces ayant une accessibilité pour tous plus ou moins favorable en tenant compte des propriétés et des éléments de l'environnement présents sur les tronçons. La figure 7 cartographie ces espaces en fonction de quatre classes qui redistribuent les tronçons et permettent de faire apparaître des zones avec des capacités similaires d'accès au public. Si la classe

A est favorable au déplacement de tous types d'usagers, les trois autres possèdent des propriétés pouvant impacter le déplacement des usagers en fonction de leurs caractéristiques physiques. De la sorte, en fonction des éléments les plus représentés dans les classes, ces espaces peuvent se révéler défavorables pour certains usagers – et néanmoins demeurer encore favorables pour d'autres.

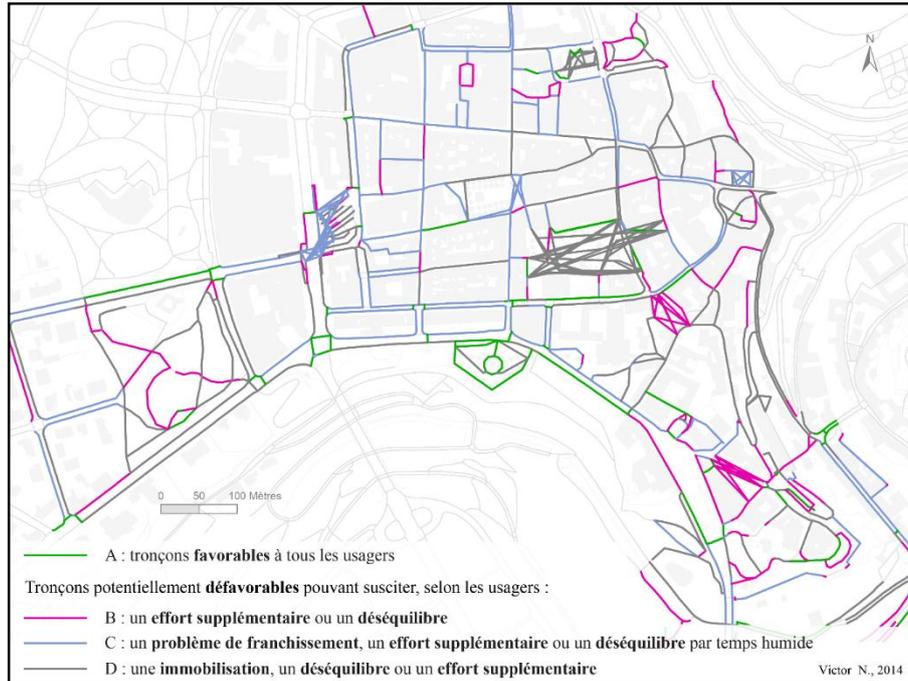


Figure 7. *Qualification des espaces pour l'ensemble des usagers piétons à Luxembourg-ville*

La classe A – *tronçons favorables à tous les usagers* – est composée en majorité de tronçons en asphalte, réguliers, avec des pentes et des dévers ressentis plats-doux dont les surfaces n'imposent pas de franchissement de plus de 3 cm. Il s'agit de la configuration la plus favorable au déplacement excluant tout risque de chute, butée ou encore d'effort supplémentaire à fournir pour franchir des obstacles.

La classe B – *un effort supplémentaire ou un déséquilibre* – caractérise des segments en mauvais états où la présence de bosses et de trous a été constatée. Suivant les circonstances, ces critères peuvent apparaître défavorables à tous les usagers en pouvant engendrer, non seulement, des déséquilibres (trébuchement, butté), mais aussi, de possibles immobilisations d'un support à roues (fauteuil roulant, poussette, rollators) allant, au pire des scénarii, jusqu'à la chute. Par ailleurs, plus de la moitié des tronçons représentés dans cette classe ont des pentes ressenties comme modérées ou fortes pouvant requérir un effort important à fournir pour les franchir. La forte

présence de pavés en pierre naturelle possédant des interstices en général à joints larges et creusés peut également créer des difficultés similaires à celles des trous.

La classe *C – 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/polis. 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. Par ailleurs, 49% des tronçons ont des hauteurs à franchir mesurant plus de 3 cm indiquant la présence d'une séparation avec la chaussée ou des marches d'escalier. L'absence d'aménagements handicapés, dans 95% des cas, sur ces tronçons laissent présager de possibles difficultés de franchissement.

Pour finir, la classe *D – une immobilisation, un déséquilibre ou un effort supplémentaire* – est constituée, pour plus de la moitié, 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.

Finalement, la localisation des espaces favorables ou défavorables à l'accessibilité semble bel et bien transcender un découpage en fonction du degré de liberté de mouvement de l'utilisateur et de la régulation de l'utilisation de ces espaces. Il apparaît que la prise en compte de la relation usager/environnement fait ressortir un certain nombre de barrières au déplacement imperceptibles à certains usagers mais insurmontables pour d'autres. La préconisation d'itinéraires tenant compte de l'accessibilité au réseau doit donc dépasser les définitions proposées par les typologies de voiries classiques (place, trottoir, etc.) et configurer les restrictions d'accès en fonction des caractéristiques de l'utilisateur et des propriétés de l'environnement à traverser.

5. Conclusion et perspectives

Afin de répondre aux recommandations de l'OMS (OMS, 2001) et d'aborder les facteurs environnementaux du point de vue de l'utilisateur, il est essentiel de prendre en compte l'ensemble et la diversité des piétons. En conséquence, la mise en place d'un modèle de déplacement piéton se doit d'être adaptable à chaque situation. Pour ce faire, il est indispensable de créer et de structurer un réseau adapté au déplacement piéton, puis de le configurer aux spécificités de chaque individu, pour finalement aboutir à une qualification du réseau témoignant de la qualité d'accès à l'espace urbain. La prise en compte des propriétés des éléments de l'environnement présents sur le terrain offre la possibilité de dépasser l'utilisateur standard afin de le remplacer par un ensemble d'utilisateurs aux caractéristiques physiques variables et d'explorer ainsi véritablement les situations de handicap sous-jacentes.

Par ailleurs, si l'intégration de critères détaillés pour chaque tronçon permet de saisir les problèmes globaux d'accessibilité existant sur le terrain, ils ne peuvent

simuler de manière représentative le déplacement piéton d'un usager sans tenir compte de la relation directe qu'entretient ce dernier avec l'environnement. Une enquête auprès d'usagers aux capacités physiques motrices diverses et variées est donc actuellement en cours pour observer leurs comportements dans l'espace et ainsi améliorer le modèle proposé. L'enquête se présente en trois étapes : 1) l'enquête répond à un questionnaire pour définir son état de santé et sa capacité à accéder aux espaces urbains ; 2) il effectue ensuite un parcours piéton, en centre-ville, accompagné d'un observateur ; 3) à l'issue du parcours, un entretien entre l'observateur et l'enquêté est effectué durant lequel ce dernier offre un retour d'expérience sur le déplacement effectué.

L'objectif de cette enquête est d'obtenir le point de vue d'usagers différents lorsqu'ils sont confrontés à l'environnement urbain et donc à de potentielles barrières au déplacement. Dans un premier temps, le questionnaire intègre le protocole médical RAND-36 – celui déterminant l'influence de l'état de santé sur la vie quotidienne de l'usager – ainsi qu'une série de questions complémentaires permettant d'évaluer la capacité d'accéder à l'espace et la connaissance de la ville. Le questionnaire a ainsi pour but d'établir des groupes d'usagers aux caractéristiques physiques et motrices variables mais aussi d'adapter les itinéraires proposés en conséquence. De la sorte, dans un second temps, un parcours ayant une longueur adaptée est proposé à l'enquêté avec un itinéraire aller libre et un retour imposé. A l'issue des parcours, des entretiens semi-directifs permettent d'explorer plus en profondeur les choix opérés par l'individu et son ressenti quant aux éventuelles difficultés rencontrées. Cette enquête permet de valider, en partie, le modèle proposé et d'identifier des limites de tolérance à certains obstacles selon les caractéristiques physiques des individus. Ces entretiens devraient également permettre de différencier certaines barrières physiques et psychologiques lors de situations ambiguës comme l'aversion au manque d'ensoleillement d'un trottoir suite à une météo défavorable (neige, gel). Au final, les résultats de cette enquête permettront, non seulement, d'améliorer les restrictions à l'espace proposées par le modèle en tenant compte des usagers, mais également, de mieux configurer les vitesses et les temps de déplacements (p. ex. temps de franchissement de chaussée) dans le SIG.

Pour finir, cette approche rend, à terme, possible la constitution d'un outil d'information et d'évaluation pour les pouvoirs publics et les associations. Il est également destiné à la préconisation d'itinéraires adaptés à chacun notamment selon ses caractéristiques physiques. La réalisation d'une interface adaptée au public et aux aménageurs est une solution envisagée, qui doit encore être développée pour mieux communiquer et visualiser l'accessibilité piétonne de tout un chacun en donnant les moyens de mieux identifier des barrières quotidiennes au déplacement. Côté *usagers*, deux modes pourraient être proposés : (1) un premier général avec des itinéraires proposées selon des catégories d'usagers suivant la capacité motrice, le genre et l'âge ; (2) un second avec un *login* où l'usager pourrait remplir un questionnaire en ligne de manière à déterminer son profil utilisateur et obtenir des itinéraires préconisés personnalisés. Avec ce second mode, une solution de type *crowdsourcing* est envisageable pour fournir des informations sur le terrain et faire remonter des problèmes de modélisation ou d'erreur de données. Il peut s'agir de problèmes d'accessibilité (normes non respectées, encombrement de la voirie), d'évènements

temporaires (travaux, foule) ou encore de l'état des rues (propreté, état de la voie). Ces informations pourraient alimenter la base de données 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. Cependant, cette solution paraît peu pertinente 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 issues d'associations, du monde médical ou d'aménageurs. Du côté *aménageurs et pouvoirs publics*, ces retours permettraient une gestion améliorée de la voirie, toujours à condition de vérifier la qualité des données. La plate-forme en ligne offrirait également une interface avec les usagers pour diffuser des informations de types événementiels (travaux, sorties des poubelles, ouvertures des parcs, etc.). En cas de travaux, par exemple, les routes alternatives pourraient être proposées en fonction du profil des usagers via le mode personnalisé. Des campagnes de sensibilisation sur les modes actifs peuvent aussi être envisagées *via* la cartographie interactive en exposant les espaces compétitifs à la voiture en temps de déplacement. Pour finir, côté *associations ou offices de tourisme*, des tours pourraient être proposées en alliant points remarquables et accessibilité pour tous. Ce type de modèle offre ainsi un grand nombre de perspectives en matière d'utilisation et par conséquent de recherches à venir sur leurs mises en application et les difficultés qu'elles impliquent.

Remerciements

Cette recherche s'inscrit dans le cadre du projet PAWLUX financé par le Fond National de la Recherche, Luxembourg (projet 1183639).

Bibliographie non numérotée et références

- Alfonzo M. A. (2005). « To Walk or Not to Walk? The Hierarchy of Walking Needs », *Environment and Behavior*, vol. 7, pp. 808-836.
- Amiaud D. (2012). « Handicap et politiques de gestions des déplacements piétons : cohabitation et accessibilité pour tous » in Granié M. A., Auberlet J. M., Dommes A. et Serres T. (dir.), *Qualité et sécurité du déplacement piéton : facteurs, enjeux et nouvelles actions*, Salon-de-Provence, 3e colloque francophone international du GERI COPIE, 13-14 octobre 2011, pp. 177-184.
- Benedikt M.L. (1979). « To take hold of space: Isovists and isovist fields ». *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol.6, pp.47-65.
- Bodin F. (2007). « Architecture, urbanisme et handicaps » in Fleuret S. et Thouez J-P. (dir.), *Géographie de la santé*, Economica, Anthropos, Paris, 301 p., chap. XIII, pp. 195-212.
- Code de la Route du Grand-Duché du Luxembourg (1955, réédité 2013). Commandé par le Ministère du développement durable et des infrastructures, département des transports.
- Dejeammes M. et Fiolo B. (2011). *Accessibilité de la voirie et des espaces publics : Éléments pour l'élaboration d'un diagnostic dans les petites communes*, Rapport CERTU, Janvier.

- Dijkstra (1959). « A note on Two problems in Connexion with Graphs », *Numerische Mathematik*, vol. 1, pp. 269-271.
- Duncan D. T., Aldstadt J., Whalen J., Melly S. J. et Gortmaker S. L. (2011). « Validation of Walk Score® for Estimating Neighborhood Walkability: An Analysis of Four US Metropolitan Areas », *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 8, pp. 4160-4179.
- Fort-Jacques T. (2008). « Le piéton et son environnement : un travail de configuration réciproque » in Granié M. A. et Auberlet J. M., *Le piéton et son environnement*, Actes INRETS n°115, pp. 175-185.
- Frank L. D., Sallis J. F., Saelens B., Cain K., Conway T. L. et Hess P. M. (2009). « The Development of a Walkability Index: Application To the Neighborhood Quality of Life Study », *British journal of sports medicine*, vol. 44, issue 13, pp. 924-933.
- Golledge R. G., Loomis J. M., Klatzky R., Fluray A. et Li Yang X. (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.
- Grobois, L-P. (2010). *Handicap et Construction*, Le moniteur.
- Gutiérrez-Martinez G. (2014). *GIS Derived walkability index methodology for urban contexts in Luxembourg*, Rapport de Master en technologies de l'information géographique sous la direction de O. Klein et F. Escobar, Université de Alcalá, Espagne, 21 p.
- Harmonet, C. (1990). *Les personnes en situation de handicap*, PUF, Paris.
- Hays, R.D. (1998). *Rand-36 Health Status Inventory*, 126 p.
- Héran F. (2011). *La ville morcelée : Effets de coupure en milieu urbain*, Economica, 217 p.
- Hillier B. et Hanson J. (1984). *The social Logic of space*, Cambridge university press.
- Info handicap (2000). *Guide des normes*, rapport, commandé par le Ministère de la Famille, de la Solidarité Sociale et de la Jeunesse.
- Kammoun S. (2013). *Assistance à la navigation pour les non-voyants : vers un positionnement, un SIG et un suivi adaptés*, Doctorat en Informatique, Université de Toulouse, France, 177 p.
- Kawamura et al (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.
- Klein O., Schneider M. et Victor N. (2011). « Modélisation et visualisation de l'accessibilité piétonne à Luxembourg-ville ». *Dixième rencontre de Théoquant*, Acte de conférence, 23-25 février, Besançon.
- Lanteri R., Ignazi G. et Dejeammes M. (2005). *Accessibilité des espaces publics urbains. Outil d'évaluation ergonomique*. Rapport CERTU, 44 p.
- Lo R. H. (2009). « Walkability: what is it? », *Journal of Urbanism*, vol. 2, n°2, pp. 145-166.
- Lord S. (2013). « Les nouveaux habitats adaptés à la vieillesse, entre adaptation architecturale et exclusion territoriale ». Research seminar, CEPS/INSTEAD, Esch-sur-Alzette, Luxembourg.

- Lord S. et Negron-Poblete P. (2014). « Les grands ensembles résidentiels adaptés québécois destinés aux aînés. Une exploration de la « marchabilité » du quartier à l'aide d'un audit urbain ». *Norois – Environnement, aménagement, société*, vol. 3, n°232, pp. 35-52.
- Mackett R., Achuthan K. et Titheridge H. (2008). « AMELIA: making streets more accessible for people with mobility difficulties », *Urban Design International*, vol. 13, pp. 80-89.
- Matthews H., Beale L., Picton P. et Briggs D. (2003). « Modelling Access with GIS in Urban Systems (MAGUS): capturing the experiences of wheelchair users », *Area*, vol. 35, issue 1, pp. 34-45.
- Merlin P. et Choay F. (1988). *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, PUF, Paris.
- Metha V. (2008). « Walkable streets: pedestrian behavior, perceptions and attitudes », *Journal of Urbanism*, vol. 1, n°3, pp. 217-245.
- Minetti A. E., Moia C., Roi G. S., Susta D. et Feretti G. (2002). « Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill », *Journal of Applied Physiology*, vol. 93, pp. 1039-1046.
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (2001). *Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé*, 220 p.
- Peponis J, Wineman J., Rashid M., Kim S. et Bafnat S. (1997). « On the description of Shape and Spatial Configuration Inside Buildings ». *Space Syntax First International Symposium*, vol. III, p. 40.01-40.21.
- Pumain D., Paquot T. et Kleinschmager R. (2006). *Dictionnaire La ville et l'urbain*, Economica, Anthropos, Paris.
- Southworth M. (2005). « Designing the Walkable City », *Journal of Urban Planning and Development*, vol. 131, n°14, pp. 246-257.
- Suleiman W., Joliveau T. et Favier E. (2012). « Une nouvelle méthode de calcul d'isovist en 2 et 3 dimensions ». *SAGEO 2012*, Acte de conférence, 6-9 novembre, Université de Liège, Belgique.
- Titheridge H., Achutan, K. et Mackett R. (2009). « Assessing the extent of transport social exclusion among the elderly », *Journal of Transport and Land Use*, vol. 2, n°2, pp. 31-48.
- Thomas R. (2003). « 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.
- Turner A., Doxa M., O'Sullivan D. et Penn A. (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.
- Victor N. et Klein O. (2011). « Modélisation de l'accessibilité piétonne à Luxembourg-Ville ». *SIG 2011 : Conférence francophone ESRI*, Acte de conférence, 5 et 6 octobre, Versailles, (Cd-Rom).
- Yairi I. E. et Igi S. (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.
- Zacharias (2001). « Path choice and visual stimuli : signs of human activity and architecture », *Journal of environmental psychology*, n°21, pp. 341-352.

Article reçu le : AR_1religne_soumission

Article accepté le : AR_soumission



CHAPITRE 3

LA MARCHE, UN MODE DE DÉPLACEMENT COMME LES AUTRES ? ESSAI DE CONSTRUCTION DE PROFILS PIÉTONS

Nadja Victor et Olivier Klein

INTRODUCTION

Dans l'imaginaire collectif, lors d'un déplacement, le choix modal relève de certains idéaux-types associés à chaque mode de transport. Si la voiture semble être le mode privilégié pour relier des lieux à partir d'une certaine distance, les modes dits « actifs » (piéton, vélo, etc.) sont souvent associés à une planification des activités favorisant la qualité sensorielle au détriment du temps de déplacement (Kaufmann *et al.*, 2003). Ces modes actifs 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, 2002). 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, 2004). 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.). Cette promotion de l'activité physique, placée au rang de priorité publique par l'OMS (2004), doit permettre de lutter contre les maux de la société contemporaine, à savoir la sédentarité et l'alimentation trop riche. En outre, 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 à repenser sa place dans le système de mobilité urbaine.

En soi, le déplacement piéton correspond non seulement à une adaptation de l'utilisateur à l'environnement en fonction de ses caractéristiques physiques intrinsèques, mais aussi, réciproquement, à des éléments de l'environnement pour l'ensemble des usagers potentiels. Cette interaction entre usagers et environnement peut révéler un certain nombre d'inadéquations qui se matérialisent sous la forme de restrictions partielles ou absolues au déplacement piéton.

Tout l'enjeu est alors de savoir comment l'accessibilité des usagers piétons peut être évaluée dans un environnement urbain, sachant que chaque usager est unique. Ce chapitre propose quelques pistes pour mener à bien une telle évaluation en s'appuyant sur la construction de profils d'usagers. La finalité de cette approche consiste en l'obtention d'une vision

synthétique des caractéristiques physiques d'un usager et des interactions potentielles avec l'environnement.

Pour ce faire, nous proposerons dans une première partie une réflexion autour des notions de marche et de déplacement piéton au regard des pratiques et des potentiels de déplacement piéton, des questions de variabilité des vitesses de déplacement et de la présence de barrières pouvant contraindre l'accessibilité de certains usagers. Dans une seconde partie, nous aborderons de manière plus détaillée les caractéristiques physiques mobilisées lors d'un déplacement piéton. Finalement, la dernière partie proposera une réflexion autour de la création de silhouettes représentant, d'une part, les caractéristiques physiques des usagers impliquées dans la marche et, de l'autre, la relation entre l'usager et l'environnement à travers le prisme de l'accessibilité.

1. DÉPLACEMENT PIÉTON ET MOBILITÉ QUOTIDIENNE

Dans le contexte de notre démarche, la mobilité quotidienne correspond à des déplacements dans des temporalités courtes. Ces déplacements sont récurrents car non seulement répétitifs mais impliquant également un retour quotidien à leur origine et forgeant des habitudes spatiales au fur-et-à-mesure qu'ils se répètent (Kaufmann, 2000 : 19). Cette partie propose, dans un premier temps, de préciser les concepts de la marche et du déplacement piéton.

1.1 Pratiques et potentiels de déplacement piéton

La marche s'exprime par des phénomènes mécaniques dont la complexité est due au fait que tous les segments corporels y participent à titres divers. L'exécution convenable du mouvement résulte d'une activité parfaitement coordonnée des différents muscles [...], ceux qui assurent le mouvement et ceux qui contribuent à l'équilibration (Scherrer, 1967 *in* Grobois, 2010 : 21).

Merlin et Choay rappellent aussi que « la marche à pied est utilisée pour les trajets terminaux, ou, seule, pour des trajets courts, mais aussi parfois comme substitut à un moyen de transport mécanisé » (1988 : 519-520).

Il existe deux types de marche dans les études de mobilité qui se distinguent fondamentalement selon l'objectif du déplacement : la marche au quotidien, liée à des motifs et des contraintes sociales (travail, études, achats de proximité, accompagnement, etc.) et répondant à des nécessités de la vie quotidienne; qui s'oppose à la marche « déambulatoire », plus libre avec des pressions temporelles moins fortes (promenade, achats occasionnels) (Julien et Carré, 2003 : 92). En d'autres termes, la marche est à la fois un mode de déplacement pour réaliser une activité et une activité en soi.

Par ailleurs, les piétons ne constituent pas un groupe homogène. Ils peuvent appartenir à différents genres, groupes d'âge, catégories socio-professionnelles (CSP) ou encore ethnies. Papon (2003) propose une analyse des mobilités piétonnes à travers les résultats de l'Enquête nationale sur les transports et les communications menée et exploitée par l'INSEE et l'INRETS, en 1993-1994, en France. Les résultats confirment l'existence de différences de perception mais aussi de fréquence en fonction du genre, de l'âge mais aussi de la CSP. Ainsi, 58 % des piétons de l'enquête sont des femmes (Papon, 2003 : 76), et ce mode de déplacement tend à se féminiser de plus en plus (surtout en semaine) (Solere et Papon, 2010). Par ailleurs, l'usage de la marche selon l'âge suit une courbe en U comprenant à une extrémité les plus jeunes (scolaires et étudiants) et à l'autre les plus âgés (retraités) (Papon, 2003 : 76). L'âge est un critère souvent mentionné dans les études à cause de l'impact que peut avoir le passage du temps sur les capacités physiques et les compétences cognitives ainsi que sur les perceptions et sentiments vis-à-vis de la route et de l'environnement (Tight *et al.*, 2004). Enfin, les inactifs semblent, quant à eux, marcher plus que les actifs, aussi bien pour des questions de coût que de temps disponible (Papon, 2003 : 76).

Nous sommes donc en présence d'usagers piétons différents, qui se confrontent eux-mêmes à une variété de terrains aux caractéristiques diverses. Il peut s'agir parfois de surfaces peu accommodantes comme l'herbe ou le sable, glissantes ou encore irrégulières. Ainsi, de nombreuses barrières imperceptibles à certains usagers peuvent gêner ou restreindre complètement l'accès à d'autres. En réalité, le déplacement piéton ne se limite pas aux seuls déplacements « à pied ». Dans certains cas moins habituels, face à des déficiences motrices entraînant le recours à des aides

techniques comme des fauteuils roulants, la définition va bien au-delà de la simple alternance de pas. Ces usagers se déplaçant en fauteuils roulants, déambulateurs ou béquilles sont également à considérer comme des piétons. Cette variété d'usagers conduit à inscrire le déplacement piéton dans une sorte de *continuum* de mobilité. Cette approche par *continuum* permet d'envisager les individus selon des variations continues de leurs caractéristiques. Par exemple, la marche peut être envisagée de manière continue, selon la vitesse de déplacement, à partir de la course à pied, en passant par la marche nordique, la marche rapide et la marche à allure normale, et ce, jusqu'à une marche lente, voire un arrêt complet. Ce *continuum* permet d'appréhender le déplacement piéton, dans son ensemble, de manière plus flexible en fonction notamment des appuis, de la posture et de la vitesse qui sont eux-mêmes influencés par l'usager et ses caractéristiques physiques.

Qu'elle soit mode de déplacement ou activité, la marche – tout comme les itinéraires empruntés – est fonction de facteurs influençant les choix des usagers. En s'appuyant sur les recherches menées par Alfonzo (2005) et Southworth (2005), Metha (2008) propose une classification (dans cet ordre) suivant la faisabilité, l'accessibilité, l'utilité des lieux, la sécurité, le confort environnemental et physique et le plaisir des sens. Une fois que le déplacement est perçu comme réalisable, le facteur suivant est donc l'accessibilité. Cette dernière est déterminée par la distribution spatiale de destinations potentielles, la facilité à rejoindre chaque destination ainsi que par la quantité, la qualité et le caractère des activités présentes (Handy et Niemeier, 1997 : 1175). De fait, en fonction des caractéristiques physiques des usagers piétons et de leur marge d'adaptation potentielle à l'environnement qui les entoure, la faisabilité et l'accessibilité peuvent apparaître comme des critères prioritaires dans le choix d'itinéraire chez certains usagers piétons.

Du reste, Southworth (2005 : 247-250) insiste sur l'importance de la connectivité du réseau, sur l'intermodalité ainsi que sur la capacité des lieux de répondre aux besoins quotidiens des usagers. Ainsi, dans le but de préconiser des parcours accessibles à tous dans le cadre de leurs mobilités quotidiennes, un système d'information géographique (SIG) a été créé. Cette solution facilite la création et la gestion d'un réseau piéton numérique localisé intégrant diverses variables comme la pente, le type

de voirie ou encore divers éléments urbains comme les dimensions du trottoir. Elle permet également le calcul et la visualisation d'itinéraires en fonction de variables métriques (distance), temporelles (durée) voire énergétiques (effort), tout comme la mise en place de restrictions partielles ou totales sur le réseau en fonction des variables intégrées.

Dans l'idée de créer un modèle d'accessibilité piétonne ouvert à tous profils d'usagers, l'accent est donc mis, dans un premier temps, sur la faisabilité, l'accessibilité, la connectivité et les services et aménagements à disposition. Si les autres thématiques tenant plus de la perception de l'environnement semblent incontournables, ces dernières pourront être intégrées *a posteriori*. Ainsi, le recours à des profils d'usagers semble une solution adaptée pour garantir la prise en compte de caractéristiques multiples et refléter la diversité des usagers.

1.2 Déplacement piéton : la prise en compte de la vitesse

Dans les modes actifs, la confrontation entre usager et environnement est directe. Elle s'observe, entre autres, à travers la vitesse de déplacement des usagers qui varie en fonction des caractéristiques des usagers mais aussi des éléments de l'environnement.

La vitesse correspond au rapport entre la distance parcourue et le temps de parcours et peut être distinguée entre vitesse moyenne et vitesse instantanée. Pour Papon (1997 : 5), elle est relativement constante chez les piétons et estimée entre 4 et 5 km/h en moyenne. Julien et Carré (2000 : 90) proposent quant à eux des vitesses moyennes différenciées en fonction du genre, soit 4,8 km/h pour les hommes et 4,2 km/h pour les femmes. En médecine, on la mesure le plus souvent à partir de la vitesse de confort (ou vitesse spontanée) des piétons. Elle est fonction de la cadence et de la longueur de pas que peut effectuer un usager, mais aussi de son endurance (consommation d'oxygène, fréquence cardiaque, etc.) (Didier *et al.*, 1995 : 476 ; Cristol et Berard, 1998 : 430). Par ailleurs, à l'image des pratiques de mobilité, les différences de genre ou d'âge influencent également la vitesse de déplacement des piétons. Ainsi, la vitesse moyenne selon le genre est estimée par Finley et Cody (1970, cités dans Waters et Mulroy, 1999 : 210) à 1,37 m/s (4,9 km/h) pour un

homme et à 1,23 m/s (4,4 km/h) pour une femme, sur un échantillon de piétons adultes de 20 à 60 ans. Les mesures de Didier *et al.* (1995 : 477), quant à elles, montrent que la vitesse confortable de marche diminue avec l'âge passant d'environ 82,5 m/min (4,9 km/h) chez des piétons de 40-50 ans à environ 74 m/min (4,4 km/h) chez les 70-80 ans. L'impact de la différence de genre ou d'âge peut cependant être biaisé par l'apparition d'un handicap moteur en raison d'un accident ou d'une pathologie. La vitesse de confort moyenne dépend, par exemple, de la localisation du handicap et de l'appareillage qu'il requiert. Elle décline, par exemple, en fonction de la hauteur d'une amputation, diminuant en moyenne de 1,18 m/s (4,2 km/h) pour une trans-tibiale, à 1,02 m/s (3,6 km/h) à partir du genou, à 0,87 m/s (3,1 km/h) pour une trans-fémorale, à 0,78 m/s (2,8 km/h) pour une désarticulation de la hanche jusqu'à 0,67 m/s (soit 2,4 km/h) pour une hémipelvectomie (Waters et Mulroy, 1999 : 216).

La vitesse de confort semble donc dépendre d'un ensemble de caractéristiques physiques individuelles incluant le gabarit, l'endurance, la motricité ou encore la posture adoptée pour réaliser le déplacement. Il semble évident qu'une femme de grande taille n'a pas le même potentiel d'enjambée qu'un homme plus petit, et qu'une personne âgée endurante peut se déplacer aussi rapidement et aussi longtemps qu'un adolescent non entraîné.

FIGURE 1A VITESSE DE DÉPLACEMENT D'UN POINT A À UN POINT B

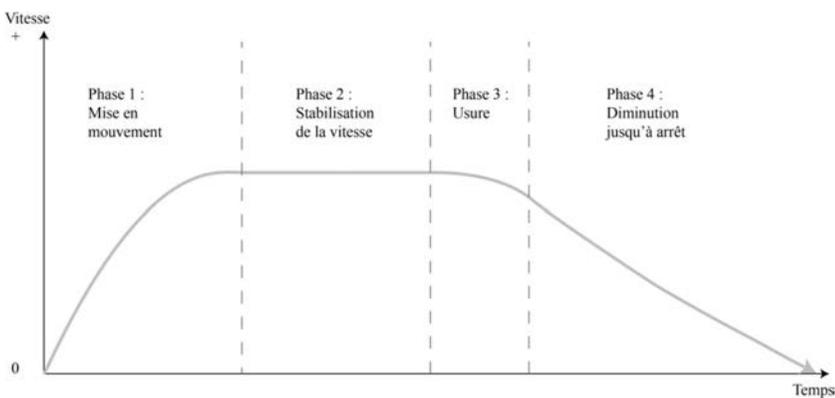


FIGURE 1B VITESSE DE DÉPLACEMENT D'UN POINT A À UN POINT B, SOUS L'INFLUENCE D'UN FACTEUR EXTÉRIEUR. PREMIER SCÉNARIO : LE RALENTISSEMENT

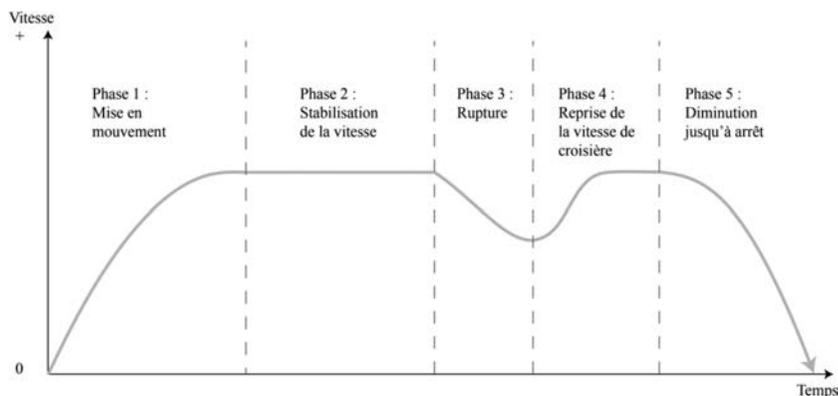
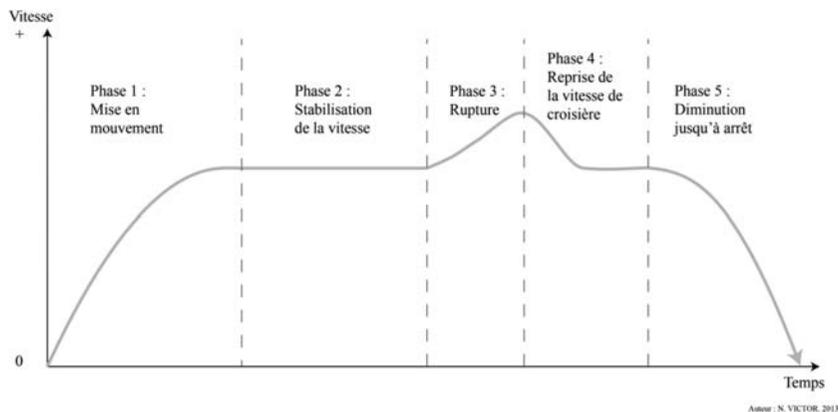


FIGURE 1C VITESSE DE DÉPLACEMENT D'UN POINT A À UN POINT B, SOUS L'INFLUENCE D'UN FACTEUR EXTÉRIEUR. DEUXIÈME SCÉNARIO : L'ACCÉLÉRATION



Les mesures de vitesse en médecine se basent en général sur des scénarios de déplacement (cf. Figure 1a) ne tenant pas forcément compte de l'impact de l'environnement. Un piéton démarre à l'arrêt et augmente sa vitesse de déplacement jusqu'à atteindre sa vitesse de confort, somme toute propre à chacun suivant ses caractéristiques physiques. Cette dernière va ensuite progressivement décroître sous le coût de l'effort, corrélée

à l'endurance de l'utilisateur, jusqu'à une position d'arrêt. Cet arrêt peut être provoqué par l'arrivée à destination, par une incapacité physique à prolonger l'effort sans temps de récupération ou encore par la présence d'éléments barrières le long du parcours (feux piétons, traversée d'une rue à forte circulation, etc.). Ce type de scénario est également commun dans les modèles de déplacement piéton. Cependant, il est peu concevable que la vitesse d'un piéton croît et décroît sans être influencée par le moindre facteur extérieur de l'environnement lors d'un déplacement réel. Si, en géographie, l'impact du paysage et de l'environnement sous la forme de barrières physiques et psychologiques est depuis longtemps étudié (Hine, 1996; Zacharias, 2001; Thomas, 2003; Beale *et al.* 2006; Héran, 2011), certaines études en médecine effectuent également leurs mesures en simulant des obstacles potentiels pour analyser les réactions du corps face à l'environnement. Gates *et al.* (2012) analysent, par exemple, l'impact de la texture du sol sur la marche en effectuant leurs mesures sur l'herbe, le sable, une surface glissante comme la glace ou encore la roche ou les pavés. Gottschal et Kram (2006) ou encore Minetti *et al.* (2002) mesurent quant à eux l'impact de la pente sur la vitesse mais aussi sur la dépense énergétique. Pour finir, le port d'une charge extérieure (*i.e.* colis ou enfants) a pour effet de diminuer la vitesse de déplacement et ainsi de minimiser l'effort à fournir (Abe *et al.*, 2004). La vitesse de confort diminue par ailleurs de manière linéaire à l'augmentation du poids de la charge (Knapik *et al.*, 1996 : 209).

De fait, l'environnement influe sur l'utilisateur subordonné à ses caractéristiques physiques et psychologiques, ce que les figures 1b et 1c illustrent en montrant les variations de vitesses liées à la présence d'obstacles dans l'environnement. Elles sont en général dégradées pendant une relative courte durée. Au demeurant, si un obstacle semble imposer un temps d'arrêt jugé trop long, l'utilisateur a tendance à le contourner. Il est par ailleurs notable que les pratiques effectuées seul ou en groupe varient pour aboutir à un compromis avec autrui. La vitesse usuelle peut ainsi croître ou décroître jusqu'à un rythme de croisière commun.

En définitive, la volonté d'un utilisateur de minimiser son effort lors d'un déplacement est un facteur à prendre en compte pour étudier l'ensemble des caractéristiques intrinsèques qui entrent en jeu lors d'un déplacement. Elle amène naturellement « l'utilisateur non motorisé à lisser sa vitesse

et à maintenir son allure » (Héran, 2011 : 34-35). Par ailleurs, la présence de barrières physiques ou psychologiques pousse l'utilisateur piéton à planifier à l'avance son parcours et à l'ajuster de manière continue pendant son déplacement pour procéder à des évitements ou des contournements. Lorsqu'il cherche à rejoindre une destination, au moins trois possibilités s'offrent à lui. « Soit il fait appel à une solution toute prête, soit il s'engage dans l'élaboration d'une nouvelle solution, soit encore, il adapte une solution existante à l'objectif visé » (Enaux, 2009 : 3). Ces trois possibilités sont conditionnées par le comportement de mobilité de l'utilisateur, ainsi que par son potentiel d'accessibilité au réseau.

1.3 Barrières partielles et barrières absolues

Dans un processus de planification d'itinéraire, le *wayfinding* correspond aux choix d'itinéraires effectués pour se rendre à une destination spécifique, qui peut être distale et donc non perçue directement par le piéton, tout en évitant les obstacles environnementaux se manifestant au cours du déplacement (Allen, 1999). Le réseau piéton est ainsi caractérisé par un certain nombre de propriétés qui peuvent parfois aboutir à une restriction temporaire ou permanente d'un espace.

Par ailleurs, la notion de barrière est très inégale selon les études d'accessibilité. C'est au sens de restriction ou encore de coupure urbaine (Héran, 2011) que le terme est le plus usuel dans ces études. Il se décline sous la forme de barrières anthropiques ou naturelles. Si la présence d'infrastructures de transports (voie ferrée) impose des délais, des détours ou encore des dénivelés à franchir (Héran, 2011), il en va de même pour les pentes, les types de surfaces, ou encore la présence ou non d'aménagement des trottoirs (Beale *et al.*, 2006). Face à ces barrières, les usagers piétons, suivant leurs caractéristiques, peuvent être confrontés à des restrictions absolues ou partielles de l'espace. Une restriction absolue marque l'incapacité complète pour un certain type d'utilisateurs d'accéder à un espace ou d'y faire halte. Par exemple, en l'absence de rampe d'accès à proximité d'escaliers, une personne en fauteuil roulant ne pourra franchir certaines hauteurs. Une restriction partielle, quant à elle, exige une adaptation pouvant engendrer un coût énergétique supplémentaire pour franchir l'obstacle. De la sorte, monter ou descendre des marches

d'escaliers sans main courante posera de grandes difficultés à une personne à mobilité réduite, mais avec un effort physique plus important, voire une prise de risque, elles demeureront praticables. L'accessibilité peut également évoluer en fonction de la présence d'une ou de plusieurs personnes accompagnantes. Certains lieux peuvent ainsi devenir accessibles physiquement, voire psychologiquement, ou à l'inverse apparaître inaccessibles.

Les barrières à la mobilité ne bloquent pas systématiquement l'usager piéton, mais elles influencent son choix d'itinéraire lors de la planification d'un parcours. Cette sensibilité à l'environnement, mais aussi au paysage (Piombini, 2006; Levitte, 2010), est souvent identifiée dans les enquêtes cherchant à expliquer les choix d'itinéraires des piétons. Elle se manifeste généralement à travers les principaux sens des individus, la vue, l'odorat, l'ouïe ou le toucher. Les éléments les plus fréquents concernent de manière non exhaustive la propreté des lieux (déjections canines, feuilles, etc.), l'importance du trafic (Kelly *et al.*, 2007), la présence d'aménités ou d'espaces verts, la morphologie des rues, la présence d'espaces ouverts ou encore le sentiment de sécurité (Zacharias, 2001 : 342). Pour finir, contre tout *a priori*, la marche ne semble pas être une activité marquée par la saisonnalité ou la météorologie. Une pluie forte ou une température inférieure à 0 °C entraînent une légère diminution de son usage (Solere et Papon, 2010). Les conditions météorologiques ont cependant un impact important sur l'accessibilité en pouvant modifier l'état du sol et sa stabilité.

Ainsi, concevoir le déplacement piéton comme un *continuum*, dans lequel différents éléments sont mobilisés – vitesses et accessibilité –, permet d'envisager l'usager piéton, avec son éventail de possibilités, sous la forme d'une entité unique associée à une série de caractéristiques physiques.

La prise en compte des caractéristiques physiques des usagers semble essentielle lors d'une étude sur l'accessibilité. La vitesse et l'accès à l'environnement apparaissent comme deux critères incontournables dans la création d'un modèle d'accessibilité piéton. Comme nous avons pu le voir, le piéton adapte sa vitesse de confort en fonction de ses caractéristiques physiques et de l'environnement dans lequel il se déplace afin de minimiser l'effort à produire. Cette vitesse est par ailleurs influencée par un certain nombre de barrières physiques ou psychologiques qui diffèrent en

fonction de l'usager et de ses caractéristiques, mais aussi de la présence d'une ou plusieurs personnes l'accompagnant. Le déplacement piéton va donc au-delà de la simple marche à pied. Le recours à des profils tenant plus précisément compte des particularités des usagers semble être une solution adaptée dans l'optique de créer un modèle d'accessibilité piéton.

2. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES MOBILISÉES LORS D'UN DÉPLACEMENT PIÉTON

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. Identifier et évaluer l'impact de ces caractéristiques permettent d'appréhender l'usager piéton avec plus de précisions. Elles peuvent être scindées en deux catégories distinctes mais fortement connectées : d'une part, les caractéristiques de stature et de perception ; d'autre part, les caractéristiques d'action et d'état. À partir des caractéristiques identifiées plus haut, des profils d'usagers se dégagent et permettent d'appréhender la relation entre usager et environnement.

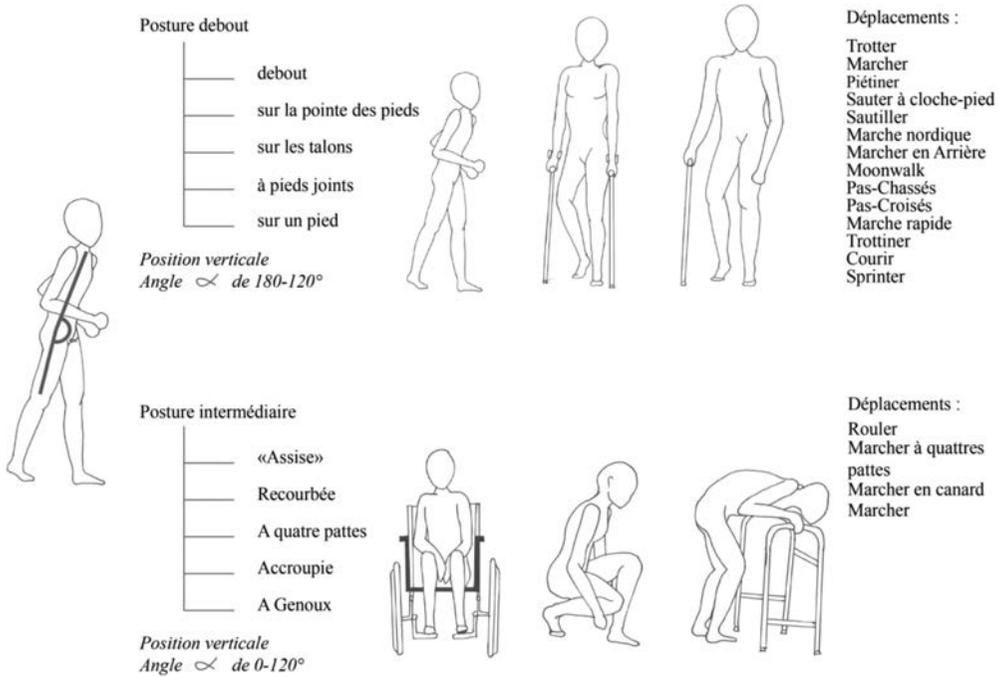
2.1 Caractéristiques de stature et de perception

La stature et la perception de l'espace conditionnent respectivement les postures que nous adoptons et les sens que nous suscitons pour percevoir l'espace lors d'un déplacement piéton. Ces caractéristiques ont une influence certaine sur la capacité à s'orienter et à se mouvoir. S'il existe différentes formes de postures, soit comment un individu tient son corps, celles-ci sont notamment limitées par la motricité de cet individu. Un dysfonctionnement d'une des fonctions assurant les mouvements peut contraindre une personne à se déplacer dans une posture différente.

Définies conjointement par l'angle formé par le corps entre les jambes et le buste ainsi que par sa position verticale ou horizontale, les postures principales adoptées pour se déplacer sont de types : « debout » ou « intermédiaire » (figure 2). La posture debout permet d'envisager le déplacement sous des formes variées. Elle implique, par définition, une position

verticale où le corps forme un angle entre le buste et les cuisses variant entre 120° et 180°. Cependant, certaines défaillances physiques, situations ou configurations de l'environnement obligent parfois à adopter une posture intermédiaire qui est caractérisée par un angle entre le buste et les cuisses variant entre 0° et 120°.

FIGURE 2 POSTURES POTENTIELLES LORS D'UN DÉPLACEMENT



Auteur : N. VICTOR, 2013

Selon la posture, les sens sont affectés différemment. La vue est, par exemple, affectée simultanément par des différences d'angle et de hauteur. Il en est de même pour d'autres sens comme l'ouïe ou le toucher. Pour ce dernier, l'utilisation d'un équipement spécifique en position intermédiaire, comme un fauteuil roulant, peut réduire ou annihiler la sensation de contact avec le sol. Dans leurs déplacements, les usagers utilisent un certain nombre de repères visuels, auditifs, tactiles et olfactifs qui fournissent aux voyageurs des informations sensorielles directes sur leur

position actuelle et les orientent (Loomis *et al.*, 2001 : 282-283). En effet, «le mouvement de l'homme dans l'espace et sa rencontre avec autrui le met en prise avec ce qu'il voit, entend, touche, sent» (Thomas, 2000 : 264). De surcroît, les sens communs rendent attractifs ou répulsifs des éléments de l'environnement et influent les déplacements et les choix d'itinéraires. Parmi les sens, la vue est le plus usité lors d'un déplacement, notamment pour s'orienter dans l'espace. Même si elle peut être compensée par d'autres sens, la privation de la vue met, bien entendu, la personne en difficulté. Par ailleurs, une personne encombrée par des sacs (Knapik *et al.*, 1996 : 208) ou portant un enfant dans ses bras peut également voir momentanément son champ visuel restreint et se retrouver dans une situation de handicap (Harmonet, 1990 : 7). Les autres sens sont alors utilisés pour contrebalancer cette déficience. En général, ces autres sens ont un poids secondaire ou sont utilisés de manière moins consciente. Ils n'en demeurent pas moins essentiels pour l'orientation ou encore pour la prise de conscience de son propre corps dans l'espace, en lien avec ce qui l'entoure. L'ouïe, par exemple, est un sens qui peut être recherché ou imposé. S'il peut être utilisé pour s'assurer de sa sécurité (bruit de voiture pour traverser, klaxons, etc.), il peut aussi être attractif ou répulsif. Le principe est fondamentalement analogue pour l'odorat. Par contre, le sens du toucher est en général inconscient. Ainsi, en marchant, le toucher au niveau de la plante des pieds est suscité pour garder son équilibre.

En complément aux quatre sens utilisés dans un déplacement, deux éléments sensoriels supplémentaires sont à prendre en compte : la proprioception et le système vestibulaire. Même s'ils ne participent pas directement à la perception, ces deux éléments sont néanmoins mobilisés au quotidien pour se déplacer. En premier, la proprioception, à savoir la perception de soi-même, et plus précisément la position de ses différents membres, mesure les mouvements relatifs des masses corporelles entre elles (Berthoz, 1997 : 39). Elle détermine notre capacité à sentir que nos membres se déplacent dans l'espace sans avoir toutefois besoin de les regarder. En second, le système vestibulaire, système sensoriel principal de perception du mouvement, apprécie les mouvements complexes où le cerveau doit connaître les mouvements absolus de la tête et du corps

dans l'espace (Berthoz, 1997 : 39). En complément du toucher, il participe à l'équilibre.

En définitive, lors d'un déplacement piéton, le système sensoriel semble essentiel aux prises de décision par la conscience du corps dans l'espace et de ce qui l'entoure. La déficience de certains sens, notamment la vue, peut contraindre, voire restreindre, l'accès d'une personne à certaines portions de l'espace. Les postures participent également à ce processus décisionnel. En effet, le choix de posture, bien que souvent contraint par la capacité motrice de l'utilisateur, peut aussi être déterminé par l'environnement. Si les sens et les postures sont des caractéristiques influençant spécialement l'orientation et le choix d'itinéraire, la mise en mouvement du corps tient plus des caractéristiques d'état et d'action.

2.2 Caractéristiques d'état et d'action

Si les caractéristiques d'action conditionnent la capacité du corps à se déplacer, les caractéristiques d'état réfèrent au gabarit et à la condition physique de l'utilisateur. Toutes deux conditionnent le déplacement et l'accès à l'espace.

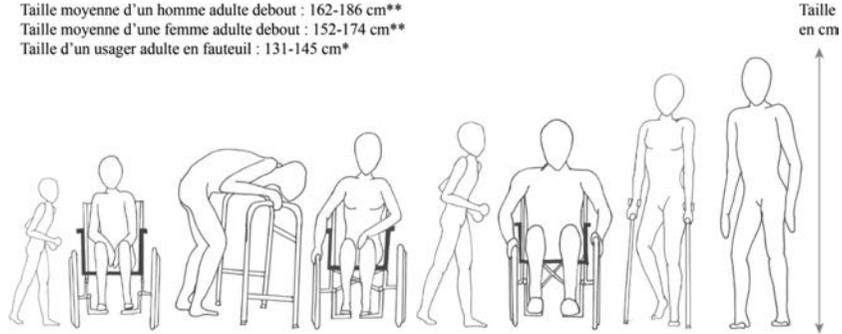
Le gabarit d'une personne désigne la taille et la largeur que son corps occupe dans l'espace. La taille, sous l'influence directe de l'enjambée, est l'élément le plus déterminant sur la vitesse de déplacement. Elle détermine également le point de vue qu'a l'individu sur l'espace. En d'autres termes, l'angle de vue varie en fonction de la hauteur des yeux. La largeur, quant à elle, n'est pas uniquement liée au seul individu et peut donc être soit adaptable, soit fixe. 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 ou un chariot. En cas d'encombrement, la largeur sera limitée par la largeur de l'individu et/ou de l'objet transporté. Dans certains cas, cette largeur sera fixe et ne pourra être réduite. C'est notamment le cas des fauteuils roulants, de personnes en situation d'obésité sévère (avec un IMC supérieur à 30), de personnes munies de béquilles, d'une canne ou d'un déambulateur (cf. Figure 3b). Lors d'un déplacement, l'impact du

gabarit sur l'environnement est variable. Toutefois, de manière générale, en ce qui concerne la hauteur, l'enjambée semble influencer davantage le temps de déplacement que le point de vue qui permet de s'orienter dans l'espace. Cependant, elle peut aussi avoir un impact sur la posture (se baisser pour passer en cas de hauteur importante) et parfois même restreindre l'accès à certains espaces. En outre, pour se déplacer dans un espace, la prise en compte de la largeur impose de planifier le trajet en cas de largeurs fixes si l'espace n'est pas spécifiquement aménagé. Certaines postures, comme celles intermédiaires, peuvent également biaiser les caractéristiques de gabarit d'une personne. Pour simuler le point de vue d'un usager, il faut donc tenir compte non pas de sa hauteur debout, comme il est d'usage de la mesurer, mais celle fonction de la posture utilisée lors du déplacement.

Le poids d'une personne ainsi que de potentielles charges supplémentaires ont également un impact sur le déplacement des usagers. Ces variables requièrent un effort plus important et peuvent également modifier la longueur de l'enjambée et/ou la fréquence de pas. Des différences entre hommes et femmes persistent même quand la différence de gabarit est prise en compte (Martin et Nelson, 1985, cités dans Knapik *et al.*, 1996 : 211). Ainsi les femmes mettent deux fois plus de temps à se déplacer que les hommes en portant une charge (Knapik *et al.*, 1996 : 211). Par ailleurs, la répartition de la charge sur les bras, le dos, le buste ou les jambes a un impact différent sur l'effort à fournir lors d'un déplacement (Abe *et al.*, 2004).

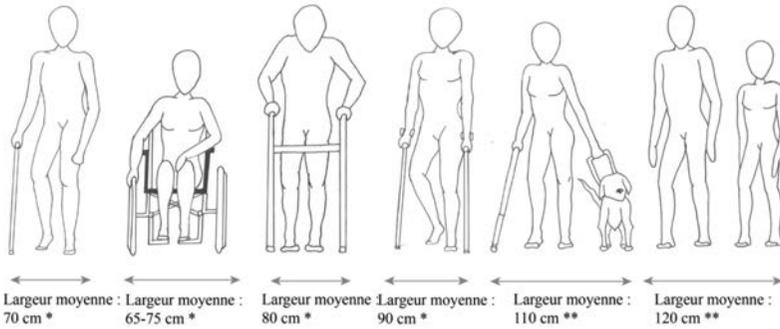
Autre caractéristique d'état, l'endurance prend en compte la condition physique d'une personne d'un point de vue musculaire, articulaire, pulmonaire ou encore cardiaque. Elle intervient sur la vitesse de confort des usagers mais également en tant que facteur de ralentissement après la phase de stabilisation. Certaines pathologies engendrant des problèmes musculaires, pulmonaires ou encore cardiaques peuvent également conduire à restreindre l'accès de certains espaces aux individus. Par exemple, lorsque ces individus sont confrontés à de fortes pentes, l'effort physique à produire peut être trop important. C'est pourquoi, en présence de pentes, des paliers de repos sont indispensables pour certains usagers afin de garantir le franchissement du dénivelé.

FIGURE 3A ÉVENTAIL DE TAILLES EN FONCTION DE LA POSTURE ADOPTÉE LORS D'UN DÉPLACEMENT



* GROBOIS, L.-P. (2010). Handicap et Construction, Paris, Le Moniteur.
 ** Sources : Carnet de Santé Luxembourgeois et étude CIE-INSERM (M. Sempé)

FIGURE 3B ÉVENTAIL DE LARGEURS EN FONCTION DE LA MOTRICITÉ, SEUL OU ACCOMPAGNÉ



* GROBOIS, L.-P. (2010). Handicap et Construction, Paris, Le Moniteur. ** <http://www.anlh.be/accessivoire/acc07.htm>

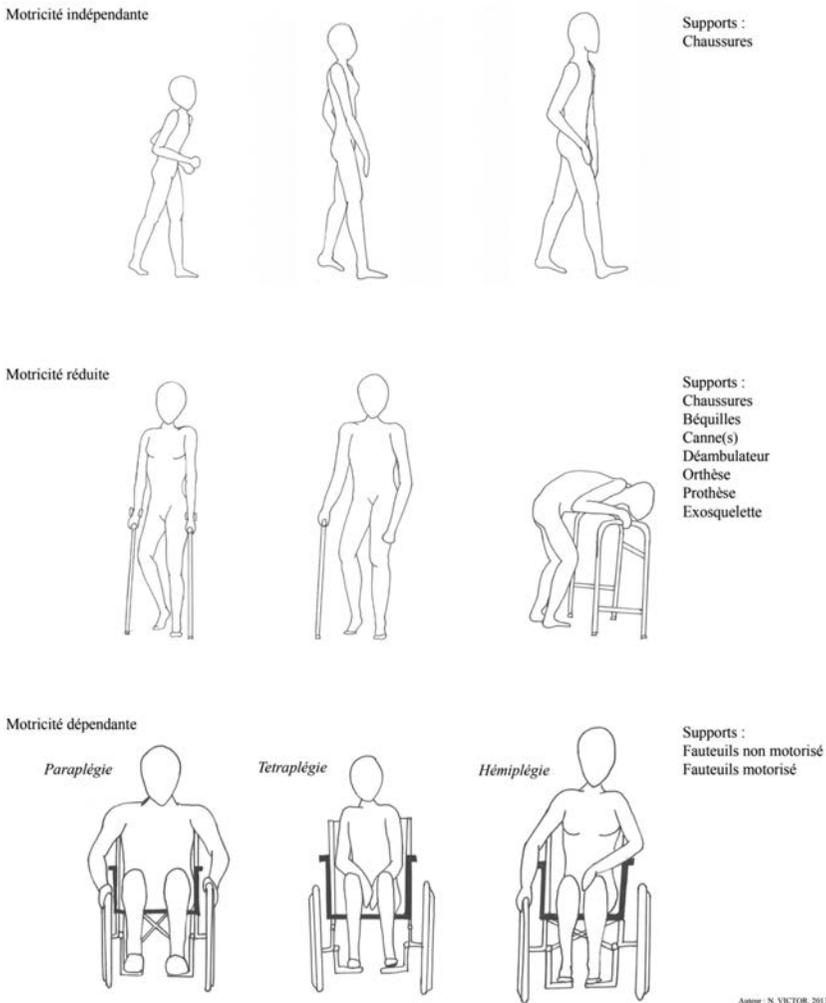
Auteur : N. VICTOR, 2013

La notion d'effort physique est un indicateur révélant les difficultés de certains usagers à franchir des barrières souvent invisibles aux autres usagers. En médecine, l'effort physique est, entre autres, exprimé par la consommation énergétique d'un usager. Elle est mesurée en fonction de la consommation d'oxygène et du rythme cardiaque. Après quelques minutes sous une charge d'exercice constante, le taux de consommation

d'oxygène atteint un niveau suffisant pour respecter les demandes énergétiques des tissus. Le débit et la fréquence cardiaques, la fréquence respiratoire mais aussi d'autres paramètres physiologiques atteignent également un état stable. Les mesures prises à ce moment reflètent l'énergie dépensée pendant l'activité. Elle s'exprime en général en J/kg/m (Priebe et Kram, 2001 ; Minetti *et al.*, 2002) ou encore en cal/kg/m (Didier *et al.*, 1995 : 478). En outre, pour bon nombre d'auteurs, la dépense énergétique est influencée par la vitesse de déplacement (Waters et Mulroy, 1999 : 211 ; Paysant *et al.*, 2006 : 153), la nécessité de franchir des obstacles comme une pente (Minetti *et al.*, 2002 : 1039) ou de parcourir certains types de surface (Waters et Mulroy, 1999 : 212 ; Paysant *et al.*, 2006 : 158). L'endurance et le gabarit sont pris en compte dans l'estimation de ce coût énergétique. À titre d'exemple, un piéton, en pleine forme, pesant 70 kg et se déplaçant à la vitesse moyenne de 3,6 km/h sur terrain plat dépense en moyenne une énergie d'environ 115 J/m (Minetti *et al.*, 2002). Par ailleurs, si le franchissement d'un dénivelé requiert une augmentation de la consommation énergétique en montée en fonction de l'incliné, elle décroît en descente jusqu'à environ 20 % de pente pour augmenter à nouveau devenant de plus en plus élevée en fonction de l'inclinaison (Minetti *et al.*, 2002 : 1039). Le terme mode actif pour le déplacement piéton ne semble pas un euphémisme et la volonté de l'utilisateur de minimiser son effort apparaît défendable. Cette volonté de minimisation l'est d'autant plus que le coût énergétique d'un déplacement diffère en fonction de caractéristiques d'action comme la motricité. Nous proposons de classer cette motricité selon trois formes : la motricité autonome (MA), la motricité réduite (MR) et la motricité dépendante (MD). À noter que la dernière forme, MD, se réfère à une dépendance matérielle à un support d'aide au déplacement (fauteuil roulant) et non à la définition plus générale de la « dépendance » correspondant à l'accompagnement systématique de la personne par des tiers pour compenser un manque d'autonomie. Ainsi, la MA correspond à des usagers se déplaçant à pied sans contraintes, de manière autonome, sur tous types de revêtements et avec peu d'impacts dus aux dénivelés. Les usagers avec une MR sont quant à eux en posture debout, et leurs déplacements à pied sont autonomes mais nécessitent le recours à une aide matérielle comme des béquilles, cannes ou déambulateurs. Leurs capacités à se mouvoir sont restreintes sur certains types de revêtements et/ou en cas de pente forte

pour des raisons de coûts physiques importants, de stabilité, voire de confiance. Pour finir, les usagers à MD sont en posture intermédiaire et leur déplacement est dépendant d'un support matériel à roues de type fauteuil roulant. Ce support peut garantir l'autonomie de l'utilisateur mais ce dernier est parfois également dépendant de la présence d'un accompagnant. Leur accessibilité est conditionnée par le revêtement au sol, la pente et la présence d'aménagements prévus à cet effet.

FIGURE 4 MOTRICITÉS IMPLIQUÉES DANS LE DÉPLACEMENT PIÉTON



De fait, la motricité est une variable qui peut engendrer de véritables barrières au déplacement au regard du type de sol (textures et conditions climatiques) et du dénivelé. Pour un usager, le recours à une aide sous la forme d'équipement ou d'accompagnement peut modifier sa capacité à accéder à un espace. Dans le cas d'une personne avec une MD, accompagnée, si l'espace ne possède pas d'aménagements appropriés mais que l'accompagnant possède une force suffisante, l'accès à cet espace peut être rendu possible. Rabischong (2008 : 66) stipule que :

le handicap n'est pas une carte d'identité ou une profession, mais un dysfonctionnement ou une gêne fonctionnelle face à une situation du moment. Une aide technique appropriée ou une modification de l'environnement peut supprimer le handicap.

Toutefois, la motricité seule ne peut être une variable de restriction convaincante, elle va de pair avec l'endurance de l'utilisateur.

En définitive, les caractéristiques d'état et d'action se rapportent à la capacité de l'utilisateur à se déplacer et à accéder à un espace. Le gabarit de l'utilisateur peut être tantôt fixe, tantôt modifié par la nécessité d'utiliser un support extérieur pour se mouvoir ou par le port d'une charge. Sa condition physique peut également varier en fonction de l'âge, de l'entraînement physique, de maladies ou accidents, etc. Ainsi en fonction de ses caractéristiques et de son vécu, chaque utilisateur se déplace de manière différente. Les variations de consommation énergétique nécessaires pour effectuer ces déplacements offrent un indicateur quantifiable d'éventuels effets barrières, en fonction des caractéristiques de l'utilisateur mais aussi de l'environnement.

3. DES CARACTÉRISTIQUES AUX PROFILS D'USAGERS

3.1 Construction de profils usager-environnement et environnement-usager

L'identification et la combinaison des caractéristiques intervenant dans le déplacement piéton confirment qu'il est indispensable de considérer

chaque usager de manière unique. Alors que les études sur la mobilité ont plutôt tendance à échantillonner leurs populations-cibles sous la forme de catégories d'usagers, l'approche retenue sous la forme d'un *continuum* permet de distinguer plus finement les usagers piétons. L'approche classique par catégorie d'usagers est généralement basée sur l'utilisation de *clusters* regroupant des pratiques de mobilité. Par exemple, les personnes dites vulnérables (personnes âgées, enfants en bas-âge ou handicapés) sont régulièrement regroupées autour de leurs difficultés physiques ou psychologiques à se déplacer (Tight *et al.*, 2004 : 2 ; Torres et Lewis, 2010 : c-3 ; Dubé et Torres, 2011 : 61). Ce type de classification est cependant moins efficace dans le cas d'études d'accessibilité visant à identifier et analyser des barrières qui peuvent varier selon les individus. Pour pallier cela et gagner en précision, un raisonnement au cas-par-cas semble la piste à privilégier. Pour ce faire, la constitution de profils semble un compromis acceptable grâce à la souplesse proposée par ce format.

L'approche proposée, s'appuyant sur des profils, se focalise sur la relation usager-environnement à travers la possibilité d'accéder physiquement ou non, de manière absolue, à un espace en fonction des caractéristiques physiques des usagers. Afin de constituer un modèle d'accessibilité piétonne, nous considérons que la priorité, dans un premier temps, est de proposer des itinéraires où les usagers peuvent circuler sans contraintes majeures. Les barrières physiques partielles seront prises en compte, dans un second temps, sous la forme de contraintes supplémentaires définies temporellement. Les barrières psychologiques, demeurant très subjectives, ne seront pas intégrées au modèle pour l'instant. Cependant, une enquête qualitative concernant des parcours commentés avec différents profils d'usagers est en cours d'élaboration au moment d'écrire ce chapitre pour récolter ce type de données.

L'approche par profils est représentée au moyen de la méthode dite des silhouettes, modèles descriptifs basés sur des graphiques dont la forme conduit à un raisonnement comparatif (Reymond, 1968). Cette méthode inclut l'hypothèse sous-jacente que les variations de structures peuvent être analysées et étudiées à partir de variations de formes (Cauvin *et al.*, 2008), soit une approche qui rejoint les hypothèses émises par D'Arcy Thompson (1917) sur la croissance et la forme. Dans cette méthode des silhouettes, deux types de profils sont proposés : (1) une

entrée usager-environnement illustrant à quel point les caractéristiques physiques de l'utilisateur sont déterminantes lors d'un déplacement dans l'environnement (cf. Figure 5a) et (2) une entrée environnement-usager mettant en lumière quels éléments et/ou propriétés de l'environnement ont un plus grand impact sur l'utilisateur en fonction de ses caractéristiques physiques (cf. Figure 5b). Ainsi, chaque axe représente une caractéristique graduée selon une échelle ordinaire découpée en trois niveaux : impact faible ou nul (0), restriction partielle (+), restriction totale (++). Ces trois niveaux représentent la présence ou l'absence d'effet barrière lors d'un déplacement piéton. Lorsque la restriction est partielle, le piéton fait face à une barrière franchissable nécessitant un surcoût temporel et/ou énergétique. À l'inverse, lorsque la restriction est totale, les caractéristiques physiques de l'utilisateur ne lui permettent pas d'accéder à cet espace. C'est aussi le cas lorsque le coût énergétique supplémentaire requis pour franchir un obstacle peut mettre en danger la santé de l'utilisateur. Pensons par exemple l'effort exigé par une forte montée ou de longs escaliers pour une personne souffrant d'un infarctus du myocarde.

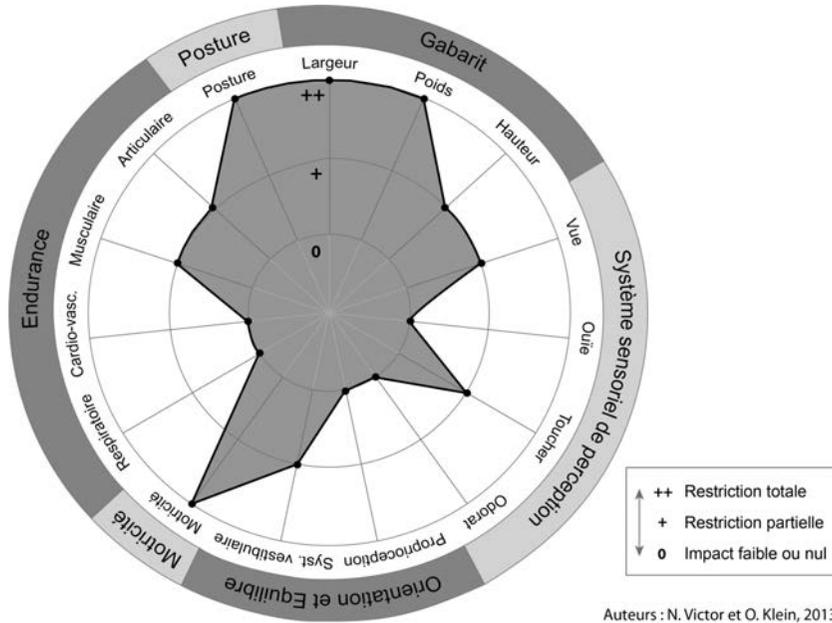
À ce stade de la recherche, l'évaluation des impacts potentiels entre usagers et environnement est basée sur une revue de littérature et/ou des échanges avec des experts du domaine. Cette étape doit encore être validée, consolidée et évaluée au moyen de l'enquête qualitative et des parcours commentés.

3.2 Interactions entre usagers et éléments de l'environnement

La visualisation de profils-exemples (figure 5) permet de prendre en compte la relation complexe qui s'établit entre l'utilisateur et l'environnement lors d'un déplacement piéton. De telles représentations graphiques témoignent des nombreux facteurs interagissant. Par ailleurs, la mobilisation de deux profils permet de saisir plus précisément le rôle des caractéristiques intrinsèques de l'utilisateur lors d'un déplacement.

Dans le cas présenté sur la figure 5, la « motricité dépendante » de l'utilisateur nécessite le recours à un fauteuil roulant. Sa bonne condition physique prodiguée par une activité physique régulière lui permet une bonne endurance lors de ses déplacements (cf. Figure 5a). Cependant, ses capacités musculaires et articulaires sont partiellement affectées par sa

FIGURE 5A CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES SOUMISES À UN IMPACT LORS D'UN DÉPLACEMENT PIÉTON D'UN HOMME, JEUNE, PARAPLÉGIE POST-TRAUMATIQUE DEPUIS L'ENFANCE, SPORTIF RÉGULIER

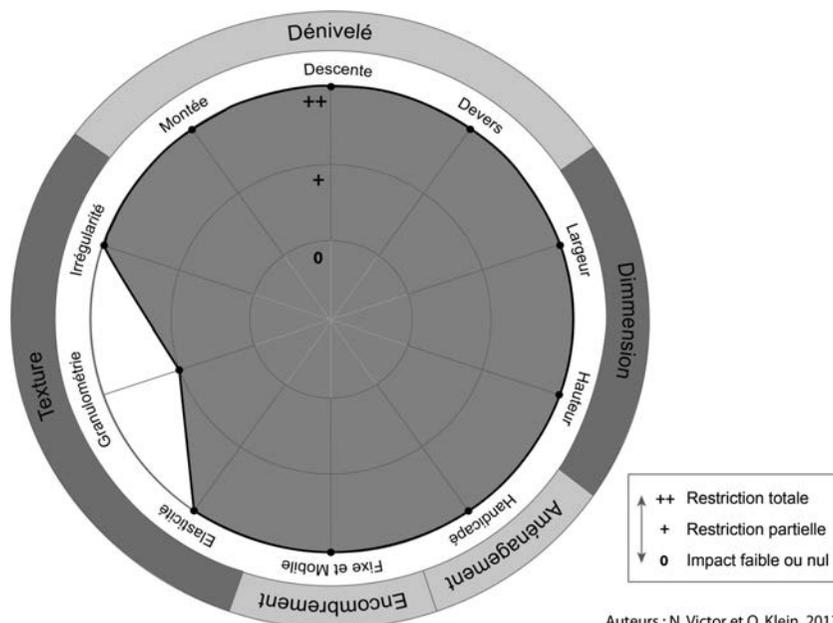


Auteurs : N. Victor et O. Klein, 2013

pathologie puisque la partie inférieure de son corps est immobilisée. Cet état joue sur sa posture lorsqu'il se déplace, ne lui laissant pas la possibilité de se tenir debout. De même, la nécessité d'utiliser un support externe comme un fauteuil roulant implique des contraintes fortes. La largeur mais aussi le poids supplémentaire impliquent des risques d'enfoncement sur sol meuble, un déséquilibre en cas de dévers conséquents ou de pentes importantes. Par ailleurs, la posture assise pour se déplacer induit également un impact partiel sur sa hauteur et, donc, sur son champ de vision. Pour finir, l'utilisation d'un fauteuil, conjuguée à la pathologie de l'usager, ne lui permet pas de contact direct au sol. Celui-ci implique un impact partiel sur le sens du toucher (podotactile) pouvant avoir des conséquences sur le système vestibulaire, notamment sur le plan de l'équilibre. La silhouette de la figure 5b présente les différentes propriétés de l'environnement pouvant avoir une influence sur le déplacement d'un individu. L'exemple présenté est basé sur des valeurs extrêmes issues des

préconisations retrouvées dans divers guides de normes (Info Handicap, 2010 ; Grosbois, 2010).

FIGURE 5B ÉLÉMENTS ET PROPRIÉTÉS DE L'ENVIRONNEMENT POUVANT JOUER SUR SON DÉPLACEMENT EN FONCTION DE SES CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES



La relation usager-environnement est ici envisagée à travers le prisme de l'accessibilité absolue à l'espace, la silhouette environnement-usager (cf. figure 5b) propose les cas de figure où les éléments de l'environnement peuvent devenir des barrières. Par exemple, dans le cas des dimensions, la largeur minimale considérée comme accessible est de 90 cm par consensus, afin d'autoriser le passage à une personne à motricité réduite ou dépendante. Dans le cas de notre usager, l'utilisation d'un fauteuil roulant implique de nombreuses possibilités de barrières parmi les éléments de l'environnement urbain. Son accessibilité est ainsi restreinte de manière absolue en cas d'absence d'aménagements adaptés aux handicapés (bateaux pour traverser, rampes d'accès), de hauteur de plus de 3 cm à franchir, de dénivelé important comme un dévers de plus de 2 % ou bien face à une pente de plus de 12 %. L'encombrement temporaire du trottoir

peut également empêcher l'accès en diminuant la largeur de circulation. Les éléments permanents (bancs, lampadaires) posent en général moins de problèmes que les éléments mobiles et momentanés (poubelles individuelles, voitures stationnées sur le trottoir), le choix d'emplacements des premiers ayant anticipé les gênes potentielles. Pour finir, la texture du sol a un impact différent sur l'utilisateur étudié. La granulométrie (sol rugueux, granuleux) n'a que partiellement d'impact sur un usager en fauteuil, tandis que la rugosité peut freiner sa progression, mais non l'arrêter. Toutefois, des aléas climatiques peuvent avoir pour conséquence un changement d'état de courte durée conduisant à des restrictions partielles ou absolues. Ainsi, à la suite d'une forte pluie, la texture du sol peut transformer des surfaces lisses ou polies en surfaces glissantes. Pour le moment, ces aléas climatiques, épisodiques, ne sont pas pris en compte dans le modèle d'accessibilité. Enfin, l'élasticité d'un sol meuble (sable, boue, gravillons, etc.) ou encore ses irrégularités potentielles, comme une fente de plus de 2 cm, ont un impact sur l'accessibilité de manière absolue. En effet, une grille dont les espacements sont trop larges peut bloquer les roues du fauteuil roulant. L'identification des caractéristiques physiques de l'utilisateur ainsi que des éléments et propriétés de l'environnement impliqués offrent ainsi la possibilité de modéliser avec précision l'accessibilité piétonne au moyen de la relation usager-environnement qui s'établit lors d'un déplacement. Pour ce faire, les éléments de l'environnement sont intégrés et localisés dans le système d'information géographique. Cette base de données spatiale utilise des données issues des autorités locales compétentes (Administration du cadastre et de la topographie, Ville de Luxembourg) qui sont enrichies par un audit urbain réalisé sur le terrain. Le système de restriction totale, fonction des caractéristiques de l'utilisateur, s'applique de manière booléenne : « accède » ou « n'accède pas » tandis que les restrictions partielles sont prises en compte en augmentant les temps de parcours (Klein *et al.*, 2011) ou la consommation énergétique.

Enfin, les caractéristiques de stature et de perception interviennent dans la prise de conscience et la maîtrise du corps dans l'espace ainsi que dans la conception de ce qui l'entoure. En complément, les caractéristiques d'état et d'action se rapportent à la capacité à se déplacer et à accéder à un espace. Ainsi, l'ensemble de ces caractéristiques se relaient, interagissent et conditionnent le déplacement piéton et la capacité de ce dernier

à accéder à l'environnement. L'utilisation de silhouettes se concentrant sur la relation entre l'utilisateur et l'environnement, à travers une entrée usager-environnement et une entrée environnement-usager, illustre la possibilité d'accéder physiquement ou non à un espace en fonction des caractéristiques physiques des usagers.

CONCLUSION

Alors que, jusqu'ici, pour des questions de calculs d'itinéraires ou de simulation de temps d'accès, le piéton est modélisé dans les SIG sous la forme d'un « usager moyen », l'idée principale de cette recherche est d'ouvrir l'approche à tous les profils d'utilisateurs avec les diversités qui les composent. À terme, la mise en place du système d'information géographique (SIG) devra aider à préconiser à chacun des parcours accessibles, dans le cadre de ses mobilités quotidiennes, en mettant l'accent simultanément sur la faisabilité, l'accessibilité, la connectivité et les services et aménagements à disposition. Pour ce faire, il semble indispensable de tenir compte à la fois des éléments de l'environnement et des caractéristiques spécifiques des utilisateurs pouvant intervenir dans leur déplacement quotidien. Le recours à des profils d'utilisateurs, visualisables sous la forme de silhouettes usager-environnement et environnement-usager, permet d'évaluer individuellement l'accessibilité absolue des piétons à l'environnement urbain en partant du postulat que chaque utilisateur est unique et dispose de ses propres caractéristiques.

En fin de compte, la marche ne se résume pas à une simple alternance mécanique de pas. Elle correspond à un certain nombre de pratiques de mobilités diverses et d'enjeux multiples jouant sur l'accessibilité. *A contrario*, le terme déplacement piéton, préféré dans ce chapitre, permet de tenir compte de nombreuses formes d'utilisateurs et de manières de marcher en abordant l'environnement en fonction des caractéristiques physiques intrinsèques à ces multiples piétons. Cette multiplicité prend l'aspect d'un *continuum* de mobilité basé sur la relation usager-environnement en fonction essentiellement de la vitesse et de l'accès à l'espace. Pour ce faire, l'utilisation de profils permet d'intégrer au mieux l'unicité de chacun et ainsi de révéler les barrières invisibles du quotidien lors des déplacements des utilisateurs. La confrontation directe du piéton

à l'environnement rend incontournable la question des barrières dans la création d'un modèle d'accessibilité piétonne. En effet, la présence de barrières physiques ou psychologiques pousse l'utilisateur piéton à planifier à l'avance son parcours et à l'ajuster de manière continue pendant son déplacement pour procéder à des évitements ou des contournements. De même, la volonté, voire la nécessité pour certains, de minimiser l'effort lors d'un déplacement conditionne le comportement de mobilité de l'utilisateur ainsi que son potentiel d'accessibilité au réseau. Les variations de consommation énergétique nécessaires aux déplacements offrent un indicateur quantifiable d'éventuels effets barrières en fonction des caractéristiques de l'utilisateur mais aussi de l'environnement.

En conclusion, cette approche permet d'envisager la multiplicité des usagers piétons, avec un large éventail de possibilités, en se concentrant sur la relation usager-environnement à travers une entrée usager-environnement et une autre environnement-usager. L'identification et la combinaison des caractéristiques significatives intervenant dans le déplacement piéton – caractéristiques de stature, de perception mais aussi d'états et d'actions – confirment qu'il est indispensable de considérer chaque usager de manière unique. Dans cette optique, une approche par profils montre que, malgré la diversité des silhouettes possibles, il existe à la fois des similarités et des différences entre ces usagers. Cette relation usager-environnement a besoin d'être approfondie. À travers des entretiens et/ou des parcours commentés, les caractéristiques intrinsèques aux usagers pourront être évaluées et associées à un certain nombre de propriétés de l'environnement pour notamment identifier les restrictions d'accès comme entre autres la texture du sol, la hauteur et la largeur des tronçons. Lorsque tous les paramètres significatifs seront évalués, ils pourront être intégrés au modèle SIG avec, d'une part, des éléments localisés relatifs à l'environnement urbain et, d'autre part, un système de restriction déterminé par les caractéristiques variables des usagers.

REMERCIEMENTS

Cet article s'inscrit dans le cadre du projet de recherche PawLuX (*Pedestrian Accessibility and Wayfinding in Luxembourg city*) soutenu par le Fond national de la recherche, Luxembourg (projet n° 1350593).

BIBLIOGRAPHIE

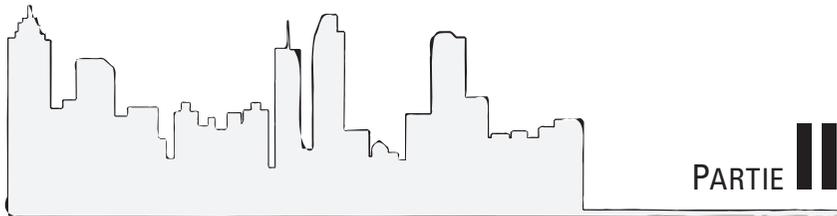
- ABE, D., K. YANAGAWA et S. NIIHATA (2004). « Effects of load carriage, load position, and walking speed on energy cost of walking », *Applied Ergonomics*, vol. 35, p. 329-335.
- ALFONZO, M. A. (2005). « To Walk or Not to Walk? The Hierarchy of Walking Needs », *Environment and Behavior*, vol. 37, p. 808-836.
- ALLEN, G. L. (1999). « Spatial Abilities, Cognitive Maps, and Wayfinding: Bases for individual differences spatial cognition and Behavior », dans R. GOLLEDGE (dir.), *Wayfinding Behavior: Cognitive mapping and other spatial processes*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press, p. 46-80.
- AMAR, G. (2010). « La marche au coeur de l'intermodalité », *CAUE*, 21 mai, Paris.
- BEALE, L., K. FIELD, D. BRIGGS, P. PICTON et H. MATTHEWS (2006). « Mapping for wheelchair users: Route Navigation in Urban spaces », *The Cartographic journal*, vol. 43, n° 1, p. 68-81.
- BERTHOZ, A. (1997). *Le sens du mouvement*, Paris, Odile Jacob.
- CAUVIN C., F. ESCOBAR et A. SERRADJ (2008). *Cartographie thématique*, Tome 3 : méthodes quantitatives et transformations attributaires, Traité IGAT, Hermès.
- CRISTOL, C. et C. 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, p. 429-433.
- D'ARCY THOMPSON, W. (1917). *On growth and form*, New York, Mac-Millan.
- DIDIER, P., D. GUILLOUX, I. ROUHIER-MARCER, J. M. CASILLAS et P. 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, p. 475-480.
- DUBE, A-S. et J. TORRES (2011). « Vieillesse et accessibilité à la rue commerçante : le cas de la Promenade Masson », *Journal of human development, Disability and Social Change*, vol. 19, n° 3, p. 59-77.

- ENAU, C. (2009). « Processus de décision et Espace d'activités/déplacements. Une approche articulant routine cognitive et adaptation événementielle », *Cybergeo: European Journal of Geography*, doc. 453, DOI: 10.4000/cybergeo.22221.
- FINLEY, F. R. et K. A. CODY (1970). « Locomotive characteristics of urban pedestrians », *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 51, p. 423-426, dans WATERS, R. L. et S. MULROY (1999). « The energy expenditure of normal and pathologic gait », *Gait and Posture*, vol. 9, p. 207-231.
- GATES, D. H., J. M. WILKEN, S. J. SCOTT, E. H. SINITSKI et J.B. DINGWELL (2012). « Kinematic strategies for walking across a destabilizing rock surface », *Gait and Posture*, n° 35, p. 36-42.
- GOTTSCHAL, J. S. et R. KRAM (2006). « Mechanical energy fluctuations during hill walking: the effects of slope on inverted pendulum exchange », *The Journal of Experimental Biology*, vol. 209, p. 4895-4900.
- GROBOIS, L.-P. (2010). *Handicap et Construction*, Paris, Le Moniteur.
- HANDY, S. et D.A. NIEMEIER (1997). « Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives », *Environment and Planning A*, vol. 29, p. 1175-1194.
- HARMONET, C. (1990). *Les personnes en situation de handicap*, Paris, Que sais-je?, PUF.
- HÉRAN, F. (2011). *La ville morcelée: Effets de coupure en milieu urbain*, Paris, Economica.
- HINE, J. (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, p.179-199.
- INFO HANDICAP (2010). *Guide des Normes*, Luxembourg, Ministère de la Famille, de la Solidarité Sociale et de la Jeunesse.
- JULIEN, A. et J-R. CARRE (2003). « La marche dans les déplacements quotidiens des citadins », dans D. PUMAIN Denise et M-F. MATTEI (dir.), *Données Urbaines 4*, Paris, Anthropos, p. 87-95.

- KAUFMANN, V. (2000). *Mobilité quotidienne et dynamiques urbaines : la question du report modal*, Lausanne, PPU Romandes.
- KAUFMANN, V., M. SCHULER, O. CREVOISIER et P. ROSSEL (2003). « Mobilité et Motilité : de l'intention à l'action », *Cahier de l'ASUL 4*.
- KELLY, C., M. TIGHT, M. PAGE et F. HODGSON (2007). « Techniques for Assessing the Walkability of the Pedestrian Environment », 1-4 Octobre, Conférence Walk 21, Toronto.
- KLEIN, O., M. SCHNEIDER et N. VICTOR (2011). « Modélisation et visualisation de l'accessibilité piétonne à Luxembourg-ville », 23-25 février, Actes de Téoquant, dixième rencontre, Besançon.
- KNAPIK, J., E. HARMAN et K. REYNOLDS (1996). « Load carriage using packs : A review of physiological, biomechanical and medical aspects », *Applied Ergonomics*, vol. 27, p. 207-216.
- LE BRETON, D. (2000). *Éloge de la Marche*, Paris, Éditions Métailié.
- LEVITTE, A. (2010). « Voir les objets de la rue : entre défi et plaisir pour le piéton », *Le piéton : nouvelles connaissances, nouvelles pratiques et besoin de recherche*, Bron, Actes INRETS.
- LOOMIS, J. M., R. L. KLATSKY et G. GOLLEDGE (2001). « Navigating without Vision : Basic and Applied Research », *Optometry and Vision Science*, vol. 78, n° 5, p. 282-289.
- MARTIN, P. E. et R. C. NELSON (1985). « The effect of carried loads on the combative movement performance of men and women », *Military Medicine*, vol. 150, p. 357-362, dans KNAPIK, J., E. HARMAN et K. REYNOLDS (1996). « Load carriage using packs : A review of physiological, biomechanical and medical aspects », *Applied Ergonomics*, vol. 27, p. 207-216.
- MERLIN, P. et F. CHOAY (1988). *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, Paris, PUF, Quadrige.
- METHA, V. (2008). « Walkable streets : pedestrian behavior, perceptions and attitudes », *Journal of Urbanism*, vol.1, n° 3, p. 217-245.
- MINETTI, A. E., C. MOIA, G. S. RO, D. SUSTA et G. FERETTI (2002). « Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill », *Journal of Applied Physiology*, vol. 93, p. 1039-1046.

- OMS – ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ – (2004). « *Global strategy on diet, physical activity and health* », *World Health Organisation*, Geneva.
- OMS – ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ – (2012). « Quelques idées reçues concernant l'exercice physique ». http://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_myths/fr/index.html (consulté le 16 novembre 2012).
- PAPON, F. (1997). « Les mondes oubliés : marche, bicyclette, cyclomoteur, motocyclette », *Recherche Transport Sécurité* n° 56, juillet-septembre.
- PAPON, F. (2003). « La ville à pied et à vélo » dans D. PUMAIN Denise et M-F. MATTEI (dir.), *Données Urbaines 4*, Paris, Anthropos, p. 75-85.
- PAYSANT, J., C. BEYAERT, A-M. DATIE, N. MARTINET et J-M. ANDRE (2006). « Influence of terrain on metabolic and temporal gait characteristics of unilateral transtibial amputees », *Journal of Rehabilitation Research & Development*, vol. 43, n° 2, p. 153-160.
- PIOMBINI, A. (2006). *Modélisation des Choix d'itinéraires Pédestres en Milieu urbain : Approche Géographique et Paysagère*, Besançon, Université de Franche-Comté, Équipe Paysage et Cadre de vie, thèse non publiée.
- PRIEBE, J. R. et R. KRAM (2001). « Why is walker-assisted gait metabolically expensive ? », *Gait & Posture*, vol. 34, p. 265-269.
- RABISCHONG, P. (2008). *Le handicap*. Paris, Que-sais-je ?
- REYMOND, H. (1968). « L'actualité des modèles graphiques en géographie humaine », *Cahiers de Géographie de Québec*, n° 26, p. 177-216.
- ROGERS, S. H., J. M. HALSTEAD, K. GARDNER et C. 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*, 13 p.
- SCHERRER, J. (1967). *Physiologie du travail*, Paris, Masson, dans GROBOIS, L.-P. (2010). *Handicap et Construction*, Paris, Le Moniteur.

- SOLERE, R. D. et F. PAPON (2010). « La mobilité à pied : que nous apprennent les dernières enquêtes ? », *Le piéton : Nouvelles connaissances, Nouvelles pratiques et Besoins de Recherche*, Bron, Actes INRETS.
- SOLNIT, R. (2002). *L'art de marcher*, Arles, Actes sud.
- SOUTHWORTH, M. (2005). « Designing the Walkable City », *Journal of Urban Planning and Development*, vol. 131, n°4, p.246-257.
- THOMAS, R. (2003), « Quand le pas fait corps et sens avec l'espace. Aspects sensibles et expressifs de la marche en ville », *Cybergeog : European Journal of Geography*, DOI: 10.4000/cybergeog.4304.
- TIGHT, M., C. KELLY, F. HODGSON et M. PAGE (2004). « Improving Pedestrian Accessibility and Quality of Life », 10th World Conference on Transport Research, Istanbul.
- TORRES J. et P. LEWIS (2010). « Proximité et transport actif. Le cas des déplacements entre l'école et la maison à Montréal et à Trois-Rivières », *Environnement Urbain / Urban Environment*, vol. 4, p. C1-C15.
- WATERS, R. L. et S. MULROY (1999). « The energy expenditure of normal and pathologic gait », *Gait and Posture*, vol. 9, p. 207-231.
- ZACHARIAS, J. (2001). « Path choice and visual stimuli : signs of human activity and architecture », *Journal of environmental psychology*, n° 21, p. 341-352.



MAÎTRISER ET ARTICULER LES MOBILITÉS

