



HAL
open science

**ENVIRONNEMENT BATI ET MOBILITE
PIETONNE ANALYSE MORPHOMETRIQUE DES
ESPACES DE VISIBILITE ET CHOIX
D'ITINERAIRES PEDESTRES**

Arnaud Piombini, Thomas Leduc, Philippe Woloszyn

► **To cite this version:**

Arnaud Piombini, Thomas Leduc, Philippe Woloszyn. ENVIRONNEMENT BATI ET MOBILITE PIETONNE ANALYSE MORPHOMETRIQUE DES ESPACES DE VISIBILITE ET CHOIX D'ITINERAIRES PEDESTRES. Colloque International Francophone Piéton COPIE 2013 - La ville sous nos pieds: connaissances et pratiques favorables aux mobilités piétonnes, Nov 2013, Montreal, Canada. hal-01545632

HAL Id: hal-01545632

<https://hal.science/hal-01545632>

Submitted on 22 Jun 2017

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

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

ENVIRONNEMENT BATI ET MOBILITE PIETONNE
ANALYSE MORPHOMETRIQUE DES ESPACES DE VISIBILITE ET CHOIX
D'ITINERAIRES PEDESTRES

Arnaud Piombini¹, Thomas Leduc², Philippe Woloszyn³

1. Laboratoire Image, Ville, Environnement – UMR 7362 CNRS, Université de Strasbourg

3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg, France

arnaud.piombini@live-cnrs.unistra.fr

2 CERMA – UMR 1563 CNRS, LUNAM Université, École nationale supérieure d'architecture de Nantes

6 quai François Mitterrand, BP16202, 44262 Nantes Cedex 2, France

thomas.leduc@cerma.archi.fr

2 ESO – UMR 6590 CNRS, Université Rennes 2

Maison de la Recherche en Sciences Sociales, 35043 rennes, France

philippe.woloszyn@univ-rennes2.fr

RESUME

Dans le cadre de la mobilité pédestre, on connaît peu l'incidence des espaces dits ouverts sur les pratiques pédestres à une échelle très fine. Or, nous postulons qu'ils sont importants dans le registre de la mobilité piétonne car ils conditionnent en partie l'environnement de déplacement, les ambiances urbaines auxquelles sont confrontés les piétons. En architecture, de nombreuses méthodes, parfois anciennes, ont été proposées dans ce registre de l'évaluation des espaces ouverts et visibles. L'analyse sphérique et les champs d'isovists, qui sont utilisées dans le cadre de cet article, correspondent à des approches immergées qui retranscrivent au mieux la perception des individus en mouvement. Dans cet espace précisément quantifié, dont les ambiances sont par nature hétérogènes et qui présente de multiples possibilités d'usage, les choix de déplacement des piétons peuvent être utilement analysés. En effet, par la multiplication des observations individuelles, on peut aboutir à une compréhension collective des pratiques piétonnes. A cet effet, nous utilisons des modèles de choix discrets pour évaluer les ambiances favorables aux déplacements pédestres. Cette approche désagrégée est intéressante car elle permet de centrer cette étude sur les comportements de chaque individu. La méthode proposée consiste en une valuation multiple, sur des critères morphométriques, de l'ensemble des tronçons de rues constitutifs de notre terrain d'étude. Un relevé de parcours pédestres par une enquête de terrain dans un quartier de Strasbourg permet ensuite d'utiliser un modèle d'analyse des choix individuels qui met en évidence les indices morphométriques associés aux pratiques pédestres, ce qui permet d'identifier des environnements favorables aux pratiques piétonnes. Globalement, les espaces de faible visibilité favorisant le contact visuel avec la végétation sont favorisés. Une distinction entre habitants du quartier d'enquête et simples passants permet ensuite de révéler des différences de comportements. Les passants sont par exemple attirés par les espaces aux longues perspectives visuelles favorisant l'orientation alors que les habitants fréquentent des espaces plus intimes, ce qui démontre une connaissance plus fine de l'espace.

MOTS-CLES : Mobilité pédestre, morphologie urbaine, analyse morphométrique, comportements de mobilité

1. INTRODUCTION

Pour identifier les liens entre mobilité et espaces urbains, les approches privilégiées s'appuient généralement sur les préconisations de la charte des villes européennes pour la durabilité (charte d'Aalborg - 1994¹). La mobilité intra-urbaine est ainsi croisée à des mesures portant sur la densité de la population, des emplois, la diversité fonctionnelle, les caractéristiques du réseau viaire (1). En revanche, alors que de nombreuses mesures morphométriques appliquées au tissu urbain à une échelle locale sont utilisées, en architecture notamment, la confrontation aux pratiques de mobilité reste peu mise en œuvre. Pourtant, il semble que l'on connaisse peu l'incidence de la morphologie bâtie sur les pratiques de déplacement, notamment pédestres (2).

Dans cet article, nous présentons un ensemble de mesures reposant sur des principes de visibilité, par nature importante dans le registre de la mobilité urbaine et que nous assimilons en partie à la notion d'ambiances urbaines. Les ambiances architecturales et urbaines reposent sur l'ensemble des sens humains et correspondent à l'ensemble des phénomènes physiques de l'environnement construit et ce que les sens en perçoivent (3). Elles sont à la croisée des éléments physiques et quantifiables de la ville et de l'expérience personnelle et collective des citoyens (4). Les villes n'existent que par le prisme de la perception de leurs habitants (5) et les ambiances se trouvent à l'interface de la structure spatiale « objective » de la ville et des pratiques individuelles plus subjectives (6). Dans cette optique, notre objectif est de montrer qu'il est possible d'identifier certaines préférences ambiantales des citoyens par une méthode d'analyse des itinéraires pédestres. A cette fin, nous considérons que le piéton est un « capteur multi-sensoriel » des ambiances urbaines. Les choix d'usages qu'il va mettre en œuvre témoignent des liens qui l'unissent aux espaces urbains et permettent de révéler les significations sensibles des lieux ce qui leur confère un grand intérêt (7).

Ainsi, au sein d'un espace « ressource » dont les ambiances sont, par nature, hétérogènes et qui présente de multiples possibilités d'usage, les choix de déplacement des piétons peuvent être utilement analysés. Par la multiplication des observations individuelles, on peut aboutir à une compréhension collective des pratiques urbaines. Ce point est essentiel car il permet d'introduire une méthode d'analyse des choix individuels issue de l'économie et peu voire pas mobilisée dans les travaux sur les ambiances urbaines (8). La méthode proposée consiste en une valuation multiple, sur des critères morphométriques, de l'ensemble des tronçons de rues² constitutifs de notre terrain d'étude. Un relevé des parcours pédestres par une enquête de terrain permet ensuite d'utiliser un modèle d'analyse des choix susceptible de mettre en évidence les indices morphométriques ayant une influence sur les choix d'itinéraires.

2. ELEMENTS METHODOLOGIQUES

2.1. Principes de l'analyse morphométrique

Dans la liste des nombreux facteurs influençant les micro-mobilités piétonnes, nous avons délibérément choisi d'analyser ceux liés à la perception géométrique et topologique de l'environnement urbain. Notre approche se résume à quantifier l'espace environnant en chaque point du réseau. Il existe dans la littérature un certain nombre de tentatives de qualification d'espaces ouverts. Notre approche est orientée champs : elle borne l'espace ouvert environnant à l'horizon immédiat du piéton en lui opposant l'ensemble des arêtes opaques de la couche bâtie. On peut résumer cette approche de simple « lancer de rayons de visibilité » dans les espaces ouverts permettant de quantifier l'espace de déambulation du piéton.

Dans ce registre de l'évaluation des espaces ouverts, on recense les approches dites de partitionnement convexe (9), les lignes et cartes axiales de la space syntax (10), les cartes de vue du ciel et l'analyse

1. Consultable à l'adresse suivante :

http://www.territoires-durables.fr/upload/pagesEdito/fichiers/Aalborg+10_commitments_french.pdf

2. Le tronçon constitue l'entité de base du réseau viaire, au sens circulaire du terme.

sphérique (11), les graphes de visibilité (12) et les isovists (13). L'analyse sphérique et les champs d'isovists qui sont utilisées dans le cadre de ce travail constituent des approches immergées (Figure 1). L'isovist est un polygone calculé grâce à des lancers de rayons et contenant l'ensemble des portions de l'espace visibles depuis un lieu d'observation donné. Cette approche orientée champs borne l'espace ouvert environnant à l'horizon immédiat du piéton en lui opposant l'ensemble des arêtes opaques de la couche bâtie d'une part et les arêtes occlusives dues aux effets de masque d'autre part. Il permet d'identifier l'espace ouvert et visible environnant tout point de vue. Pour chaque position ponctuelle, tous les 10 mètres le long des rues, deux isovists ont été calculés. Le premier a été calculé à 360° alors que le second est limité à 104° pour retranscrire la visibilité dans le sens de déplacement des individus. Pour plus de réalisme, la portée du rayon de visibilité a été limitée à 300 m

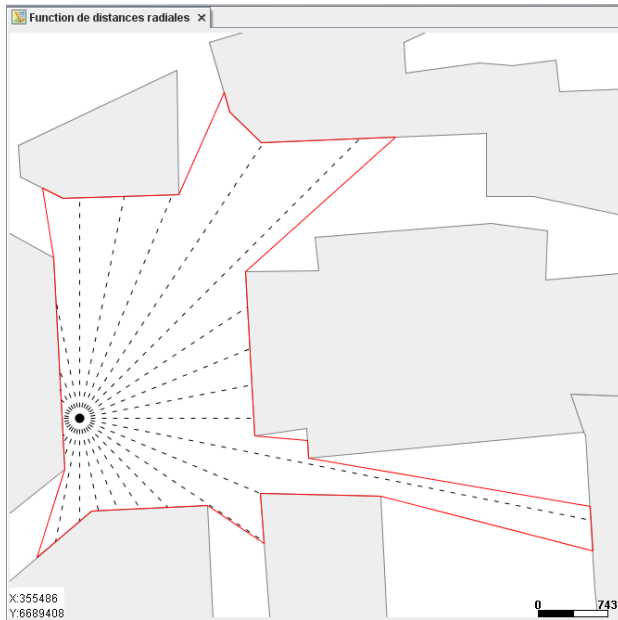


Figure 1. Exemple d'isovist calculé depuis un point d'observation

2.2. Méthode d'analyse des comportements de mobilité

Comment acquérir de la connaissance sur la prise de décision et, plus particulièrement, sur ce qui motive les choix d'itinéraires dans l'environnement urbain ? L'analyse des comportements peut se référer au paradigme des préférences des individus pour une option de choix donnée, sur la base de ses caractéristiques. Deux méthodes sont habituellement utilisées pour étudier les préférences individuelles. Soit on demande aux individus d'interpréter leurs actes, avec les risques d'erreurs que supposent cette introspection et la nécessité de verbaliser pour le sujet étudié (préférences déclarées), soit on extrapole les préférences en interprétant l'action recensée, ce qui repose sur une hypothèse rationaliste forte (préférences révélées).

L'approche des préférences révélées a été retenue. Elle consiste à étudier les choix d'itinéraires, ces choix étant susceptibles de révéler les préférences des piétons. Cette technique passe par le recueil d'informations indirectes sur les choix effectués, ce qui minimise l'influence que peut avoir l'enquêteur sur le sujet d'étude. Elle repose sur l'hypothèse que les comportements observés, les lieux fréquentés, sont de bons révélateurs des préférences des individus. Cela signifie, selon la théorie économique néoclassique, que les individus sont rationnels et qu'ils agissent conformément à leurs préférences, conscientes ou non. Chaque individu utilise, selon cette approche, une fonction d'utilité qui lui permet d'ordonner les différentes alternatives qui s'offrent à lui dans une situation de choix donnée. Cette méthode économique peut sembler très éloignée de l'approche traditionnelle des ambiances urbaines. Toutefois, l'utilité d'une alternative n'est que la transcription, certes très objective, des préférences qui s'expriment sur les attributs, potentiellement très variés, des alternatives de choix.

Dans cette optique, nous proposons de comparer l'espace de mobilité a priori accessible pour chaque individu aux portions d'espaces effectivement empruntées pour identifier les préférences collectives associées aux choix effectués. Nous partons donc de l'hypothèse que l'hétérogénéité ambiante des rues préside aux choix d'itinéraires des individus. Selon cette hypothèse, les piétons valorisent positivement ou négativement certains espaces et effectuent leurs choix en conséquence. Par l'analyse empirique des itinéraires piétonniers, on peut ainsi identifier les choix effectués et déterminer les ambiances favorables ou non aux déplacements.

3. PRESENTATION DU TERRAIN D'ETUDES ET DES DONNEES

Le quartier de HautePierre compte environ 14 000 habitants (Figure 2). Typique des grands ensembles des années 60-70, il est actuellement en cours de rénovation urbaine ce qui pose avec acuité la question des ambiances à recréer.

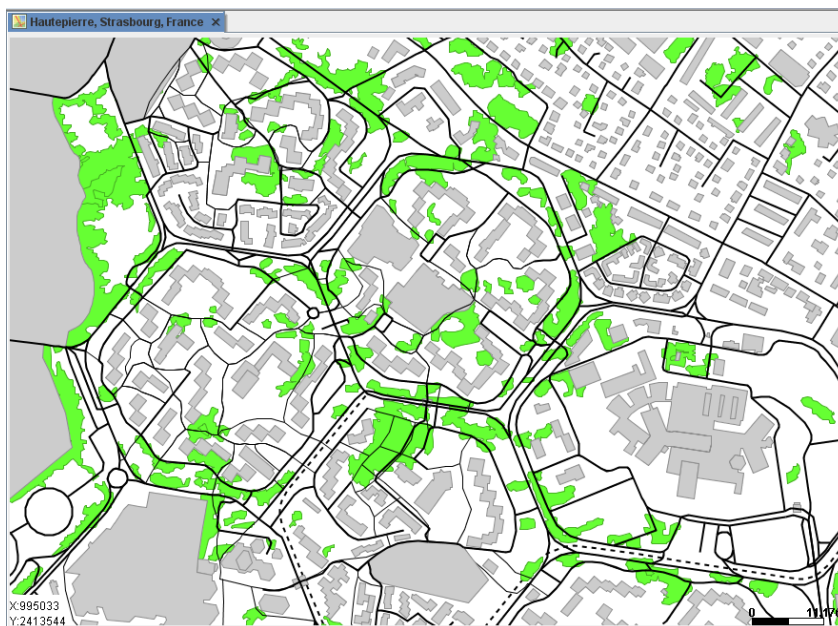
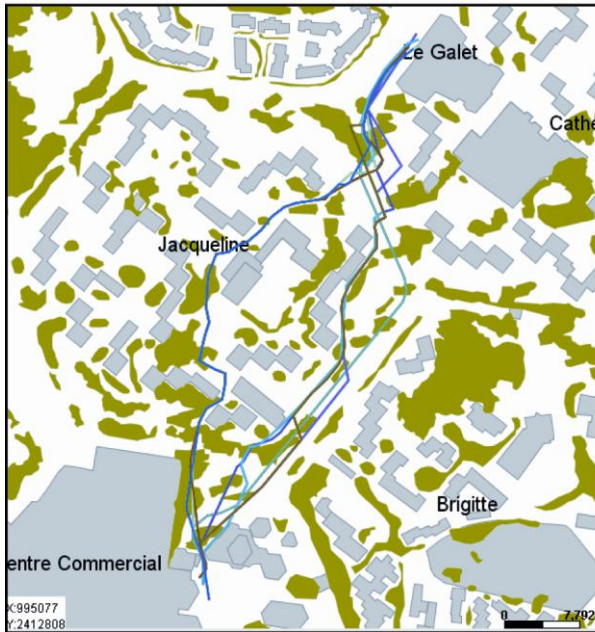


Figure 2. Le quartier de HautePierre à Strasbourg

Une enquête spécifique a été menée dans ce quartier. Pour recueillir les comportements de déplacements, nous avons choisi d'enquêter deux cohortes d'individus, des *passants* (fréquentant mais n'habitant pas HautePierre) et des *habitants* de HautePierre. Les *passants* et *habitants* ont eu à réaliser un trajet dans le quartier de HautePierre à partir d'un même point de départ, choisi en fonction de sa centralité. Tous les sujets enquêtés ont dû rejoindre une même destination prédéfinie en choisissant l'itinéraire qui leur convenait le mieux (figure 3). Les effectifs enquêtés sont très restreints : 17 déplacements ont ainsi été relevés ; 8 sont le fait d'habitants du quartier et 9 de passants. Cela pose évidemment problème en termes de précision statistique et les résultats de nos analyses devront être abordés avec précaution. Rappelons cependant que cet article a surtout pour but de proposer une méthodologie peu usitée dans le cadre des études portant sur les comportements de mobilité pédestre en lien avec les ambiances urbaines

Trajets habitants



Trajets passants

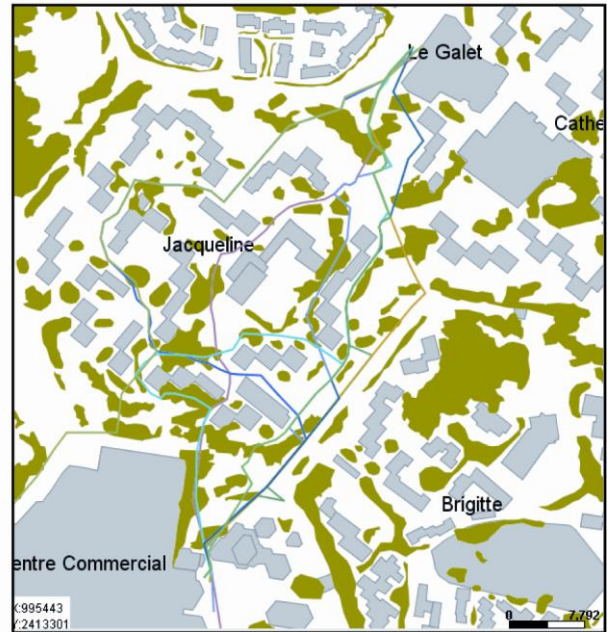


Figure 3. Itinéraires recensés lors de l'enquête

4. METHODES

Comme mentionné précédemment, nous cherchons à produire un ensemble de grandeurs morphométriques décrivant l'environnement proche du piéton pour chacun des itinéraires empruntés ou potentiellement empruntables. A ce niveau d'échelle, on s'intéresse à l'environnement immédiat qui entoure l'individu dans l'espace public. Cet environnement se caractérise par un continuum visuel et peut donc être appréhendé instantanément par les individus.

4.1. Caractérisation morphologique de l'environnement ambiant du piéton

Pour calculer un certain nombre d'indicateurs morphologiques censés traduire « objectivement » la configuration des lieux étudiés, les données d'entrée utilisées ont été les suivantes. Les empreintes au sol des bâtiments ont été obtenues à partir de la couche bâti de la BD Topo de l'IGN. Les empreintes au sol des espaces verts ainsi que le réseau viaire de la zone d'étude, d'une longueur totale de 22,7 km, sont issus de la BD Topo et ont été complétés par des données récupérées à partir d'ortho-photographies.

Les descripteurs morphométriques ou indices de formes que nous utilisons sont de plusieurs natures. Certains sont génériques et peuvent être appliqués à n'importe quelle forme polygonale, c'est par exemple le cas du périmètre, de l'aire, du nombre de côtés. Pour caractériser une forme polygonale, l'usage veut qu'elle soit rapportée à différentes formes englobantes ou inscrites (14) qui permettent de calculer des indices différenciés du point de vue des ambiances. Nous utilisons le plus petit disque englobant contenant l'isovist. D'autres descripteurs tirent partie de la caractéristique topologique intrinsèque de l'isovist. En effet, ce dernier est, par essence, un polygone étoilé par rapport à un point d'observation. Du fait de cette propriété topologique, nous pouvons caractériser la forme à partir d'une description de son contour.

4.1.1. Mesures de formes simples

Le périmètre de l'isovist. Pour Benedikt (13), le périmètre de l'isovist, qui correspond à la longueur cumulée des arêtes (bâties ou non) délimitant l'espace vu depuis un point donné, est une des grandeurs permettant d'évaluer la complexité du bassin de visibilité correspondant. Ce périmètre permet notamment d'évaluer la quantité de surfaces bâties (longueur du déroulé de façades – indicateur dit d'occlusivité dans cette même référence) vues depuis un point donné.

L'aire de l'isovist permet de quantifier la surface d'espace non bâti englobant immédiatement le point de vue (et ainsi directement visible depuis ce même point).

Le nombre de côtés de l'isovist. Ce nombre, lorsqu'il est élevé, révèle une complexité du contour.

Ces indices de formes simples sont complétés par des indices de compacité qui permettent de comparer la forme de l'isovist à une forme de référence circulaire. Les mesures de compacité présentées ci-après sont abondamment discutées dans la littérature. A titre d'illustration, nous nous limiterons à mentionner MacEachren (15) ou, plus récemment, Maignant (16).

4.1.2. Indices de circularité

Les indices de circularité sont des indices qui visent à quantifier la déviation de l'isovist par rapport à une forme circulaire. La circularité d'une forme est une notion relativement intuitive dans la mesure où elle est une traduction de la notion d'équidistance de l'ensemble des points et arêtes d'un contour à un point central d'observation donné.

L'indice de Gravélius et le *jaggedness* ($\text{périmètre}^2 / \text{aire}$) sont des indicateurs de circularité. Comme constaté par Maignant (16), ces indices prennent des valeurs faibles dans le cas d'une circularité maximale (lorsque l'isovist est un disque) à fortes quand la circularité est minimale (le périmètre est très grand et l'aire englobée très petite). La figure 4 correspond à deux situations extrêmes pour l'indice de Gravélius. Cet indicateur est un ratio, à un coefficient multiplicatif près, du périmètre sur la racine carrée de la mesure de l'aire de la forme étudiée. C'est donc une grandeur adimensionnée (sans unité) et non normalisée (elle n'est pas comprise entre 0 et 1).

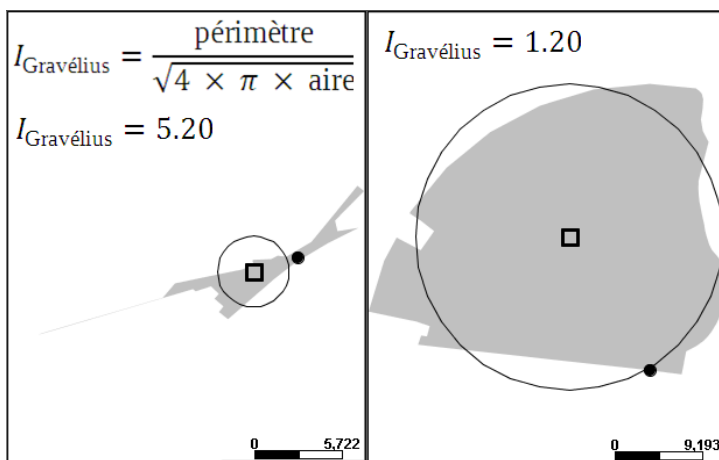


Figure 4. Deux situations extrêmes pour les indices de circularité

Le plus grand diamètre inscrit centré au point d'observation (exprimé en mètres). Cet indice de forme, étroitement corrélé à la position du point de vue, permet d'évaluer l'éloignement du point d'observation par rapport à la surface visible (figure 5). Il est visuellement perceptible par un observateur *in situ* et repose sur la perception de la distance aux façades bâties.

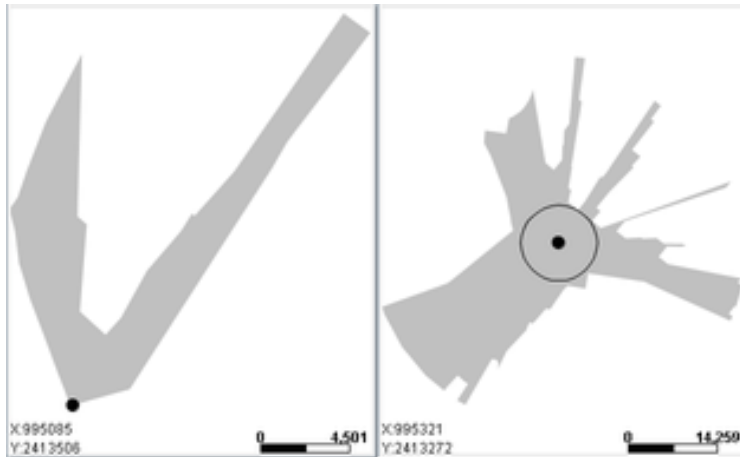


Figure 5. Deux situations extrêmes pour l'indice de plus grand diamètre inscrit. L'isovist de gauche a une valeur d'indice proche de 0 (l'observateur est quasi directement « adossé » à une arête de bâtiment) tandis que celui de droite a une valeur d'environ 120 mètres.

4.1.3. Indices spécifiques aux formes étoilées

Du fait de la propriété topologique de nos polygones (forme étoilée), il est possible de les décrire par la seule transcription de leur contour en une fonction de distances radiales. Cette fonction de distance radiale associe à un azimut donné (issu de la discrétisation par abscisse angulaire) la longueur du rayon reliant le point de vue au point de contour correspondant.

Le rayon moyen (13) correspond à la moyenne arithmétique des longueurs des rayons reliant le point de vue à tout point du contour. Cet indice de forme est une indication de la dimension globale de la forme.

Le rayon minimum équivaut à la plus petite longueur des rayons reliant le point de vue à tout point du contour.

Le rayon maximum équivaut à la plus grande longueur des rayons reliant le point de vue à tout point du contour.

L'écart-type des longueurs de rayon (13) permet de caractériser la dispersion de ces longueurs par rapport à la longueur moyenne (figure 6). Il s'agit ici d'un indicateur d'étalement. Plus cet écart-type est élevé et plus la distribution des rayons est étalée.

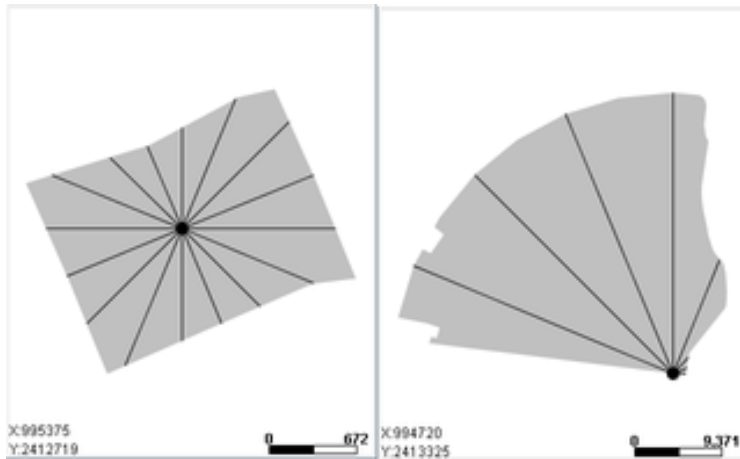


Figure 6. Deux situations extrêmes pour l'écart-type des longueurs. L'isovist de gauche a un écart-type d'environ 1,7 (la distribution des rayons est très uniforme) tandis que celui de droite a un écart-type d'environ 126 (grande variabilité de la distribution des longueurs due à une forte dissymétrie globale de la forme).

4.1.4. Indices à connotation paysagère

Pour compléter ces indices morphométriques, nous avons inclus quelques indices à connotation paysagère, toujours sur la base des champs de visibilité.

La quantité de surface végétale contenue dans l'isovist.

Le ratio de surface végétale contenue dans l'isovist rapportée à la surface totale. Dans le cas précis du terrain d'étude de HautePierre, cette valeur de ratio est comprise entre 0 et 57 %.

La longueur de front bâti visible depuis un point d'observation.

Le ratio de longueur de front bâti rapportée au périmètre total de l'isovist. Cet indicateur d'« occlusivité » est directement perceptible par un piéton *in situ*.

Bien entendu ces indicateurs, zénithaux par leur construction, ne constituent qu'une approximation de ce que les piétons peuvent percevoir. D'une part, ils sont restrictifs par rapport au contenu ambiantal que les individus appréhendent et perçoivent, d'autre part ils sont beaucoup plus précis que ne le sont les sens humains. Ils permettent cependant de retranscrire en partie l'environnement morphologique immersif immédiatement perceptible par les individus. L'ensemble de ces indices morphométriques³ caractérisant les espaces accessibles pour les piétons va donc être intégré au sein de modèles de choix discret ce qui permettra d'identifier les caractéristiques morphologiques favorables aux pratiques de déplacements pédestres.

4.2. Principes des modèles de choix discrets

Le processus d'évaluation qui conduit aux choix d'itinéraires sera étudié au moyen d'un modèle de choix discret et plus spécifiquement d'un logit multinomial (17). Ce type de modèle permet d'analyser le choix effectué par chaque individu parmi un ensemble d'alternatives potentielles discriminées sur la base de leurs caractéristiques. Comme le rappelle Bierlaire (18), les modèles de choix discrets décomposent le processus de choix de la manière suivante.

3. Les variables morphométriques ont été centrées-réduites avant d'être intégrées dans le modèle logit.

– *Définition des options de choix disponibles pour chaque individu.* Cela consiste à éliminer les alternatives non pertinentes en amont de la mise en œuvre du modèle à proprement parlé (19). L’algorithme de Dijkstra, calculé sur le réseau piétonnier, nous a permis de retenir, pour chaque individu, les itinéraires potentiels dont la longueur n’excède pas 120 % de celle du trajet choisi lors de l’enquête ;

– *Caractérisation des itinéraires par des attributs.* L’analyse des choix effectués repose sur l’idée que le piéton ne se déplace pas de manière aléatoire dans la ville. Nous partons donc du principe que la morphologie bâtie du contexte immédiat de mobilité conditionne le choix d’itinéraire. A chaque instant, le piéton en mouvement perçoit les caractéristiques de son environnement proche, enregistre des séquences de paysage, que les points de mesures morphométriques traduisent en partie (figure 7) ;



Figure 7. Exemple de discrétisation de trois itinéraires reliant le Centre socio-culturel Le Galet au centre commercial dans le quartier de Hautepierre. La symbologie correspond à une classification par intervalle des aires en m² de l’isovist calculé en chaque point considéré.

– *Processus et règles de décision de l’individu.* Chaque individu est censé comparer et ordonner les différents itinéraires qui s’offrent à lui. Le modèle logit est utilisé dans le but de reproduire et d’expliquer ce choix par le calcul désagrégé de probabilités de choix (20). La capacité du modèle à reproduire le choix relevé est mesurée par la statistique du maximum de vraisemblance et par le calcul d’un pseudo-R ajusté, ce qui permet de mettre en évidence les préférences des individus pour certaines caractéristiques. Les résultats obtenus se présentent sous la forme d’un vecteur d’attributs auxquels sont attachés des coefficients qui indiquent le sens de la relation et son intensité.

5. RESULTATS

Le modèle logit multinomial a été appliqué à l’ensemble de la population enquêtée puis séparément aux catégories *habitants* et *passants*. Du fait des très faibles effectifs enquêtés, les résultats obtenus doivent être examinés avec beaucoup de précaution. Cela peut être repéré dans la figure 3, les premiers résultats montrent que les *passants* (longueur moyenne 804 m) sont moins rationnels dans leurs déplacements que les *habitants* (longueur moyenne 680 m) dans la mesure où la longueur des itinéraires choisis s’écarte significativement du plus court chemin. En effet, les *habitants* semblent plus « pragmatiques » sans pour autant opter pour l’itinéraire le plus efficace. Ce résultat s’explique peut-être par la pratique régulière des lieux chez les *habitants* et donc par une connaissance plus poussée des lieux de cheminement. Il faut également noter que cette différence est examinée sous l’angle d’une rationalité reposant sur le temps et la distance de déplacement. Or, les préférences ambiantales se réfèrent plutôt à une rationalité cognitive.

Ainsi, l’allongement des distances parcourues peut correspondre à la recherche d’ambiances plus favorables par les *passants* qui sont par nature moins habitués au territoire fréquenté et donc plus attentifs aux ambiances parcourues.

Les résultats du tableau 1 présentent la meilleure combinaison possible d’indices morphologiques pour chaque catégorie de piétons. Chacun de ces modèles multivariés synthétiques retient, au maximum, trois indices explicatifs. Au-delà, les autres indices n’apportent pas de plus de valeur pour expliquer les choix de cheminement des enquêtés. Ce nombre restreint d’indices significatifs mis en évidence par les modèles peut s’expliquer par le faible nombre d’enquêtés, ce qui laisse peu de latitude pour l’amélioration de la statistique utilisée. Mais ces modèles très synthétiques sont également assez logiques puisque l’on imagine difficilement que les choix d’itinéraires soient guidés par une combinaison très complexe d’indices morphologiques.

Ensemble des enquêtés

<i>Indicateurs</i>	<i>Angle Isovist</i>	<i>Coeff.</i>	<i>Log-Vraisemblance</i>
Ecart-type des longueurs de rayon	360°	-1,81***	-31,25
Ratio de surface végétale	360°	4,49***	-25,92
Aire isovist	104°	-0,71**	-23,57
Log-Vrais. initiale	-54,74	** $p < 0,05$	*** $p < 0,01$
Log-Vrais. finale	-23,57		
Pseudo-R ajusté	0,51		

Habitants

<i>Indicateurs</i>	<i>Angle Isovist</i>	<i>Coeff.</i>	<i>Log-Vraisemblance</i>
Indice de Gravélius	104°	1,99***	-16,13
Ratio de surface végétale	104°	2,42***	-12,37
Aire isovist	104°	-0,52	-11,82
Log-Vrais. initiale	-29,19	** $p < 0,05$	*** $p < 0,01$
Log-Vrais. finale	-11,82		
Pseudo-R ajusté	0,51		

Passants

<i>Indicateurs</i>	<i>Angle Isovist</i>	<i>Coeff.</i>	<i>Log-Vraisemblance</i>
Ecart-type des longueurs de rayon	360°	-2,38***	-14,24
Jaggedness	104°	1,61**	-11,36
Log-Vrais. initiale	-25,56	** $p < 0,05$	*** $p < 0,01$
Log-Vrais. finale	-11,36		
Pseudo-R ajusté	0,48		

Tableau 1. Résultats des modèles logit multivariés

Les résultats pour l’ensemble des enquêtés (*habitants* et *passants*) montrent une relation positive au ratio de surface de végétation et négative à l’aire de l’isovist. Les trajets semblent se construire selon une succession d’espaces ouverts de faible étendue tout en optimisant le contact visuel avec les espaces verts.

Ce rôle positif de la végétation démontre que les espaces verts constituent un élément important d'aménagement urbain et de valorisation des lieux mais pas dans n'importe quel type d'espace, morphologiquement parlant. Des calculs univariés, non présentés ici, ont mis en évidence le fait que seul, le végétal ne présente pas un intérêt particulier pour les piétons alors qu'il en aura dans des configurations bâties particulières. On remarquera d'ailleurs que si la végétation a un impact positif, celle-ci ne s'inscrit pas dans les mêmes types d'espaces selon la catégorie d'enquêtés que l'on étudie. Pour l'ensemble des enquêtés, il s'agit d'espaces ouverts de faible étendue et relativement homogènes, circulaires alors que pour les *habitants*, l'impact positif de la végétation s'inscrit dans des espaces peu étendus et aux contours plus spécifiques (circularité minimale et grand périmètre de l'isovist). Le modèle associé aux *passants* est légèrement moins performant que celui des *habitants*. Même si la différence est peu significative, cela signifie que leurs comportements de mobilité sont moins prédictibles. La valeur prise par le pseudo-R ajusté est cependant suffisamment élevée pour nous permettre d'analyser les résultats pris par le modèle. Il semble ainsi que les *passants* cherchent à réduire la complexité de l'espace visible puisque l'écart-type des longueurs de rayons est négatif. Les formes complexes sont évitées par les *passants* ce qui facilite sans doute la lisibilité et l'appréhension des espaces traversés. Le Jaggedness, qui complète le modèle de la catégorie des *passants*, traduit l'attrait pour des espaces dont le périmètre présente un caractère assez allongé ou dentelé. A priori, cela peut sembler contradictoire avec l'écart-type des longueurs de rayons. Mais cela peut aussi signifier qu'ils sont attirés par des espaces caractérisés par une perspective visuelle qui leur facilite l'orientation. Cet attrait pour des perspectives visuelles confirme des hypothèses déjà largement exprimées par les spécialistes de la syntaxe spatiale et du mouvement naturel (par exemple 10). Il semble donc y avoir un compromis entre forme homogène et perspectives visuelles allongées.

6. CONCLUSION

En aménagement urbain, la valorisation de l'espace est un objectif recherché. Mais comment concevoir un environnement urbain perçu de manière positive par la majorité des citoyens ? Au-delà de l'environnement construit c'est l'espace habité et pratiqué qui doit focaliser l'attention des aménageurs. Dans cette optique, il faut mobiliser des méthodes basées sur le relevé de pratiques individuelles au regard des espaces sensibles. A cet effet, la modélisation des choix individuels de fréquentation des espaces conduit à établir, par exemple, un lien entre des indicateurs mesurables, objectifs et des ambiances privilégiées du point de vue des usages même si une part non négligeable des comportements n'est pas prévisible (21). Le piéton est en effet un capteur d'ambiances imparfait : il ne voit et ne perçoit pas tout, il n'est pas capable de faire une synthèse parfaite de ce qu'il perçoit. Mais ses actes sont tout de même de bons révélateurs de ses préférences et, à ce titre, riches d'enseignements.

L'apport des indicateurs morphométriques, classiquement utilisés en architecture et en planification urbaine, comme variables d'entrée pour alimenter la compréhension des choix d'itinéraires semble pertinent. Quant aux modèles de choix, ils constituent un outil facilement mobilisable pour faire le lien entre environnement construit et comportements de mobilité. En somme, la démarche présentée permet de questionner les relations entre formes urbaines construites et expérience sensorielle des individus (perceptions, préférences, usages...). Dans cet article, la modélisation des pratiques de mobilité a permis de mettre en évidence certaines caractéristiques morphologiques attractives pour les piétons. Les premiers résultats obtenus par la méthode présentée ouvrent la voie à des travaux intégrant d'autres indicateurs morphométriques, notamment ceux, plus réalistes, basés sur une approche en trois dimensions. Il serait aussi souhaitable d'intégrer des aspects relatifs aux densités perçues ainsi que des éléments plus fonctionnels. Par ailleurs, les caractéristiques des individus enquêtés (âge, genre...) et des déplacements (motif, fréquence...) devraient également être traitées dans la mesure où elles déterminent également les choix de parcours. La confrontation à des préférences déclarées par les individus pourrait également constituer une piste d'enrichissement de la méthode et de validation des résultats. Enfin, cette méthode devra nécessairement être mise en oeuvre avec des échantillons nettement plus conséquents ce qui permettra une exploitation statistique des résultats plus significative.

BIBLIOGRAPHIE

1. Cervero, R., Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: density, diversity, and design. *Transportation Research Part D*, 2(3), 199-219.
2. Breheny, M. J. (1992). *Sustainable Development and Urban Form*. London: Pion.
3. Augoyard, J.F. (1979). *Pas à pas, essai sur le cheminement quotidien en milieu urbain*. Paris : Ed. du Seuil.
4. Péneau, J.P. (2000). Les ambiances urbaines. In M. F. Mattei et D. Pumain (Ed.), *Données urbaines 3* (pp. 375-386). Paris : Anthropos,.
5. Lynch, K. (1969). *L'image de la cité*, Paris : Dunod.
6. Santos, M. (1997). *La nature de l'espace : technique et temps, raison et émotion*. Paris : L'Harmattan.
7. Thomas, R. (2004). Quand le pas fait corps et sens avec l'espace. Aspects sensibles et expressifs de la marche en ville, <http://cybergeographie.org/4304>.
8. Foltête, J.C., Piombini, A. (2010). Deviations in pedestrian itineraries in urban areas: a method to assess the role of environmental factors. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37(4), 723-739.
9. Peponis, J., Wineman, J., Rashid, M., Hong Kim, S., Bafna, S. (1997). On the description of shape and spatial configuration inside buildings: convex partitions and their local properties. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(5), 761-781.
10. Hillier, B., Hanson, J. (1984). *The Social Logic of Space*. Cambridge: Cambridge University press.
11. Teller, J. (2003). A spherical metric for the field-oriented analysis of complex urban open spaces. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(3), 339-356.
12. Turner, A., Dox, M., O'Sullivan, D., Penn, A. (2001). From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28(1), 103-121.
13. Benedikt, M.L. (1979). To take hold of space: isovists and isovist fields. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 6(1), 47-65.
14. Lee, D.R., Sallee, G.T. (1970). A Method of Measuring Shape. *Geographical Review*, 60(4), 555-563.
15. MacEachren, A.M. (1985). Compactness of geographic shape: comparison and evaluation of measures. *Geografiska Annaler*, 67(1), 53-67.
16. Maignant, G. (2005). *Compacité et forme urbaine, une analyse environnementale dans la perspective d'un développement urbain durable*. Actes du colloque Développement urbain durable, gestion des ressources et gouvernance, Lausanne, Switzerland.
17. McFadden, D. (1981). Econometric models of probabilistic choice. In C. Manski and D. McFadden (Ed.), *Structural analysis of discrete data with econometric applications* (pp. 198-272). Cambridge: MIT Press.
18. Bierlaire, M. (1998). Discrete choice models. In M. Labbé, G. Laporte and K Tanczos (Ed.), *Operations research and decision aid methodologies in traffic and transportation management* (pp. 203-227). Heidelberg, Springer-Verlag.
19. Prato, C.G. (2009). Route choice modelling: past, present and future research directions. *Journal of choice modelling*, 2(1), 65-100.

20. de Palma, A., Thisse, J.F. (1989). Les modèles de choix discrets. *Annales d'Economie et de Statistique*, 9, 151-190.

21. Besse, J.-M. (2010). Le paysage, espace sensible, espace public. *META : Research in Hermeneutics, Phenomenology, and Practical Philosophy*, 2(2), 259-286.