

De l'échelle du pas à l'échelle urbaine : vers des indicateurs de marchabilité multi-échelles fondés sur l'expérience réelle de la marche

Contexte scientifique et positionnement

La marche constitue un levier central des politiques de mobilité durable et de santé publique. Pourtant, l'évaluation de la marchabilité¹ urbaine repose encore majoritairement sur des indicateurs macroscopiques décrivant la structure de la ville et celle de ses réseaux de rues et de transports en commun (densité, connectivité, accessibilité), sans prendre en compte les caractéristiques réelles d'un déplacement piéton spontané en ville ni la façon dont ils perçoivent leur environnement au cours du déplacement.

Au sein du laboratoire AAU-CRENAU, plusieurs travaux doctoraux et post-doctoraux récents ont contribué à enrichir l'analyse de la marchabilité en introduisant des approches et situées de l'espace urbain du point de vue piéton [1-9]. Ces travaux ont permis de relier des éléments spécifiques de l'environnement urbain aux pratiques de marche, et d'explorer la transférabilité de ces indicateurs vers des outils opérationnels, notamment à destination des collectivités territoriales et des acteurs de l'aménagement. Ils ont permis de dépasser les approches strictement macroscopiques de la marchabilité en proposant des lectures à haute résolution et situées de l'espace urbain du point de vue piéton, fondées sur la perception visuelle et sur des indicateurs environnementaux mesurables. S'ils ont posé les bases méthodologiques nécessaires à un changement d'échelle le passage effectif à une analyse pleinement multi-échelles de la marchabilité reste néanmoins à construire.

La thèse proposée s'inscrit dans le cadre du projet ANR CITY-STEP ([ANR-25-CE22-2248](#)) qui vise à renouveler l'évaluation de la marchabilité urbaine en intégrant l'analyse de la marche en conditions urbaines réelles par opposition à la marche étudiée en laboratoire qui ne retranscrit pas la dynamique effective de la marche urbaine. En s'appuyant sur des expérimentations in situ et sur l'exploitation de données issues de capteurs portés par les piétons, CITY-STEP cherche à mieux comprendre comment la morphologie urbaine, la configuration spatiale et les facteurs environnementaux (tels que les conditions climatiques par exemple) influencent la marche à l'échelle du pas. Le projet repose sur un partenariat entre trois acteurs : le laboratoire AAU-CRENAU, où s'inscrit la thèse proposée, le laboratoire GEOLOC (Université Gustave Eiffel), qui porte une seconde thèse dédiée à la modélisation du modèle de marche, et Nantes Métropole, partenaire territorial apportant un regard expert sur les enjeux opérationnels. La thèse présentée ici interagira étroitement avec cette seconde thèse ainsi qu'avec le postdoctorat transversal prévu entre les deux laboratoires dans le cadre du projet et s'inscrira plus largement dans un travail collaboratif associant l'ensemble des

¹ La marchabilité (walkability) désigne la capacité d'un environnement urbain à favoriser, faciliter et rendre agréable la marche à pied comme mode de déplacement quotidien. Elle ne se limite pas aux seules conditions physiques de déplacement, mais intègre l'ensemble des caractéristiques spatiales, fonctionnelles, environnementales et perceptives qui influencent l'expérience du piéton.

chercheurs impliqués dans CITY-STEP, au sein des deux laboratoires partenaires, ainsi qu'avec Nantes Métropole.

Dans ce cadre, la thèse a pour objectif spécifique de contribuer à la construction d'une notation multi-échelle (à la manière d'un nutri-score par exemple) de la marchabilité dans les environnements urbains, en articulant des observations fines issues de la marche réelle sur site avec des descripteurs morphologiques, environnementaux et perceptifs de l'espace urbain. Elle vise ainsi à opérer une articulation méthodologique de l'échelle locale des expérimentations (pas, segments de rue) à celle des représentations plus globales de la marchabilité (rue, quartier), en prolongeant les travaux antérieurs menés à AAU et en intégrant les apports du projet CITY-STEP.

Objectifs de la thèse

La thèse vise à lever le verrou consistant à intégrer des données fines issues de la marche réelle sur site avec des descripteurs urbains hétérogènes certains étant de moindre résolution, afin de relier la dynamique du déplacement piéton à la morphologie et aux ambiances urbaines. Un second verrou concerne le passage à l'échelle, c'est-à-dire la capacité à agréger des observations locales et situées de la marche du piéton en ville en indicateurs de marchabilité à l'échelle de la rue et du quartier. Les objectifs sont les suivants :

- Contribuer à l'acquisition de données expérimentales in situ. La thèse comporte une dimension expérimentale : le doctorant ou la doctorante participera à la conception et à la réalisation des campagnes de collecte de données sur site, en interaction étroite avec le ou la deuxième doctorant ou doctorante du projet CITY-STEP portée par le laboratoire GEOLoc, dédiée au développement des modèles de marche et à la production et validation des indicateurs biomécaniques. Cette implication portera notamment sur la préparation des sites d'étude, la définition des parcours et la documentation des conditions de collecte.
- Structurer et intégrer les données expérimentales collectées, incluant notamment les données de marche issues de capteurs inertiels, les données de suivi du regard (eye-tracking), les données urbaines et environnementales, les retours de perception des piétons, ainsi que les indicateurs de marche produits dans le cadre de l'autre thèse du projet. Un travail particulier sera consacré au recalage spatial et temporel de ces sources de données hétérogènes.
- Analyser les relations entre environnement urbain et dynamique de la marche, en collaboration avec le ou la postdoctorant·e du projet, en identifiant les paramètres morphologiques, spatiaux et sensoriels (configuration des rues, discontinuités, ambiances, végétation, etc.) susceptibles d'influencer la cinématique du déplacement piéton, avec un focus particulier sur l'articulation entre observations fines et description urbaine.
- Opérer le passage à l'échelle entre les observations locales issues des terrains d'expérimentation (échelle du pas, segments instrumentés) et des représentations plus larges de la marchabilité (échelle de la rue et du quartier), en proposant des méthodes d'agrégation, de généralisation et d'extrapolation des informations issues des données collectées pour développer des indicateurs de marchabilité enrichis. Il s'agit ici de s'inscrire dans la continuité de travaux antérieurs menés à AAU sur la perception et les indicateurs urbains, tout en intégrant explicitement les informations issues de la marche réelle sur site produites et interprétées en collaboration avec GEOLoc, afin d'aboutir à des indicateurs plus sensibles au point de vue du piéton en mouvement. Ces travaux s'appuieront notamment sur des méthodes d'apprentissage automatique et d'apprentissage profond (deep learning), mobilisées pour l'extraction de

descripteurs, l'annotation automatique des environnements urbains et la généralisation des résultats à des échelles plus larges.

- Évaluer la transférabilité et l'utilisabilité de ces indicateurs, notamment à travers des échanges et retours avec les acteurs opérationnels, en incluant notamment la collectivité partenaire du projet, dans l'objectif d'accompagner les maîtrises d'ouvrage dans la conception ou l'aménagement des espaces piétons.

Données mobilisées

La thèse s'appuiera sur un ensemble de données hétérogènes acquises notamment in situ dans le cadre des campagnes expérimentales du projet CITY-STEP. Ces données comprendront notamment :

- des données de marche issues de capteurs inertiels, à exploiter sous forme d'indicateurs agrégés qui seront produits et interprétés en interaction avec la thèse portée par GEOLOC ;
- des données d'eye-tracking, permettant d'analyser l'attention visuelle des piétons au cours de la marche ;
- des données urbaines et morphologiques, décrivant la structure de l'espace traversé (réseau viaire, trottoirs, intersections, bâti, mobilier urbain, végétation), issues des référentiels géographiques nationaux mais aussi de données ouvertes et de modèles 2D/3D existants ;
- des données environnementales et sensorielles, caractérisant les ambiances urbaines (éclairage, bruit, conditions thermiques, présence de végétation) à extraire de vidéo des terrains ;
- des retours de perception et d'expérience des piétons, recueillis à l'issue des parcours expérimentaux ;

Plan de travail prévisionnel

Année 1

- Appropriation scientifique et méthodologique du projet CITY-STEP.
- Préparation des sites et des protocoles expérimentaux.
- Participation aux premières campagnes d'expérimentation in situ.
- Structuration des données et premières analyses exploratoires.
- Production des premiers résultats scientifiques

Année 2

- Analyses croisées entre morphologie urbaine, perceptions et dynamique de la marche.
- Formalisation des relations environnement-marche en lien avec la thèse GEOLOC et le postdoctorat.
- Suite des valorisations scientifiques.

Année 3

- Passage à l'échelle et construction d'indicateurs de marchabilité multi-échelles.
- Évaluation de la transférabilité avec les partenaires du projet.
- Valorisations scientifiques et rédaction de la thèse.

Encadrement et environnement scientifique

La thèse sera réalisée au sein du laboratoire AAU-CRENAU (École Centrale de Nantes). Elle sera encadrée conjointement par Myriam Servières, Thomas Leduc et Vincent Tourre ainsi que par Valérie Renaudin (laboratoire GEOLOC, Université Gustave Eiffel).

Résultats scientifiques attendus

Les travaux de thèse devraient aboutir aux contributions suivantes :

- la formalisation de méthodes permettant d'intégrer des données de marche réelle sur site dans l'analyse de la marchabilité urbaine, en articulation avec des descripteurs morphologiques et environnementaux ;
- la proposition d'indicateurs de marchabilité enrichis, sensibles au point de vue du piéton en mouvement et exploitables à l'échelle de la rue et du quartier ;
- une meilleure compréhension des relations entre environnement urbain, perception piétonne et dynamique de la marche, fondée sur des données expérimentales collectées in situ.

Ces résultats viendront compléter et prolonger les travaux antérieurs menés à AAU sur la perception et les indicateurs de marchabilité, tout en ouvrant de nouvelles perspectives méthodologiques liées à l'intégration de la marche réelle.

Les travaux de la thèse donneront lieu à des publications scientifiques dans des revues et conférences internationales relevant des domaines de la recherche urbaine, de l'analyse spatiale et des sciences de la donnée. Ils contribueront également à la production de jeux de données et de méthodes diffusés dans une démarche de science ouverte, en cohérence avec les principes du projet CITY-STEP. La thèse s'inscrira enfin dans les actions de valorisation scientifique et de médiation portées par le projet (séminaires, événements scientifiques, échanges avec les acteurs territoriaux).

Profil attendu

Le candidat ou la candidate devra être titulaire d'un master ou diplôme équivalent en informatique, géomatique, science des données, ou disciplines connexes. Un intérêt marqué pour l'analyse spatiale, les environnements urbains, les SIG et le traitement de données complexes est attendu. Des connaissances en apprentissage automatique et en deep learning sont requises, notamment pour l'analyse de données visuelles et multi-sources.

Des compétences en programmation (Python), en manipulation de jeux de données volumineux et en utilisation de bibliothèques de deep learning (par exemple PyTorch ou TensorFlow) seront appréciées, ainsi qu'une capacité à travailler dans un cadre interdisciplinaire et collaboratif.

Références

- [1] B. Beaucamp, "Automatic Assessment of the Visual Perception of the Urban Space by Pedestrians," École Centrale Nantes, 2024.
- [2] B. Beaucamp, T. Leduc, V. Tourre, and M. Servières, "The whole is other than the sum of its parts: sensibility analysis of 360° urban image splitting," in *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 2022, pp. 33–40. doi: <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-4-2022-33-2022>.
- [3] B. Beaucamp, T. Leduc, V. Tourre, and M. Servières, "Beyond the frame: evaluating panoramic vs. perspective images for assessing place perception," *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, pp. 1–33, Apr. 2025, doi: 10.1080/13658816.2025.2483857.
- [4] X. Li, B. Beaucamp, V. Tourre, T. Leduc, and M. Servières, "Evaluation of Urban Perception Using Only Image Segmentation Features:," in *Proceedings of the 9th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management*, Prague, Czech Republic: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2023, pp. 200–207. doi: 10.5220/0011969700003473.
- [5] Chongan Wang, "Integrating Pedestrian-based Panoramic Street View Video in Virtual Reality for the Characterization of Urban Visual Walkability," École Centrale Nantes, 2025.
- [6] M. Wang, N. Zhu, V. Renaudin, A. Dommès, and M. Servières, "Understanding and Using Spatial Landmarks of Visually Impaired People for Navigation Applications," in *2023 13th International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, Nuremberg, Germany: IEEE, Sep. 2023, pp. 1–6. doi: 10.1109/IPIN57070.2023.10332513.
- [7] J. Bracquart, T. Leduc, V. Tourre, and M. Servières, "Revitalizing Walkability Scores: A New Assessment Based on Accessibility:," in *Proceedings of the 10th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management*, Angers, France: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2024, pp. 39–50. doi: 10.5220/0012557500003696.
- [8] Bracquart, Julien, Tourre, Vincent, Leduc, Thomas, and Servières, Myriam, "Potential pedestrian attendance of pathways - Analyzing network efficiency using realistic trip demand and detours," presented at the SAGEO, Avignon, May 2025.
- [9] Cao, Q., Tourre, V., Leduc, T., & Servières, M. (2026). Integrating functional accessibility and pedestrian environmental comfort: A spatially explicit framework for urban walkability evaluation. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science.