UNIVERSITÉ DE TOURS

ÉCOLE DOCTORALE « Sciences de la société : Territoires, Économie, Droit »

UMR 7324 CITERES

THÈSE présentée par :

Fatemeh GHALEHNOEE

Soutenue le : **29 juin 2021**

Pour obtenir le grade de : **Docteur de l'université de Tours**

Discipline/Spécialité : Aménagement de l'espace et Urbanisme

L'INFLUENCE DE LA STRUCTURE DU RÉSEAU DE VOIRIE SUR LES CHOIX D'ITINÉRAIRE DES PIÉTONS

Études de cas : Ispahan et Tours

THÈSE dirigée par :

M. MARTOUZET Denis	Professeur des Universités, Université de Tours

RAPPORTEURS :

M. MANSOURI Seyed Amir	Professeur des Universités, Université de Téhéran
M. MIGNOT Dominique	Directeur de recherche, Université Gustave Eiffel

---

JURY :

Mme. AGUILÉRA Anne	Directrice de recherche, Université Gustave Eiffel
M. BAPTISTE Hervé	Maître de conférences, Université de Tours
M. GENRE-GRANDPIERRE Cyrille	Professeur des Universités, Université d'Avignon
M. MANSOURI Seyed Amir	Professeur, Université de Téhéran
M. MARTOUZET Denis	Professeur des Universités, Université de Tours
M. MIGNOT Dominique	Directeur de recherche, Université Gustave Eiffel

Trouvez les personnes qui illumineront votre chemin.
Ignorez ceux qui vous rendent effrayés et tristes, qui vous entraînent vers la maladie et la mort. Mettez votre vie en feu. Cherchez ceux qui attiseront les flammes.

Djalâl ad-Dîn Rûmî

Remerciements

Il est question ici de remercier les personnes qui ont rendu cette thèse possible.

Mes premiers et chaleureux remerciements sont adressés à Denis Martouzet qui a assuré la direction de cette thèse avec attention, disponibilité, rigueur, confiance, bienveillance et beaucoup de patience. Sa qualité d'encadrement a nourri et guidé mon apprentissage de la recherche ; sans oublier son soutien quotidien au cours de ces quatre années et demie, m'aidant à surmonter des difficultés variées techniques, administratives, etc.

Mes remerciements vont également à Anne Aguiléra, Hervé Baptiste, Cyrille Genre-Grandpierre, Seyed Amir Mansouri et Dominique Mignot qui me font l'honneur de participer au jury de cette thèse.

Je remercie l'Université de Tours qui, en finançant cette thèse, m'a permis de travailler dans de bonnes conditions.

Je remercie Stéphanie Gosset qui a contribué à l'amélioration de ce manuscrit en consacrant beaucoup de temps pour sa relecture minutieuse, attentive et avec un sens des responsabilités exemplaire.

Je remercie Safoora Mokhtar-Zadeh qui m'a gentiment aidée dans l'utilisation des méthodes et des outils.

Je remercie les membres et le personnel du laboratoire CITERES et de la MSH qui m'ont accueillie durant la thèse et m'ont offert des conditions de travail agréables, notamment : Dominique Andrieu, Claudia Cirelli, Séverine Fromiau, Mathieu Gigot, Patricia Grenêche, Muriel Hourlier, Patrice Melé, Anna Perraudin, François Rosmann, Alain Ravaz, Amélie Robert, Lydia Seabra-Kermoal, Nora Semmoud, Alexia Soussen et Adeline Vioux.

Je remercie le personnel d'EURAXESS, notamment Germain Rousseau, qui a facilité mes démarches administratives et mon installation en France.

Je remercie différentes générations de thésards qui se sont succédé au sein du laboratoire CITERES : Adrian, Bastien, Cédric, Cécile, Jérôme, Karine, Kaoutar, Marion, Nathanaël, Oumar, Rouba, Salma, Sarah-Anaïs, Sonia, Solène, Stéphanie.

Je remercie Bertrand Morandi, avec qui j'ai partagé le bureau 253 pour ces moments de discussions sur une grande variété de sujets, tous plus enrichissants les uns que les autres.

Je remercie Nastaran Aghili qui m’a toujours soutenue et aidée amicalement dans les situations de crise et les coups durs, malgré la distance physique.

Je remercie Majid Amouchi, Mohammad Hossein-Zadeh, Reza Piroozi qui m’ont soutenue amicalement tout au longue de cette thèse.

Merci à ma famille, notamment à mes parents qui m’ont tous deux soutenue tout au long de cette thèse.

Enfin et surtout, je remercie Aryan et Mahmoud, qui ont toléré mes humeurs, mes états d’âme et mes absences.

Résumé

Différents paramètres contribuent au processus d'orientation des piétons dans l'espace urbain. La façon dont les piétons construisent leurs itinéraires dépend de leurs perceptions relatives aux spécificités de l'environnement dans lequel s'effectue la marche. Le réseau de voirie constitue un des éléments principaux de l'environnement urbain. L'objectif central de cette thèse est d'évaluer la relation entre la structure du réseau de voirie et le comportement des piétons au niveau individuel quant au choix d'un trajet parmi les alternatives possibles. Il en découle l'hypothèse générale suivante : la structure du réseau de voirie, plus précisément ses attributs géométriques, topologiques et fonctionnels, génère des rôles fonctionnels et structurels variés pour chacun des segments de rues, ce qui, par conséquent, encourage les piétons à emprunter un itinéraire particulier.

Pour atteindre cet objectif et partant d'un point de vue analytique deux terrains d'étude distincts ont été choisis: les villes d'Ispahan (Iran) et de Tours (France). Cette recherche a adopté un cadre théorique mixte combinant une approche économique qui repose sur la rationalité des piétons, ainsi que des approches cognitives reposant sur les représentations des piétons. Afin de croiser des itinéraires pédestres et la structure du réseau de voirie, différentes analyses sont effectués.

Dans un premier temps, en appliquant la théorie et la méthode de la Syntaxe spatiale, la configuration du réseau de voirie est analysée. Ainsi, l'accent est mis sur le rôle des perceptions des piétons et sur les attributs topologiques de la structure spatiale du réseau. Dans un deuxième temps, les informations des déplacements à pied réellement effectués par des personnes volontaires sont enregistrées, cela en employant des traceurs GPS. Dans un troisième temps, en appuyant sur des analyses quantitatives, les trajets effectués (enregistrés via les traceurs GPS) et le réseau de voirie ont été confronté. Ceci a permis d'analyser les caractéristiques fonctionnelles et structurelles des segments de rues empruntés, ainsi que la longueur topologique et métrique des itinéraires pratiqués. Enfin, des entretiens semi-directifs avec les participants de l'enquête, ont permis d'appréhender les représentations des personnes de leurs environnements de la marche ainsi que les motivations qui ont influencé leurs choix.

Ainsi, cette thèse démontre que la rationalité des individus en matière de choix de trajet métriquement le plus court décrit en partie les trajets effectués. La distance topologique des trajets se révèle également importante pour certains piétons. En outre, la localisation des

activités urbaines contribue fortement aux choix des piétons. Cependant, ce sont la structure spatiale du réseau de voirie et l'agencement topologique des rues qui sont les principaux facteurs d'influence du choix d'itinéraire des piétons. Précisons que d'autres facteurs influencent également ce choix, comme les spécificités socio-économiques du contexte de déplacement, les particularités des systèmes de transport et les spécificités individuelles des personnes. Ces autres facteurs expliquent aussi en partie certaines incohérences entre les préférences théoriques, révélées et déclarées des personnes. Celles-ci mettent en évidence la complexité du processus d'orientation des piétons dans l'espace urbain.

Les mots-clés : réseau de voirie, configuration, déplacement à pied, choix d'itinéraire, piéton**,** représentations, Syntaxe spatiale, Ispahan, Tours

Résumé en anglais

Different parameters contribute to the process of pedestrian orientation in urban space. The way in which pedestrians construct their itinerary depends on their perceptions of the specificities of the environment in which they walk. The street network is one of the main elements of the urban environment. The main objective of this thesis is to evaluate the relationship between the structure of the street network and the behavior of pedestrians at individual level regarding the choice of a itinerary among the possible alternatives. The general hypothesis is that the structure of the street network, specifically its geometric, topological and functional attributes, generates various functional and structural roles for each street segment, which consequently encourages pedestrians to take a particular itinerary.

In order to achieve this objective and from an analytical point of view, two distinct case study were chosen: the cities of Isfahan (Iran) and Tours (France). This research adopted a mixed theoretical framework combining an economic approach based on the rationality of pedestrians, as well as cognitive approaches based on the representations of pedestrians. In order to cross-reference pedestrian itinerary with the structure of the street network, different analyses are performed.

First, by applying the theory and method of Space syntax, the configuration of the street network is analyzed. Thus the focus is on the role of pedestrian perceptions and the topological attributes of the spatial structure of the network. In a second step, the information of the walks really made by volunteers is recorded by using GPS trackers. In a third step, based on quantitative analyses, the trips made (recorded via GPS trackers) and the street network were compared. This allowed us to analyze the functional and structural characteristics of the street segments taken, as well as the topological and metric length of the itineraries practiced. Finally, semi-structured interviews with the participants of the survey, allowed to apprehend the representations of the persons of their walking environments as well as the motivations which influenced their choices.

Thus, this thesis demonstrates that individuals' rationality in choosing the metrically shortest path only partially describes the itinerary taken. The topological distance of trips is also found to be important for some pedestrians. In addition, the location of urban activities is an important contributor to pedestrian choices. However, the spatial structure of the street network and the topological arrangement of streets are the main factors influencing

pedestrians' itinerary choices. It should be noted that other factors also influence pedestrian itinerary choice, such as the socio-economic characteristics of the travel context, the characteristics of the transport systems, and the individual characteristics of people. These other factors also partly explain some of the inconsistencies between people's theoretical, revealed and stated preferences. These factors highlight the complexity of wayfinding in urban space.

Keywords: street network, walking, itinerary choice, pedestrian**,** representations, Space syntax, Isfahan, Tours

Sommaire

Remerciements 1

Résumé 3

Résumé en anglais 5

Sommaire 7

Liste des tableaux 10

Liste des figures 12

INTRODUCTION GÉNÉRALE 17

PREMIÈRE PARTIE - LE PIÉTON DANS L'ESPACE URBAIN : DES ÉLÉMENTS DE CONTEXTE À LA QUESTION DE RECHERCHE ET À L'HYPOTHÈSE 37

INTRODUCTION DE LA PREMIÈRE PARTIE 39

CHAPITRE I - L'orientation des piétons dans l'espace urbain à partir des représentations de l'espace 41

Introduction du chapitre I 41
1-1- L'orientation des piétons dans l'espace urbain 42
1-2- L'appréhension et connaissance de l'espace 48
1-3- La prise de décision du choix d'itinéraire 81
Conclusion du chapitre I 85

CHAPITRE II - Les facteurs intervenant dans le choix d'itinéraire 89

Introduction du chapitre II 89
2-1- Deux approches théoriques du choix d'itinéraire 90
2-2- La prise en compte de la distance dans le choix d'itinéraire 95
Conclusion du chapitre II 113

CHAPITRE III - La contribution de l'environnement construit au choix d'itinéraire 115

Introduction du chapitre III 115
3-1- Les besoins principaux et les attentes des piétons 116
3-2- Un environnement urbain adapté aux piétons 124
3-3- La marchabilité de l'environnement urbain 126
Conclusion du chapitre III 159

CONCLUSION DE LA PREMIÈRE PARTIE 163

DEUXIÈME PARTIE - MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE, CONSTITUTION DES DONNÉES THÉORIQUES ET EMPIRIQUES ET TERRAINS D'ÉTUDE 169

INTRODUCTION DE LA DEUXIÈME PARTIE 171

CHAPITRE IV - Modélisations du *wayfinding* et modélisations du réseau de voirie 173

Introduction du chapitre IV 173
4-1- La modélisation du processus d'orientation des piétons dans l'espace urbain 175
4-2- La modélisation du réseau voirie 191
4-3- La Syntaxe spatiale : la modélisation du réseau de voirie et l'orientation des piétons dans l'espace 200
Conclusion du chapitre IV 231

CHAPITRE V - Méthodes de constitution des données relatives aux déplacements pédestres 235

Introduction du chapitre V 235
5-1- Les différentes méthodes d'acquisition de données pour différents objectifs 236
5-2- L'utilisation des sources de données préalablement disponibles 237
5-3- Les enquêtes par entretiens et par questionnaires 240
5-4- Les comptages de personnes 248
5-5- L'enquête de suivi des individus 250
5-6- Les dispositifs de géolocalisation 252
5-7- Le choix de la méthode de recueil de données des éplacements à pied pour cette thèse : les capteurs GPS 260
Conclusion du chapitre V 263

CHAPITRE VI - Présentation des deux terrains d'étude 267

Introduction du chapitre VI 267
6-1- Le ville d'Ispahan 268
6-2- L'agglomération de Tours 289
Conclusion du chapitre VI 303

CHAPITRE VII - Constitution de la base de données théoriques et empiriques pour cette thèse 305

Introduction du chapitre VII 305
7-1- La constitution de la base de données théoriques : l'application de la Syntaxe spatiale 307
7-2- La proposition d'un périmètre d'étude tourangeau conforme aux déplacements empiriques collectés 320
7-3- La constitution de la base de données empiriques : utilisation des traceurs GPS 321
7-4- La constitution de la base de données empiriques : l'enquête qualitative 343
Conclusion du chapitre VII 345

CONCLUSION DE LA DEUXIÈME PARTIE 347

TROISIÈME PARTIE - ANALYSE DES DONNÉES ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS 353

INTRODUCTION DE LA TROISIÈME PARTIE 355

CHAPITRE VIII - Calcul des mesures syntaxiques de la configuration des réseaux et interprétation des résultats 359

Introduction du chapitre 359
8-1- L'identification des itinéraires théoriques sur le réseau de voirie 361
8-2- La faible intelligibilité de la configuration spatiale des terrains d'étude 406
Conclusion du chapitre VIII 411

CHAPITRE IX : Analyse des trajets enregistrés et interprétation des résultats 415

Introduction du chapitre 415
9-1- Évaluation des attributs géométriques des segments de rues empruntés 417
9-2- Évaluation du niveau d'importance fonctionnelle des tronçons de rues empruntés 428
9-3- Confrontation des données théoriques et empiriques : évaluation des attributs topologiques des segments de rue empruntés 439
9-4- Évaluation de la distance topologique des trajets 447
9-5- Analyse des discours : interprétation des préférences déclarées 453
Conclusion du chapitre IX 465

CONCLUSION DE LA TROISIÈME PARTIE 469

CONCLUSION GÉNÉRALE 475

Bibliographie 491

Table des matières 517

Liste des tableaux

Tableau 1. Différents termes utilisés à propos de l'orientation des individus dans l'espace, d'après la revue de la littérature 46

Tableau 2. Récapitulatif des différentes méthodes de modélisation du processus d'orientation des piétons dans l'espace, à partir de la synthèse de la revue de la littérature 190

Tableau 3. Récapitulatif des approches de modélisation du réseau de voirie urbain, d'après la revue de la littérature 199

Tableau 4. Récapitulatif des différentes méthodes de recueil de données des déplacements à pied, d'après notre synthèse de la revue de la littérature 237

Tableau 5. Synthèse des différentes méthodes de recueil de données de déplacement à pied, avantages et limites de chacune pour notre thèse, d'après notre synthèse de la revue de la littérature 265

Tableau 6. Synthèse des ressemblances et des différences entre nos deux terrains d'étude pouvant influencer le comportement et le cheminement des piétons dans ces deux villes.... 304

Tableau 7. Synthèse de différentes étapes de modélisation de la configuration du réseau de voirie de nos terrains d'étude 314

Tableau 8. Informations des déplacements pratiqués par les participants de l'enquête..... 328

Tableau 9. Valeurs d'intégration et profondeur spatiales globales (Rn) de la carte axiale d'Ispahan 363

Tableau 10. Valeurs d'intégration et profondeur spatiales intermédiaires (R_r) de la carte axiale d'**Ispahan** 376

Tableau 11. Valeurs d'intégration et profondeur spatiales locales (R_3) de la carte axiale d'**Ispahan** 379

Tableau 12. Valeurs d'intégration et profondeur spatiales globales (R_n) de la carte axiale de **Tours** 387

Tableau 13. Valeurs d'intégration et profondeur spatiales intermédiaires (R_r) de la carte axiale d'**Ispahan** 397

Tableau 14. Valeurs d'intégration et profondeur spatiales locales (R_3) de la carte axiale d'**Ispahan** 402

Tableau 15. Comparaison des structures spatiales d'Ispahan et de Tours 412

Tableau 16. Répartition des longueurs métriques des trajets effectués à Ispahan et à Tours 419

Tableau 17. Différence entre les longueurs des trajets effectués et celles simulées par l'algorithme de *Dijkstra* 425

Tableau 18. Part et longueur des différents niveaux d'importance des voies dans les réseaux de voirie d'Ispahan et de Tours 430

Tableau 19. Répartition de la moyenne générale du niveau d'importance des tronçons de rues empruntés à Ispahan et à Tours 431

Tableau 20. Moyenne générale du niveau d'importance des tronçons de rues empruntés pour tous les trajets effectués à Tours et à Ispahan 431

Tableau 21. Comparaison des mesures syntaxiques des tronçons de rues empruntés (itinéraires enregistrés) avec ceux du réseau de voirie d'**Ispahan** 442

Tableau 22. Comparaison des mesures syntaxiques des tronçons de rues empruntés (itinéraires enregistrés) avec ceux du réseau de voirie à **Tours** 444

Tableau 23. Comparaison des mesures syntaxiques des tronçons de rues empruntés (itinéraires enregistrés) à **Ispahan** et à **Tours** 444

Tableau 24. Comparaison des mesures syntaxiques des tronçons de rues empruntés (itinéraires enregistrés) avec ceux des quartiers traversés pendant les déplacements à pied à **Ispahan** .. 445

Tableau 25. Comparaison des taux de mesure syntaxique des tronçons de rues empruntés (itinéraires enregistrés) et ceux des quartiers traversés pendant le déplacement à pied à **Tours** 446

Tableau 26. Longueur topologique (le nombre de changements de direction) des trajets 450

Tableau 27. Confrontations de la longueur topologique des trajets pratiqués et des trajets théoriques (les chemins métriquement les plus courts simulés par l'algorithme de *Dijkstra*) 450

Tableau 28. Valeur moyenne de la longueur métrique et topologique des trajets pratiqués à Ispahan et à Tours 450

Tableau 29. Synthèse des résultats obtenus d'analyse des itinéraires pratiqués et de l'enquête des piétons 468

Liste des figures

Figure 1. Structure de la première partie 40

Figure 2. Processus de représentation de l'espace lors du déplacement 69

Figure 3. Conclusion schématique du chapitre 87

Figure 4. Les niveaux hiérarchiques de besoins fondamentaux humains à partir de théorie de Maslow (1954) 117

Figure 5. Hiérarchie des besoins de la mobilité pédestre 124

Figure 6. Synthèse de la première partie : cadre théorique de la thèse et approches théoriques du choix du trajet des piétons 167

Figure 7. Quatre formes principales de configuration du réseau de voirie modélisées en fonctions de différentes formes de tracé physique du réseau à l'échelle de la ville (échelle macro), à partir de Marshall (2005, p.94). 197

Figure 8. Combinaison de différentes formes de configuration du réseau de voirie modélisée en fonctions de différentes formes de tracé physique du réseau à l'échelle de la ville (macro) ainsi que du quartier (micro) 197

Figure 9. Exemple de graphe direct (2) et dual (3) à partir d'un plan (1) 202

Figure 10. Différents exemples de la configuration d'un bâtiment et les graphes duaux qui correspondent à la connectivité de ces espaces. 205

Figure 11. Différents exemples de la configuration des réseaux d'espaces d'un bâtiment et les graphes duaux qui leur correspondent 206

Figure 12. Exemple d'un réseau d'espaces intelligible 216

Figure 13. Exemple d'un réseau de voirie peu intelligible 216

Figure 14. Schéma du « Mouvement Naturel » 219

Figure 15. Exemple de plan d'îlots urbains d'un quartier imaginaire 219

Figure 16. Exemple d'une partie de plan d'un quartier imaginaire 220

Figure 17. Carte axiale associée aux espaces ouverts et au réseau de voirie du plan précèdent 220

Figure 18. Graphe configurationnel 221

Figure 19. Autre exemple de graphe configurationnel 221

Figure 20. Récapitulatif des méthodes de modélisation du comportement des piétons et du réseau de voirie 234

Figure 21. Périmètre et structure spatiale principale d'**Ispahan** entre 1050 et 1120 (l'empire Seldjoukides) 271

Figure 22. Périmètre et structure spatiale principale d'Ispahan en 1600-1720 (dynastie Safavides) 273

Figure 23. Structure générale des réseaux actuels de voirie d'**Ispahan** 275

Figure 24. Réseaux organiques et irréguliers de voies locales à l'intérieur des quartiers centraux d'**Ispahan** 277

Figure 25. Quartiers multifonctionnels centraux et historiques d'**Ispahan** 278

Figure 26. Réseaux organiques et irréguliers de voirie des quartiers périphériques de l'ouest d'**Ispahan** 279

Figure 27. Quartiers résidentiels sud d'**Ispahan** 281

Figure 28. Réseaux de voies principales et locales majoritairement rectangulaires et réguliers des quartiers périphériques du nord d'**Ispahan** 282

Figure 29. Quartiers résidentiels aménagés récents dans la partie Est d'**Ispahan** 283

Figure 30. Parts modales du nombre de déplacements quotidiens à **Ispahan** en 2019 287

Figure 31. Parts modales des modes de déplacements pour joindre les stations de métro d'**Ispahan** 287

Figure 32. Place Naghsh-e-Jahan (**Ispahan**) 288

Figure 33. Avenue Tcharbagh (**Ispahan**) 288

Figure 34. Les rues locales des quartiers centraux d'**Ispahan** 288

Figure 35. Les rues locales des quartiers récents du nord d'**Ispahan** 288

Figure 36. Périmètre de la Cité de **Tours** durant les différents périodes historiques, ainsi que sa localisation par rapport au réseau de voirie actuel. 291

Figure 37. Structure spatiale de **Tours**, partie nord de la Loire 293

Figure 38. Structure spatiale des quartiers centraux de la commune de **Tours** (au sud de la Loire) 294

Figure 39. Quartiers anciens et historiques de **Tours**-centre 295

Figure 40. Partie nord de la Loire : des tracés de rues irréguliers et complexes et des rues sinueuses desservant les quartiers monofonctionnels résidentiels 296

Figure 41. **Tours**-nord, au-delà de la Place de la Tranchée : les quartiers résidentiels pavillonnaires ont des tracés de rues réguliers et mixtes 297

Figure 42. Parts modales des déplacements quotidiens effectués dans le noyau urbain d'Indre-et-Loire, d'après l'enquête de mobilité de Touraine en 2019 300

Figure 43. Parts modales des déplacements selon le genre (en %) pour le noyau urbain d'Indre-et-Loire, d'après l'enquête de mobilité de Touraine en 2019 300

Figure 44. Les rues locales de **Tours**-centre 301

Figure 45. Les rues locales de **Tours**-centre 301

Figure 46. Rue Nationale (photo gauche), Place Plumereau (photo droite), **Tours** 301

Figure 47. Carte axiale d'**Ispahan** 309

Figure 48. Zoom sur la partie centrale de la carte axiale d'**Ispahan** 310

Figure 49. Carte axiale de **Tours** 311

Figure 50. Zoom sur de la partie centrale de la carte axiale de **Tours** 312

Figure 51. Résultat de l'analyse de la carte axiale de **Tours** à partir de la mesure d'intégration spatiale globale (R_n). 315

Figure 52. Résultat de l'analyse de la carte axiale d'**Ispahan** à partir de la mesure d'intégration spatiale globale (R_n)..... 317

Figure 53. Image d'un des traceurs GPS utilisés, modèle i-gotU 200e 322

Figure 54. Réglage automatique de l'appareil dans @trip PC 324

Figure 55. Configuration de l'intensité de l'enregistrement de l'appareil dans @trip PC..... 325

Figure 56. Localisation des lieux d'habitation des personnes enquêtées à **Ispahan** 329

Figure 57. Localisation spatiale des lieux d'habitation des personnes enquêtées à **Tours**.... 330

Figure 58. Exemple d'une représentation d'un itinéraire enregistré sur image satellite dans @trip PC..... 331

Figure 59. Exemple d'une représentation des informations associées à un itinéraire enregistré dans Sports Analyzer..... 332

Figure 60. Exemple pour les sautes des points et les données répétitives et aberrantes lorsque la personne est à l'intérieur d'un bâtiment 333

Figure 61. Exemple pour les sautes de points et l'imprécision des données..... 334

Figure 62. Répartition des points d'origine et de destination des déplacements pédestres enregistrés à **Ispahan** 337

Figure 63. Répartition des points d'origine et de destination des déplacements pédestres enregistrés à **Tours**..... 338

Figure 64. Répartition des itinéraires pédestres enregistrés sur le réseau de voirie d'**Ispahan** 341

Figure 65. Répartition des itinéraires pédestres enregistrés sur le réseau de voirie de **Tours**342

Figure 66. Cadre méthodologique de cette thèse 351

Figure 67. Déroulement de la troisième partie 357

Figure 68. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale globale (R_n) des lignes axiales du réseau de voirie d'**Ispahan** 369

Figure 69. Zoom sur le taux d'intégration spatiale globale (R_n) du réseau et l'occupation non résidentielle des sols dans la partie centrale d'**Ispahan**..... 370

Figure 70. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale globale (R_n) des quartiers d'**Ispahan**..... 371

Figure 71. Zoom sur le réseau de voirie des quartiers centraux d'**Ispahan** et moyennes R_n 372

Figure 72. Zoom sur le réseau de voirie des quartiers ouest d'**Ispahan** et moyennes R_n..... 373

Figure 73. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale intermédiaire ($R_r = R_9$) des lignes axiales du réseau de voirie d'**Ispahan** 377

Figure 74. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale intermédiaire ($R_r = R_9$) des quartiers d'**Ispahan**..... 378

Figure 75. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale locale (R_3) des lignes axiales du réseau de voirie d'**Ispahan** 382

Figure 76. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale locale (R_3) des quartiers d'**Ispahan** 383

Figure 77. Zoom sur la configuration du réseau de voirie des quartiers centraux d'**Ispahan** et moyennes R_3 384

Figure 78. Zoom sur le réseau de voirie des quartiers résidentiels récemment construits d'**Ispahan** et moyennes R_3 385

Figure 79. Aperçu général de la configuration du réseau de voirie d'**Ispahan** aux niveaux local, intermédiaire et global 386

Figure 80. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale globale (R_n) des lignes axiales du réseau de voirie de **Tours** 390

Figure 81. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale globale (R_n) des IRIS de **Tours** 391

Figure 82. Zoom sur le réseau de voirie des quartiers centraux de **Tours** et moyennes Rn .. 392

Figure 83. Zoom sur les taux d'intégration spatiale globale (R_n) du réseau et de l'occupation non résidentielle des sols dans la partie centrale de **Tours** 393

Figure 84. Zoom sur les taux d'intégration spatiale globale (R_n) du réseau et d'occupation non résidentielle des sols dans la partie nord de **Tours** 394

Figure 85. Zoom sur le réseau de voirie de la partie sud de **Tours** et moyenne R_n 396

Figure 86. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale intermédiaire ($R_r = R_{12}$) des lignes axiales du réseau de voirie de **Tours** 399

Figure 87. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale intermédiaire ($R_r = R_{12}$) des IRIS de **Tours** 400

Figure 88. Zoom sur le réseau de voirie des IRIS du nord de **Tours** et moyennes R_{12} 401

Figure 89. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale locale (R_3) des lignes axiales du réseau de voirie de **Tours** 404

Figure 90. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale locale (R_3) des IRIS de **Tours** .. 405

Figure 91. Aperçu général de la configuration du réseau de voirie de **Tours** aux niveaux local, intermédiaire et global 406

Figure 92. Diagramme de l'intelligibilité du réseau de voirie d'**Ispahan** 409

Figure 93. Diagramme de l'intelligibilité du réseau de voirie de **Tours** 410

Figure 94. Superposition des tracés des trajets pratiqués avec celles des trajets simulés (les plus courts chemins) à **Ispahan** 422

Figure 95. Comparaison de quelques trajets (5 trajets) effectués et simulés à **Ispahan** 423

Figure 96. Superposition des tracés des trajets pratiqués avec celles des trajets simulés (les plus courts chemins) à **Tours** 426

Figure 97. Comparaison de quelques trajets (6 trajets) effectués et simulés à **Tours** 427

Figure 98. Hiérarchisation du réseau de voirie d'**Ispahan** selon le niveau d'importance fonctionnelle des voies. 434

Figure 99. Hiérarchisation fonctionnelle du réseau de voirie de la partie centrale d'**Ispahan**, dans laquelle passe une grande part des trajets effectués passent 435

Figure 100. Tracés des trajets effectués par les participants ispahanais sur la carte de la hiérarchisation fonctionnelle du réseau de voirie 436

Figure 101. Hiérarchisation du réseau de voirie de **Tours** selon le niveau d'importance fonctionnelle des voies 437

Figure 102. Tracés des trajets effectués par les participants de **Tours** sur la carte de la hiérarchisation fonctionnelle du réseau de voirie 438

Figure 103. Comparaison des tracés de quelques (5) trajets réellement effectués et simulations (les chemins les plus courts disponibles) de leurs tracés sur le réseau de voirie à **Ispahan** .. 451

Figure 104. Comparaison des tracés de quelques (6) trajets réellement effectués et simulation (les chemins les plus courts disponibles) de leurs tracés sur le réseau de voirie à **Tours** 452

Figure 105. Synthèse des analyses effectuées dans la troisième partie de cette thèse, permettant de confronter les itinéraires effectués et théoriques (simulés) des piétons au réseau de voirie 473

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Ce travail de thèse, initié au laboratoire pluridisciplinaire CITERES (UMR CNRS 7324) de l'Université de Tours, s'inscrit dans la problématique générale de l'influence de l'environnement construit sur le comportement des humains et plus particulièrement sur celui des piétons. Dans ce travail, nous nous intéressons plus spécifiquement à l'influence de la structure spatiale sur le choix d'itinéraire des piétons.

La marche est le mode de déplacement premier de l'être humain. Les villes anciennes avaient une taille suffisamment restreinte et elles étaient multifonctionnelles. C'est pour cette raison que la marche y était considérée comme un mode de déplacement à part entière sans nécessité d'utiliser un autre mode de déplacement. « *La ville est pensée historiquement pour les piétons. La "métrique[1]" des villes, constituée du couplage entre échelle et accessibilité, est depuis toujours pensée sur les capacités des habitants à les parcourir à pied.* » (Lévy, 2012, p. 232). Pourtant, la révolution industrielle et le développement des modes de transports mécanisés au XIXème siècle puis au XXème ont modifié radicalement le rapport de l'être humain à l'espace et au temps. *« Depuis un demi-siècle, la métrique automobile a tendance à s'imposer, rendant peu à peu impossibles les déplacements à pied.* » (Lévy, 2012, p. 232). La forte croissance de la population, la tendance à vivre en ville ainsi que le développement des modes de transport mécanisés ont engendré l'étalement urbain, la baisse de densité d'occupation du sol et la division fonctionnelle de l'espace. L'étalement urbain et la baisse de densité d'occupation du sol ont provoqué, par conséquent, l'augmentation des distances des lieux de fréquentations des personnes, notamment lorsqu'il s'agit de la distance entre la résidence et le lieu de travail. Cette situation s'est accélérée dans les années 1950-1990 en raison de la croissance économique de l'industrie automobile. L'étalement des villes et l'augmentation des distances ont donc entraîné une diminution de l'efficacité de la marche relativement aux autre moyens de déplacements. La plupart des lieux urbains sont devenus hors de portée, ce qui a remis en cause la pratique de la marche (Lourdes et *al*., 2005). Ainsi, la marche à pied en tant que moyen de déplacement devient de plus en plus marginal, et ce au profit des modes de déplacement motorisés. De plus, les piétons sont désormais confrontés aux problèmes tels que l'insécurité routière, la pollution atmosphérique, les nuisances sonores, etc.

[1] Cet auteur définit une métrique comme une modalité (méthode) pour mesurer et gérer la distance à l'aide de facteurs comme la densité, l'accessibilité, la vitesse, et l'interactivité avec le milieu.

Un cercle vicieux se crée entre l'étalement urbain et la pratique des modes de déplacements motorisés. Ainsi, l'aménagement de l'espace urbain, notamment celui du réseau de voirie, se modifie en faveur des voitures. Comme le souligne Dupuy (1999), une sorte de « dépendance » à l'égard de l'automobile s'impose aux villes. Pour cet auteur, la dépendance automobile a une connotation négative. Ce terme désigne le recours systématique à l'automobile : l'usage de l'automobile est devenu une nécessité plus qu'un choix (Kaufman et Guidez, 1998). Il y a dépendance vis-à-vis d'un mode de déplacement quand l'usager ne peut utiliser un autre mode sans augmenter son temps de déplacement de porte à porte de plus d'une certaine durée (par exemple 10 minutes), dans des conditions de sécurité et de confort équivalentes (Fouillé, 2009). Cependant cette notion est apparue en France au début des années 1990 sous le terme du « tout automobile », « tout voiture » ou d'«automobilité ». En effet, selon Newman et Kenworthy (1989) la dépendance automobile se réfère à la faible densité des villes, ce qui provoque également une hausse de la consommation des énergies fossiles. Ainsi, pour ces auteurs, cette notion de dépendance automobile s'applique aux villes et non aux usagers (Heran, 2001). Partageant la même idée, Briey *et al*. (2006) supposent que la relation entre les pratiques de mobilité et l'aménagement de l'espace est une relation systémique. *A contrario*, pour Dupuy (2001), la dépendance automobile concerne les usagers qui veulent se déplacer et non plus les villes. Selon lui, cette notion trouve sa source dans le développement du « système automobile » et de ses différentes composantes : la production de masse, les services et équipements facilitant l'usage de l'automobile, etc. C'est la raison pour laquelle Dupuy (1999) pense qu'afin de réduire la dépendance à l'automobile, il faut réduire l'écart entre les avantages des automobilistes et des non-automobilistes, et qu'il faut surtout améliorer la situation des non-automobilistes en matière d'accessibilité.

Bien que la marche ait perdu, dans une grande majorité des villes, son rôle en tant que mode de déplacement à part entière, elle est toujours un élément essentiel du système de transport que nous ne pouvons donc pas nier. En effet, la marche fonctionne par le couplage (ou la correspondance) de différents modes de transport. Quel que soit le mode de déplacement (transports en commun, voiture particulière, ou vélo), la marche assure souvent l'accès aux stations de transport en commun, aux lieux de stationnement des voitures ou des vélos. Ainsi, faciliter la marche améliore également l'accessibilité des usagers des autres moyens de déplacements. De plus, une bonne partie des trajets quotidiens sont suffisamment

courts pour être effectués à pied ou à vélo : selon la nouvelle Enquête[1] Globale Transport, en 2018, les déplacements de moins de 3 kilomètres[2] représentent deux tiers (65 %) des déplacements quotidiens en Île-de-France. De plus, selon l'Enquête Mobilité Certifiée CEREMA[3] de 2019, ceci concerne environ la moitié (52 %) du total des déplacements quotidiens du département d'Indre-et-Loire[4]. Il convient donc de se questionner sur la pratique de la marche. C'est pourquoi nous proposons d'aborder, en premier lieu, les enjeux principaux de la marche comme mode de déplacement urbain.

Les enjeux socio-économiques et environnementaux de la marche

Nous pouvons considérer trois types d'avantages associés à la marche urbaine : les avantages **sociaux**, les avantages **économiques**, et les avantages **environnementaux**.

Sur le plan de la **santé** des individus la marche est un élément transversal qui révèle des enjeux économiques, sociaux et environnementaux. De précédents travaux ont déjà démontré l'intérêt de la pratique de la marche pour la santé physique des personnes (Ewing et Cervero, 2010 ; Frank et *al.*, 2009 ; Mobillion et Charreire, 2013). En effet, ces auteurs affirment que la marche et les activités physiques dans l'environnement construit contribuent à l'amélioration de la santé publique et peuvent diminuer le risque de certaines maladies chroniques comme les maladies cardio-vasculaires ou l'obésité, le diabète de type 2, etc. De plus, selon le PNNS[5], la marche entretient ou accroît la force, la souplesse, l'endurance et la densité osseuse ; elle réduit le risque de chute chez les personnes âgées ; elle améliore la santé mentale et l'humeur, soulage les symptômes de la dépression et de l'anxiété, favorise les aptitudes relationnelles et l'estime de soi, contribue à un poids optimal et réduit la graisse corporelle tout en accroissant la masse musculaire. Ainsi, selon ce programme, marcher régulièrement 30 minutes par jour est un facteur incontestable d'amélioration de la qualité de vie et d'augmentation de l'espérance de vie. La marche aide particulièrement à maintenir les performances physiques et cognitives des personnes âgées (Mobillion et Charreire, 2013)

[1] La nouvelle enquête globale transport. Présentation des premiers résultats 2018, EGT H2020-Île-de-France Mobilités-OMNIL-DRIEA/Résultats partiels, 2018

[2] Distance à vol d'oiseau.

[3] Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement.

[4] Les Enquêtes Mobilité Certifiées Cerema (EMC²) remplacent les Enquêtes Ménages Déplacements (EMD) mises en place par le Cerema : https://emc2-touraine-mobilites.scan-datamining.com/la-mobilite-en-indre-et-loire/indre-et-loire-mobilite-des-residents/indre-et-loire-les-distances-de?type=dall&id=all

[5] Le rapport du Programme National Nutrition Santé.

pour qui l'accès aux autres activités physiques est réduite. Toujours concernant le lien entre la marche et la santé publique, Kang (2015) découvre que le fait de vivre dans des quartiers plus favorables à la marche ou au vélo est bénéfique à leurs habitants. Ceux-ci marchent plus, ce qui a une incidence bénéfique sur le surpoids et l'obésité de ceux d'entre eux qui sont concernés par ces problématiques.

En plus des effets positifs de la marche sur la santé physique, marcher favorise également la détente, tout en améliorant la **santé mentale** des personnes (Litman, 2004). Le philosophe américain Thoreau (1862), dans son livre intitulé « De la marche » (*Walking*), considère la marche[1] comme un moyen indispensable à la lecture du lieu, ce qui introduit à la compréhension de soi : la marche permet que le marcheur plonge au plus profond de lui-même.

L'automobile est perçue et vécue comme un prolongement du domicile de l'individu, tout en menant à l'isolement de celui-ci par rapport à l'extérieur (Courel et Deguitre, 2020) : les interactions directes avec l'espace ainsi qu'avec d'autres personnes n'est pas possible. Nous pensons qu'inversement, pour le piéton, la marche peut être considérée comme une liberté physique et mentale par le fait qu'il n'est pas enfermé dans un véhicule (voiture, bus, train, etc.). Ainsi, il est actif et dynamique et en relation directe avec l'environnement qui l'entoure.

La marche n'est pas seulement un déplacement entre un point d'origine et une destination (Michaud, 2009). Elle permet des **interactions** multisensorielles directes avec les autres personnes et/ou avec l'espace qui sont bien supérieures à celles permises par d'autres modes de déplacement (Lévy, 2008 ; Amar et Michaud, 2009). Ainsi, elle favorise les rencontres non préorganisées et aléatoires, créant des liens sociaux faibles et éphémères avec les autres (Lévy, 2006). Le piéton configure et recompose, en marchant, l'espace dans lequel il chemine. Il est donc un acteur majeur de l'espace public, disposant d'un potentiel de conception et de production de l'espace urbain (Amar et Michaud, 2009 ; Lévy, 2012). Dès lors, le déplacement à pied entraîne un rapport particulier entre l'individu et l'espace, le temps, les autres personnes, et même en ce qui concerne le rapport à soi-même.

Lavadinho et Winkin (2012, p.232) précisent que « *la marche est la composante première de l'urbanité, elle contribue fortement à la qualité de la vie en ville et au maintien des sociabilités* ». La marche en tant qu'activité sociale et récréative contribue : à soutenir la qualité de vie ; à promouvoir la sociabilité en ville, les interactions sociales et le sentiment de

[1] Ce livre concerne la marche dans la nature.

sécurité ; au développement économique ; et à l'identité de l'espace public (Jacobs, 1961 ; Gehl, 1980; Lévy; 2004; Litman, 2004 ; Raulin et *al*., 2016), ce que ne permet pas l'automobile. Par exemple, les piétons, par leur simple présence dans l'espace urbain, peuvent prévenir le crime et assurer le sentiment de sécurité (Noriza et *al*., 2013).

Un des autres apports de la marche comme activité sociale qui entraîne des interactions sociales est la **vitalité commerciale** (Lavadinho et Winkin, 2012). En effet, les piétons sont de meilleurs clients pour le commerce de proximité, contrairement aux automobilistes qui font leurs achats dans les centres commerciaux périphériques (Murard, 2012). Effectivement, la voiture permet l'existence d'un commerce plus diffus et périphérique. À Grenoble, une enquête réalisée par la Fédération française des Usagers de la Bicyclette (FUB) indique que les piétons et les cyclistes fréquentent plus régulièrement les commerces du centre-ville ou les commerces de proximité (Deroux, 2016). Cependant nous pensons que la vitalité commerciale et la marche à pied ont des effets mutuels l'un sur l'autre : d'un côté, l'existence des commerces de proximité motive les personnes à marcher plus, d'un autre côté, la fréquentation des commerces de proximité par le piétons augmente leur attractivité.

La marche est aussi un enjeu **social et économique** dans la mesure où, selon le capital économique mais aussi le capital social et le capital culturel, elle peut apparaître comme un « luxe » ou une obligation. Ainsi, la marche est un luxe pour ceux qui en ont le temps, mais elle est une obligation pour ceux qui n'ont pas d'autres moyens de déplacement. Elle est un moyen de déplacement socialement plus équitable, car accessible à un plus grand nombre de personnes, quelles que soient leurs caractéristiques socio-économiques : niveau de revenu, âge, genre, etc. (Noriza et *al*., 2013 ; Raulin et *al*., 2016 ; Kang, 2015 ; Ewing et Cervero, 2010). De même, elle peut être considérée comme une activité de loisir sportif ou récréatif, une promenade ou bien une flânerie par les personnes pour qui la marche est un choix et non une obligation. De plus, la marche peut réduire la charge financière des déplacements sur le budget individuel (les frais de transport en commun, acheter ou louer une voiture), ainsi que sur le budget collectif (les coûts de l'investissement public pour la marche sont très faibles comparés à ceux pour les modes motorisés, tels que la construction des équipements dédiés aux voitures comme les parkings, les routes, etc.). Pourtant, comme le précise Lévy (2006), d'un point de vue économique, ce très faible coût est compensé par la lenteur de la marche, ce qui peut être considéré comme une perte de temps. Néanmoins, ceci dépend de l'organisation des villes et de facteurs comme la densité et la diversité des occupations des sols.

Contrairement à la voiture, la marche constitue le fondement d'une ville durable, aussi bien sur le plan de la réduction de la **consommation des énergies** fossiles, et donc des polluants liés aux moyens de déplacements motorisés, que sur la diminution de l'utilisation de l'espace. Ainsi, la marche permet de réduire les émissions de gaz polluants dans l'atmosphère et elle limite également la congestion routière (Ewing et Cervero, 2010). C'est pourquoi la marche devient intéressante aux yeux des politiciens, des aménageurs, des praticiens de santé, des opérateurs de transports et elle prend une place importante dans les réflexions et les aménagements de l'espace urbain (Lavadinho, 2011).

La marche dans les études urbaines

Malgré l'importance et les avantages considérables de la marche, pendant de longues années, le déplacement motorisé était au cœur de tous les domaines d'études urbaines. Ainsi, la prise en considération des piétons dans **l'ingénierie du trafic** a été tardive par rapport à celle des automobiles : à titre d'exemple, c'est à partir de 1994 que les piétons sont inclus dans le manuel de capacité des routes (The Highway Capacity Manual, HCM) (Zheng et *al*., 2016). L'ingénierie du trafic s'intéresse souvent à certains aspects spécifiques du comportement des piétons comme la vitesse et l'estimation du temps de déplacement, les modèles de mouvements des piétons, le comportement des piétons lorsqu'ils traversent une rue, les interactions entre véhicules et piétons, les choix d'itinéraire, etc. (Zheng et *al*. 2016). Ainsi, une grande majorité de ces recherches reposent sur une rationalité simplifiée des piétons, sans prendre en compte d'autres aspects, souvent plus subjectifs, de la marche ainsi que différents aspects du contexte de la marche comme l'environnement construit[1], les caractéristiques personnelles, socio-économiques ou culturelles des piétons, etc.

De plus, depuis l'augmentation des intérêts pour les problématiques environnementales et les impacts néfastes des moyens de transport motorisés (tels que la qualité de l'air, la pollution sonore, mais aussi les accidents et l'insécurité routière) **les chercheurs, les planificateurs et les concepteurs urbains** s'intéressent au développement de la mobilité durable. Ainsi, depuis 2000, partout dans le monde, la réduction de l'utilisation de la voiture fait l'objet de très nombreuses recherches. En 2000, la première conférence internationale sur la marche, appelée Walk21, a eu lieu à Londres. Depuis cet évènement, dans la plupart des

[1] Par « environnement construit », nous entendons tous les éléments physiques et matériels de l'espace perçu et vécu à travers le bâti, l'occupation des sols, le réseau de voirie et les activités, aussi bien à l'échelle de la ville qu'à l'échelle du quartier ou de la rue (Courel et Deguitre, 2020).

grandes villes occidentales, le retour de la marche s'impose aux études urbaines permettant de renforcer les liens entre l'urbanisme et le transport urbain. C'est ainsi que depuis 2000, en France, certaines mesures, soutenant les alternatives à l'usage de la voiture particulière, plus particulièrement la marche à pied et le vélo, sont prises par l'État. Pour ne donner que deux exemples : (a) le programme national « une voirie pour tous » (en 2006)[1]; (b) ou encore, le Plan d'Actions pour les Mobilités Actives (PAMA)[2] en 2014, témoignent de l'intérêt croissant du pouvoir politique pour le développement de la mobilité durable[3].

La marche à pied prend donc une place particulière dans les problématiques des transports urbains. Newman et Kenworthy (1989) démontrent l'influence de la forme urbaine sur le déplacement pédestre. Ils soulignent que la densité élevée de l'occupation des sols contribue à favoriser la pratique de la marche. Bon nombre d'autres études montrent aussi que les caractéristiques de la forme urbaine et la pratique de la marche à pied sont fortement associées : Cervero et Kockelman (1997), Ewing et Cervero (2001) et Cervero *et al*. (2009) confirment qu'en plus de la **densité** (de la population, de l'emploi ou de l'occupation des sols), les facteurs comme la **diversité** (de l'usage du sol) et le **design** de l'environnement construit (la forme du réseau viaire, la densité des rues, la forme des intersections, etc.) sont associés à la pratique de la marche. Ils affirment qu'une densité et une diversité élevée de l'usage du sol peuvent diminuer des distances à parcourir, et par conséquent augmenter la pratique de la marche.

Les travaux de Ewing et Cervero (2001), Cervero et Duncan (2003), Cervero et *al*. (2009) et d'Ewing et *al*. (2009) ajoutent d'autres facteurs fonctionnels tels que : l'accessibilité et la proximité aux services de base et aux transports en commun, la gestion de l'offre et de la demande des déplacements motorisés (par exemple le management de l'offre et du coût de stationnement, la limitation de l'usage de la voiture, les taxations, etc.). Selon ces auteurs, ces facteurs peuvent aussi favoriser la marche.

En ce qui concerne le design de l'environnement construit, Lynch (1960), Bailly (1977), Weisman (1981), Passini (1984), Ewing et Handy (2009) et Ewing et Clemente (2013)

[1] Il vise à diminuer la circulation et le stationnement de la voiture dans l'espace public afin d'assurer un meilleur confort aux piétons et aux cyclistes.

[2] Il est lancé par le Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie dans le but de mettre en avant la pratique de la marche à pied et celle du vélo dans les politiques publiques.

[3] La mobilité durable renvoie à des moyens de transports non polluants sur le plan environnemental, préservant la santé publique, réduisant les inégalités sociales d'accès aux services et encourageant la mixité sociale et culturelle.

soulignent l'importance des aspects subjectifs de la forme urbaine sur le déplacement à pied. Les facteurs subjectifs correspondent à certaines qualités esthétiques de la forme urbaine. Ces auteurs défendent l'idée que ces qualités améliorent l'identification des éléments physiques et structurels de l'environnement urbain, et peuvent donc faciliter les représentations mentales de l'espace urbain par les piétons. Plus précisément, ces caractéristiques subjectives concernent notamment la forme, le volume, la taille et la couleur, etc., des façades et des monuments architecturaux. Pourtant, les travaux de Piombini (2006, 2007, 2013), Piombini et Foltête (2007), Foltête (2007, 2008), Zekri (2010), Rahmani et Naceur (2013) vont plus loin : ils se focalisent très finement sur l'aspect esthétique et subjectif du design de l'environnement construit et sur son lien avec le comportement des piétons et leurs choix d'itinéraire. Par exemple, Rahmani et Naceur (2013) ont évalué l'influence du paysage perçu et l'ambiance de la rue sur les modalités sensorielles des individus et sur leurs choix d'itinéraire, ainsi que sur l'intensité du trafic pédestre dans différentes rues du centre-ville de Sétif (ville moyenne de l'Est algérien). Quant à Piombini (2007, 2006, 2013), il a montré le rôle des éléments de paysage de l'environnement urbain (le bâti, la végétation, les espaces vides, etc.) sur le choix d'itinéraires des piétons à Besançon et à Lille.

Toujours dans le cadre de ces recherches, Ewing (2013), Duany et Plater-Zyberk (2000), Crane (2000), Genre-Grandpierre (2001), Stead et Marshall (2001), Torres (2012), Chiaradia (2013) et Rejeb-Bouzgarrou (2019) se concentrent sur l'aspect morphologique et sur le design de l'environnement construit. Ils cherchent le lien entre le déplacement à pied et la morphologie urbaine. À partir de certaines mesures qualitatives et/ou quantitatives, ils montrent que la morphologie peut favoriser la pratique de la marche. Leurs recherches s'intéressent plus particulièrement aux éléments morphologiques suivants : (a) le modèle du tracé urbain (de forme orthogonale, organique, quadrillé, etc.) ; (b) la connectivité du réseau de voirie (la forme des intersections et la densité d'intersections sur une superficie donnée), et la taille des îlots urbains. Genre-Grandpierre (2001), Crane (2000), Stead et Marshall (2001), Frank et *al.* (2009), Koohsari et *al.* (2014, 2016) et Raulin et *al.* (2016) précisent qu'un ensemble complexe de facteurs tels que la densité, la morphologie et la topologie du réseau de voirie déterminent la qualité d'accessibilité à partir de chaque point du réseau et que ces facteurs peuvent amener à allonger ou bien raccourcir la longueur métrique des trajets. En plus de ces aspects fonctionnels, les caractéristiques morphologiques du réseau peuvent revêtir des aspects esthétiques et contribuer ainsi à la lisibilité de la structure de l'espace en le rendant plus lisible ou moins compréhensible (plus complexe) (Lynch, 1960 ; Weisman,

1981). Ces effets peuvent, par conséquent, affecter le déplacement à pied, plus précisément l'intensité de la pratique de la marche dans les milieux urbains, et influencer également les choix d'itinéraire des piétons.

Enfin, concernant le design de l'environnement construit, certains travaux de recherche (Hillier et *al*., 1993 ; Hillier et Hanson, 1984 ; Hillier et Vaughan, 2007 ; Genre-Grandpierre et Foltête, 2003 ; Hillier et *al*., 2000 ; Hillier et Iida, 2005 ; Vaughan, 2005 ; Foltête, 2007 ; Genre-Grandpierre et *al*., 2008 ; Baran et *al*., 2008 ; Lagesse et *al*., 2012) insistent sur l'aspect structurel de ce facteur. Ces recherches abordent la problématique de l'influence de la structure spatiale sur le déplacement à pied, plus précisément sur le comportement des piétons dans l'espace urbain. Ces travaux confirment que la configuration spatiale influence le mouvement des flux de piétons sur le réseau de voirie. Ils montrent que la fréquence d'utilisation d'un tronçon de rue par les flux de piétons est liée à la configuration de l'ensemble du réseau de voirie, aux aspects topologiques du réseau, ainsi qu'à des facteurs cognitifs du côté des individus (leurs représentations). Selon Hillier et *al*. (1993), Hillier et Hanson (1984) et Hillier (1996), la manière dont les rues sont interconnectées influence la perception des personnes au moment du déplacement pédestre, et les flux de piétons ont tendance à emprunter les segments de rues qui sont mieux reliés au reste du réseau de voirie. Ils s'appuient sur les caractéristiques topologiques du réseau afin d'évaluer le degré d'interconnexion entre les rues, en appliquant une série de mesures quantitatives. En effet, l'importance de la structure spatiale pour les déplacements à pied renvoie surtout au fait qu'elle relie les points d'origine et de destination des déplacements et donc quelle détermine les segments de rues à parcourir.

Cependant, nous considérons que parmi les études qui se concentrent sur le lien entre l'environnement construit et le déplacement à pied (évoqué plus haut), peu d'attention est accordée à la relation entre la structure du réseau de voirie et le comportement des piétons, plus particulièrement au choix d'itinéraire des piétons. En effet, soit cette thématique n'est pas suffisamment étudiée, soit une très grande majorité de ces études (Ewing et Cervero, 2001 ; Cervero et Duncan, 2003 ; Cervero et *al*., 2009 ; Frank *et al.*, 2009) se concentrent sur la pratique de la marche et sur le partage modal entre la marche et les modes de déplacement. Certaines abordent le choix d'itinéraires des piétons, mais :

- en l'étudiant de manière agrégée, c'est-à-dire pour les groupes de piétons (flux des piétons) et non pas par rapport à chaque piéton (Hillier, 1996; Hillier et Hanson, 1984 ; Raford et Ragland, 2006 ; Piombini, 2006, 2007, 2013 ; Foltête,

2007 ; Piombini et Foltête, 2007 ; Zekri, 2010 ; Rahmani et Naceur, 2013; Koohsari et *al*., 2014, 2016 ; Lerman et *al*., 2014 ; Lerman et Omer, 2016 ; Guo, 2017) ;

- en l'étudiant uniquement dans le but de décrypter le processus mental de l'orientation et du choix de trajet des piétons dans l'espace urbain (Lynch, 1960 ; Passini, 1984 ; Darken et *al*. 1999 ; Darken et Peterson, 2001 ; Montello et Sas, 2006 ; Montello, 2007 ; Wiener et *al*., 2009 ; Brunet, 2014 ; Lakehal et *al*., 2018 ; Dalton et *al*., 2019). Ces études cherchent à appréhender la série de recueils d'information, les prises de décisions et l'exécution de ces décisions qui conduisent le piéton à emprunter un chemin ;

- en le limitant à un périmètre d'étude restreint (à une surface comme un hôpital, un aéroport, une université, etc., un quartier, ou bien à un nombre restreint de trajets) ; ou à des origines-destinations prédéterminées et restreintes (au niveau de la quantité et de la diversité des motivations des déplacements) (Bailly, 1977 ; Golledge, 1995 ; Hölscher *et al.,* 2011 ; Habib et Hanaei, 2017) ;

- en le limitant à la qualité de l'aménagement urbain ou aux aspects esthétiques et subjectifs des trajets (Jacobs, 1961 ; Gehl, 1980, 2010 ; Duany et Plater-Zyberk, 2000 ; Ewing et *al*., 2005 ; Park et Schofer, 2006 ; Ewing et Handy, 2009 ; Ewing et Clemente, 2013 ; Noriza et *al*., 2013 ; Singh, 2016 ; Courel et Deguitre, 2020) ;

- en le limitant aux groupes de personnes spécifiques (les enfants ou les personnes âgées, les femmes/les hommes) (Depeau, 2005 ; Chaudet, 2009 ; Raja Ariffin et Khairi Zahari, 2013 ; Pagnac-Baudry, 2015 ; Vaez et *al*., 2016 ; Habib et Hanaei, 2017 ; Moura et *al*., 2017 ; Godillon et Cloutier, 2018) ;

- en se concentrant sur les attentes et sur les exigences des piétons à propos des qualités environnementales des trajets (Mateo-Babiano et Leda, 2007 ; Methorst, 2007; Basbas et *al*., 2010 b ; Dell 'Asin, 2010 ; Victor, 2016 ; Bivina et Parida, 2020).

De plus, ces études s'étendent, pour une grande majorité d'entre elles, sur un seul terrain d'étude ou bien sur des terrains d'étude très similaires et équivalents en matière de spécificités socio-économiques, culturelles et d'organisation du système de transport, par exemple, l'étude de plusieurs quartiers d'une même ville, ou de deux villes d'un même pays. C'est pourquoi

nous proposons d'étudier le choix d'itinéraire des piétons au niveau individuel, dans deux contextes socio-économiques différents, sur une superficie suffisamment étendue et recouvrant des motifs de déplacement divers afin de pouvoir évaluer le lien entre les comportements des piétons et la structure du réseau de voirie.

Les objectifs, les questions et les hypothèses de recherche

Ainsi, l'**objectif** principal de cette thèse consiste à évaluer l'influence de la structure du réseau de voirie sur le comportement individuel des piétons, plus précisément sur leurs choix d'itinéraire. De plus, afin de mieux appréhender le comportement des personnes, nous souhaitons saisir le processus mental du choix d'itinéraire des piétons. Enfin, dans le but de révéler l'implication des personnes, cette thèse a comme troisième objectif de comprendre la contribution des représentations que les individus ont du réseau de voirie sur leur choix de trajet.

Les questions de recherche

- Comment et dans quelle mesure la structure du réseau de voirie contribue-t-elle à influencer le choix de trajet des piétons ?
- Sur quel(s) critère(s) repose le choix d'itinéraire des piétons ?
- Comment les représentations mentales de l'environnement de la marche interviennent-elles lors du choix de trajet des piétons ?

De ces questions découle le jeu d'hypothèses suivant

- Premièrement, nous posons l'hypothèse que la structure du réseau de voirie, plus précisément ses attributs géométriques, topologiques et fonctionnels, génère des rôles fonctionnels et structurels variés pour chacun des segments de rues, ce qui, par conséquent, encourage les piétons à emprunter un itinéraire particulier.
- Deuxièmement, le choix d'itinéraire suit un processus mental complexe reposant sur un ensemble de critères objectifs et subjectifs, influençant de manière consciente ou inconsciente l'établissement de préférences pour le choix d'un trajet parmi un ensemble d'alternatives potentielles.

- Troisièmement, la manière dont les piétons perçoivent et se représentent l'environnement de la marche influence leurs évaluations concernant les trajets potentiels, ce qui les amènent à effectuer un trajet spécifique plutôt qu'un autre.

À partir de ces hypothèses et d'un positionnement analytique, nous développons les approches théoriques et méthodologiques de cette thèse.

Les cas d'étude

Nos terrains sont les villes d'Ispahan (Iran) et de Tours (France). Nous les avons choisies parce que nous avons une connaissance préalable de ces deux terrains. Ceci nous permet d'accéder facilement aux données disponibles sur le terrain telles que le réseau de voirie, les informations sur le fonctionnement du système de transport, certaines spécificités socioculturelles, etc. De plus, en cas de nécessité, notre connaissance des terrains favorise la constitution de nouvelles données, notamment en ce qui concerne les déplacements pédestres pratiqués par les personnes.

Précisons que notre objectif est plutôt de tester la validité de nos hypothèses de recherche sur ces deux cas d'études différents. En effet, nous ne cherchons pas à faire une comparaison au sens strict entre Ispahan et Tours, car ces deux villes sont fondamentalement différentes du point de vue socioculturel, économique, du fonctionnement de leur système de transport, de la taille, du nombre d'habitants, etc. Il existe néanmoins des ressemblances importantes entre ces deux villes concernant les caractéristiques de la structure spatiale, notamment : l'évolution historique de la structure spatiale, les tracés du réseau de voirie, la morphologie de la plupart des quartiers (notamment les quartiers du centre-ville et les quartiers résidentiels périphériques), l'orientation des axes principaux, la coupure par le passage est-ouest d'un cours d'eau important, etc.

Nous sommes consciente qu'en choisissant deux terrains d'études aussi différents, nous serons confrontées à l'augmentation de notre quantité de travail, notamment en ce qui concerne le recueil et l'analyse des données. Cependant, nous pensons que les ressemblances et les différences de ces deux terrains peuvent enrichir notre travail, dans le sens où elles nous permettent d'évaluer le poids de différents paramètres du contexte sur le comportement des déplacements des piétons. Ainsi, nous pourrons comparer l'influence des facteurs socio-économiques et des spécificités des systèmes de transport de chacun avec l'influence de la structure du réseau de voirie sur le choix du trajet à pied des personnes.

Choix d'approche théorique

Dans le but de contribuer à la connaissance des pratiques spatiales des piétons en lien avec le réseau de voirie, nous adoptons une approche théorique adaptée visant à comprendre le comportement des personnes lorsqu'elles sont confrontées au choix d'un trajet. À ce sujet, nous avons distingué deux approches théoriques principales permettant d'analyser le comportement des piétons lors du choix d'un itinéraire. Il s'agit de l'approche du choix rationnel et de l'approche du choix cognitif.

L'approche du choix rationnel repose sur une approche issue de l'économie. Elle suppose que l'individu est complètement objectif et qu'il cherche à choisir le trajet le plus satisfaisant afin d'atteindre son but (sa destination ; Piombini et *al*., 2012). Ainsi, selon cette approche, l'individu essaye de maximiser l'utilité de son trajet par minimisation de la longueur, du temps de son trajet ou bien de l'énergie (physique et mentale) à dépenser (Genre-Grandpierre et Foltête, 2003 ; Foltête, 2007 ; Piombini, 2007; Foltête et Piombini, 2010).

Les avantages principaux de cette approche correspondent à sa capacité à prédire le trajet théorique pour chaque paire d'origine-destination de chaque piéton, en lien avec les attributs géométriques du réseau de voirie, et à partir de méthodes quantitatives.

Cependant, même si nous acceptons que la distance soit le critère de choix d'itinéraire le plus important pour les personnes, il faut néanmoins prendre en considération que la distance (métrique ou bien temporelle) peut être sur-évaluée ou sous-évaluée par le piéton. Or, l'approche rationnelle ne prend pas en considération la subjectivité des personnes et leurs spécificités individuelles ou sociales, ni les effets de contexte ou de circonstance du déplacement. En effet, l'approche rationnelle considère l'environnement comme une source d'influence qui détermine le comportement des personnes sans prendre en compte leurs caractéristiques individuelles et sociales (Victor, 2016 ; Dias, 2016). De plus, cette approche ne prend pas en considération l'ensemble d'autres facteurs liés à l'environnement et pouvant intervenir dans le processus de choix du trajet des piétons. Ainsi, la complexité des facteurs pouvant contribuer au choix de trajet d'un piéton met en cause la pure rationalité physique et métrique des piétons. C'est pourquoi, afin de combler ces limites, il nous semble nécessaire de nous appuyer sur une approche théorique complémentaire.

L'approche du choix cognitif repose sur une approche relevant de la psychologie. Elle s'intéresse aux représentations des individus et ainsi à l'indétermination relative de leurs

préférences (Brisbois, 2010). Cette approche permet donc de prendre en considération un ensemble complexe d'éléments cognitifs individuels et variés qui influence l'émergence des préférences et le processus de choix de l'individu. Elle a l'avantage de mettre en évidence la richesse et la complexité des processus de décision, ce qui rend néanmoins la prédiction des comportements plus difficile. De cette façon, les spécificités individuelles ou sociales tout comme la capacité de l'individu à traiter et à interpréter les informations et ses connaissances antérieures influencent consciemment ou inconsciemment son choix (Thisse et Billot, 1995 ; Piombini, 2006 ; Hölscher et *al.*, 2011 ; Grison, 2015 ; Victor, 2016 ; Dias, 2016). Dès lors, ces facteurs peuvent être différents d'une personne à l'autre et ils peuvent être évolutifs pour un individu donné selon son état d'esprit et le contexte du déplacement (Thisse et Billot, 1995).

Ainsi, à partir de cette approche, il est possible de tenir compte de l'aspect fonctionnel de l'environnement urbain (l'occupation des sols, le réseau de voirie, etc.) ainsi que de l'aspect esthétique du trajet (qualités paysagères) (Piombini, 2006, 2013 ; Piombini et Foltête, 2007 ; Victor, 2016). Cette approche confirme donc que le choix du trajet s'effectue dans un échange dynamique entre le piéton et l'environnement de la marche. Ceci est en accord avec l'approche **interactionnelle,** selon laquelle il existe un système d'interrelations dialectiques et permanentes entre l'individu et milieu, qui ne peut pas être réduit ni aux caractéristiques de l'un, ni à celles de l'autre (Paulet, 2002 ; Dias, 2016 ; Victor, 2016). Cette approche repose sur le postulat que la relation individu-milieu est le résultat du croisement des caractéristiques à la fois du milieu et de celles de l'individu (Dias, 2016 ; Victor, 2016). Ainsi, l'environnement est considéré comme une construction liée aux représentations individuelles ou sociales et non pas comme une réalité absolue. Ceci renvoie, selon nous, à la conception de Bailly (1977), Di Méo (1990), Moscovici (1976, 2003) et Abric (1989), selon laquelle le rapport de l'individu à l'environnement se construit toujours à travers ses représentations de l'espace. Il n'est donc question de nier ni l'influence de l'environnement urbain sur le choix de l'individu, ni celle de la subjectivité des personnes et de leurs représentations de l'espace urbain, pas plus que celle des spécificités individuelles et/ou sociales des piétons.

Pourtant, le choix d'itinéraires des piétons n'est ni complètement rationnel, ni complètement aléatoire (Piombini, 2006). Nous considérons que les piétons planifient consciemment ou inconsciemment leurs itinéraires parmi différentes alternatives, en fonction du croisement d'un ensemble complexe de critères objectifs et subjectifs qui reposent sur :

(a) les spécificités individuelles (les caractéristiques socio-économiques, physiques et psychologiques) influençant le vécu des individus et leurs attentes vis-vis à de l'environnement de la marche ;

(b) les capacités des individus à saisir et à interpréter des informations de l'espace ;

(c) les spécificités fonctionnelles, morphologiques, structurelles et esthétiques de l'environnement dans lequel évolue le piéton, ainsi que le contexte du déplacement ;

(d) la quantité et la qualité d'informations provenant de l'espace.

Dès lors, la complexité de la nature de la relation piéton-environnement a guidé le choix de l'approche théorique pour cette thèse. Notre approche théorique est donc mixte. Elle est à la fois **rationnelle** (puisqu'elle prend en compte l'intérêt de l'individu à optimiser le temps de déplacement et l'énergie physique) et **cognitive** et **interactionnelle** (puisqu'elle permet d'envisager la relation piéton - environnement). Cette combinaison permet de prendre en compte d'un côté, l'influence des représentations des personnes, et de l'autre côté, l'influence d'un ensemble de caractéristiques variées des réseaux de voirie dans l'orientation des piétons dans l'espace urbain. Cette approche mixte permet aussi de prendre en compte les spécificités socio-économiques de nos terrains d'études.

C'est pour cette raison que dans cette thèse, pour analyser le comportement des piétons et leurs choix d'itinéraire effectués, nous mettons, dans un premier temps, l'accent sur la distance (métrique et topologique) comme l'un des facteurs principaux du choix du trajet des piétons. Dans un second temps, nous nous concentrons sur l'analyse des trajets effectués des personnes selon différentes caractéristiques fonctionnelles et structurelles du réseau de voirie, ainsi que selon les représentations des piétons de l'environnement de la marche.

Choix de méthodes de résolution de problème

Dans le but d'analyser le comportement des piétons dans l'espace urbain, plus précisément d'analyser leurs choix d'itinéraire, nous employons une méthode qui est en adéquation avec notre objectif de recherche et qui permettent de répondre à nos questions de recherche. De plus, puisque que nous avons adopté une approche théorique mixte considérant à la fois l'aspect rationnel et cognitif du choix en rapport aux spécificités des individus et de l'environnement, nous appliquons une méthode permettant :

- d’analyser les déplacements à pied des personnes dans un périmètre large (à l’échelle d’une ville), ne se limitant pas à des origines-destinations restreintes (au niveau de la quantité et de la diversité de motivations des déplacements) ;
- d’analyser la nature et l’importance de la relation entre différents aspects fonctionnels et structurels du réseau de voirie, et le choix d’itinéraire des piétons ;
- de simuler les comportements des piétons au niveau désagrégé (chaque piéton de manière individuelle) et non pas ceux des flux de piétons (de manière agrégée) ;
- d’accéder aux pratiques spatiales des piétons avec suffisamment de précision, afin de saisir les trajets réellement effectués (les données empiriques des déplacements pédestres) ;
- d’accéder aux représentations des piétons concernant leur environnement de marche ;
- d’analyser les trajets réellement effectués par les piétons selon les caractéristiques du réseau de voirie, afin d’appréhender leurs critères objectifs et subjectifs de choix de trajet.

Ainsi, notre travail de thèse s’inscrit dans une approche méthodologique mixte que nous présentons par la suite.

Dans un premier temps, nous appliquons une approche **quantitative** permettant d’analyser la configuration du réseau de voirie, de simuler les trajets théoriques des piétons et d’analyser les trajets réellement pratiqués des piétons. Cette approche permet de déterminer les préférences théoriques et révélées des piétons en matière de choix de trajet, ainsi que d’évaluer les caractéristiques du réseau de voirie qui contribuent au choix de trajet des piétons. Précisons à propos de notre approche quantitative que nous employons un ensemble de méthodes quantitatives et techniques (comme la Syntaxe spatiale et l’algorithme de *Dijkstra*, les traceurs GPS), et des logiciels (tels qu’AutoCAD, ArcGIS, Depthmap, SPSS, etc.).

Dans un deuxième temps, nous appliquons une approche **qualitative** reposant sur des méthodes d’enquêtes *a posteriori* qui conduisent les personnes à verbaliser leurs choix. Ceci

nous permet d'appréhender les représentations qui motivent les piétons à pratiquer un trajet plutôt qu'un autre. L'ensemble de ces méthodes nous permet de connaître les **préférences théoriques**, **révélées** et **déclarées** de chaque piéton selon les caractéristiques du réseau de voirie, les spécificités individuelles des piétons ainsi que les spécificités du contexte de déplacement (le terrain d'étude). Précisons que nous mettons plutôt l'accent sur l'approche méthodologique quantitative. En effet, nous appliquons l'approche méthodologique qualitative en tant que méthode complémentaire.

Ainsi, les particularités de cette thèse reposent sur la mobilisation d'approches méthodologiques à la fois quantitative et qualitative permettant de : (a) modéliser et analyser la structure du réseau de voirie ; simuler les comportements théoriques des personnes ; (b) accéder aux comportements réels des piétons avec un maximum de précision possible, ainsi qu'à leurs représentations de l'espace urbain ; (c) confronter les trajets pratiqués de chaque piéton avec les attributs géométriques, topologiques, fonctionnels et structurels du réseau de voirie ; (d) étudier à la fois la rationalité et la subjectivité des personnes ; (e) et enfin, appréhender les préférences théoriques, révélées et déclarées de chaque piéton selon leurs critères objectifs et subjectifs.

Plan de la thèse

Ce travail de recherche se déploie en trois parties totalisant neuf chapitres.

La première partie propose une revue de la littérature consacrée à la relation des piétons à l'espace urbain. Cette partie composée de trois chapitres nous conduit à préciser notre problématique et l'hypothèse de recherche. Dans cette partie, nous abordons la **notion** de *wayfinding*. Ensuite, afin d'avoir une meilleure compréhension du rapport entre le piéton et l'espace urbain pendant le *wayfinding,* nous nous attardons sur les notions d'« espace », de « représentation », de « perception », de « distance », et de « marchabilité ».

Tout d'abord, nous présentons dans le **chapitre I** les différentes étapes du processus d'orientation des piétons dans l'espace urbain conduisant à prendre la décision de choisir un itinéraire. Nous décrivons également le processus menant à la construction des représentations de l'espace urbain lors du déplacement, ainsi qu'aux principaux facteurs contribuant à influencer ce processus. Ensuite, dans le **chapitre II**, nous présentons les principales approches théoriques qui mènent à une compréhension des modalités de choix de trajet des piétons. Ceci permet de nous positionner par rapport à ces approches. Le **chapitre III** précise

comment l'environnement construit et sa marchabilité influencent la construction du trajet des piétons.

La deuxième partie est constituée de quatre chapitres. Elle aborde la question de la constitution de bases de données théoriques et empiriques des déplacements pédestres. Elle nous permet de choisir la méthode la plus adaptée à notre objectif de recherche.

Nous commençons cette partie par le **chapitre IV**, en présentant les différentes techniques et méthodes de modélisation microscopique et macroscopique permettant de constituer une base de données théoriques. Ces techniques et méthodes visent à simuler le comportement des piétons ainsi qu'à modéliser le réseau de voirie. À la fin de ce chapitre, nous développons la méthode choisie pour cette thèse. Ensuite, le **chapitre V** présente différentes méthodes de collecte de données réelles des déplacements à pied (constitution d'une base de données empiriques). Nous abordons les avantages et les limites de chacune de ces méthodes par rapport à notre objectif de recherche afin de choisir celle qui nous semble la plus adéquate. Dans le **chapitre VI**, nous faisons connaissance de la structure spatiale de nos deux terrains d'étude que sont la ville d'Ispahan (Iran) et la ville de Tours et ses communes voisines (France). Ainsi, nous pouvons identifier les ressemblances et les différences pouvant influencer le comportement des piétons. Enfin, le **chapitre VII** précise le déroulement de la mise en œuvre de nos méthodes de constitution de base de données théoriques et empiriques sur nos terrains d'étude. Ces méthodes correspondent à la modélisation de la configuration du réseau de voirie via la Syntaxe spatiale ; à l'enregistrement des trajets réellement pratiqués des piétons par des traceurs GPS ; à la simulation microscopique (en appliquant l'algorithme de *Dijkstra*) et macroscopique (à partir de la Syntaxe spatiale) des trajets théoriques des piétons ; et aux enquêtes qualitatives *a posteriori* des déplacements.

La **dernière partie** comporte deux chapitres. Elle contient les analyses quantitatives et qualitatives des données théoriques et empiriques constituées, ainsi que les résultats de notre recherche.

Le **chapitre VIII** porte sur les interprétations qui découlent de l'analyse quantitative des mesures topologiques de la structure spatiale du réseau de voirie de nos terrains d'études. Ceci permet de prédire les segments de rue et les quartiers ayant le plus de potentiel pour être fréquentés par les piétons. Enfin, dans le **chapitre IX**, nous confrontons nos données théoriques et empiriques. Nous évaluons d'abord la rationalité des personnes concernant les itinéraires réellement effectués. Ensuite, nous analysons les trajets pratiqués en rapport à

certains attributs géométriques, topologiques et fonctionnels des segments de rues empruntés. Ainsi, nous identifions les préférences révélées des piétons en matière de critères de choix d'itinéraire en lien avec la structure du réseau de voirie. Enfin, nous nous appuyons sur notre enquête qualitative afin d'identifier les préférences déclarées des piétons, ainsi que leurs représentations de leurs trajets.

PREMIÈRE PARTIE - LE PIÉTON DANS L'ESPACE URBAIN : DES ÉLÉMENTS DE CONTEXTE À LA QUESTION DE RECHERCHE ET À L'HYPOTHÈSE

INTRODUCTION DE LA PREMIÈRE PARTIE

La première partie de notre thèse vise à comprendre la relation de l'individu (piéton) avec l'espace urbain à partir d'une approche bibliographique. Nous explorons plus précisément la relation qui construisent l'espace urbain et le piéton lorsque celui-ci cherche un trajet pour atteindre sa destination. Nous structurons donc cette partie autour de trois thèmes distincts : (a) l'orientation dans l'espace urbain ; (b) les critères formant les préférences de choix du trajet ; (c) la prise en compte de l'environnement urbain dans le fait de s'orienter.

Nous abordons chacun de ces thèmes dans un chapitre distinct. D'abord, nous présentons dans le **chapitre I** les différentes étapes du processus mental de l'individu le conduisant à s'orienter dans l'espace urbain et à trouver son chemin. Cette démarche nous permet de déterminer quelle relation l'individu construit avec l'environnement de la marche ; comment il appréhende et perçoit l'espace urbain et ses composantes ; quels sont les principaux facteurs qui entrent en jeu dans la perception que les piétons ont de l'espace urbain et qui les mènent au choix d'un itinéraire particulier parmi toutes les alternatives potentielles.

Ensuite, dans le **chapitre II**, nous interrogeons le processus du choix d'itinéraire des piétons, les critères selon lesquels ils choisissent un trajet parmi toutes les alternatives potentielles. Nous posons l'hypothèse qu'un ensemble de critères objectifs et subjectifs intervient de manière consciente ou inconsciente dans la constitution des préférences de choix d'un trajet. C'est pour cette raison qu'à partir de la revue de la littérature, nous présentons deux approches théoriques principales qui abordent les critères selon lesquels les piétons décident de choisir un itinéraire : l'approche du choix rationnel et l'approche du choix cognitif. Ensuite, nous nous positionnons par rapport à ces approches et nous développons le cadre théorique sur lequel repose notre thèse. Enfin, puisque nous accordons une importance particulière à la distance comme étant un des critères importants du choix du trajet, nous abordons également cette notion dans la revue de la littérature. Il s'agit de la définir et de comprendre la manière dont les piétons l'appréhendent.

Le **dernier chapitre** porte sur la prise en compte de l'environnement construit dans les préférences de choix d'itinéraire des piétons. En effet, ce chapitre repose sur l'approche théorique du choix cognitif. Il cherche à identifier les attributs de l'environnement construit susceptibles d'intervenir dans l'orientation des piétons et dans leurs choix de trajet. Nous postulons que, premièrement, plus un trajet est perçu comme favorable à la marche, plus il est

possible qu'il soit pris pas les piétons. Deuxièmement, c'est en lien avec certains besoins et des attentes à satisfaire que les individus évaluent un environnement comme étant adéquat à la marche. C'est pourquoi, nous interrogeons d'abord les attentes et les besoins physiques et mentaux des piétons. Ensuite nous déterminons les conditions d'un environnement urbain adapté à ces besoins et à ces attentes, autrement dit la marchabilité de l'environnement urbain. Ceci nous permet de mettre en lumière le rôle du réseau de voirie et de sa structure en tant qu'un des éléments de l'environnement construit dans la construction du choix du trajet des piétons.

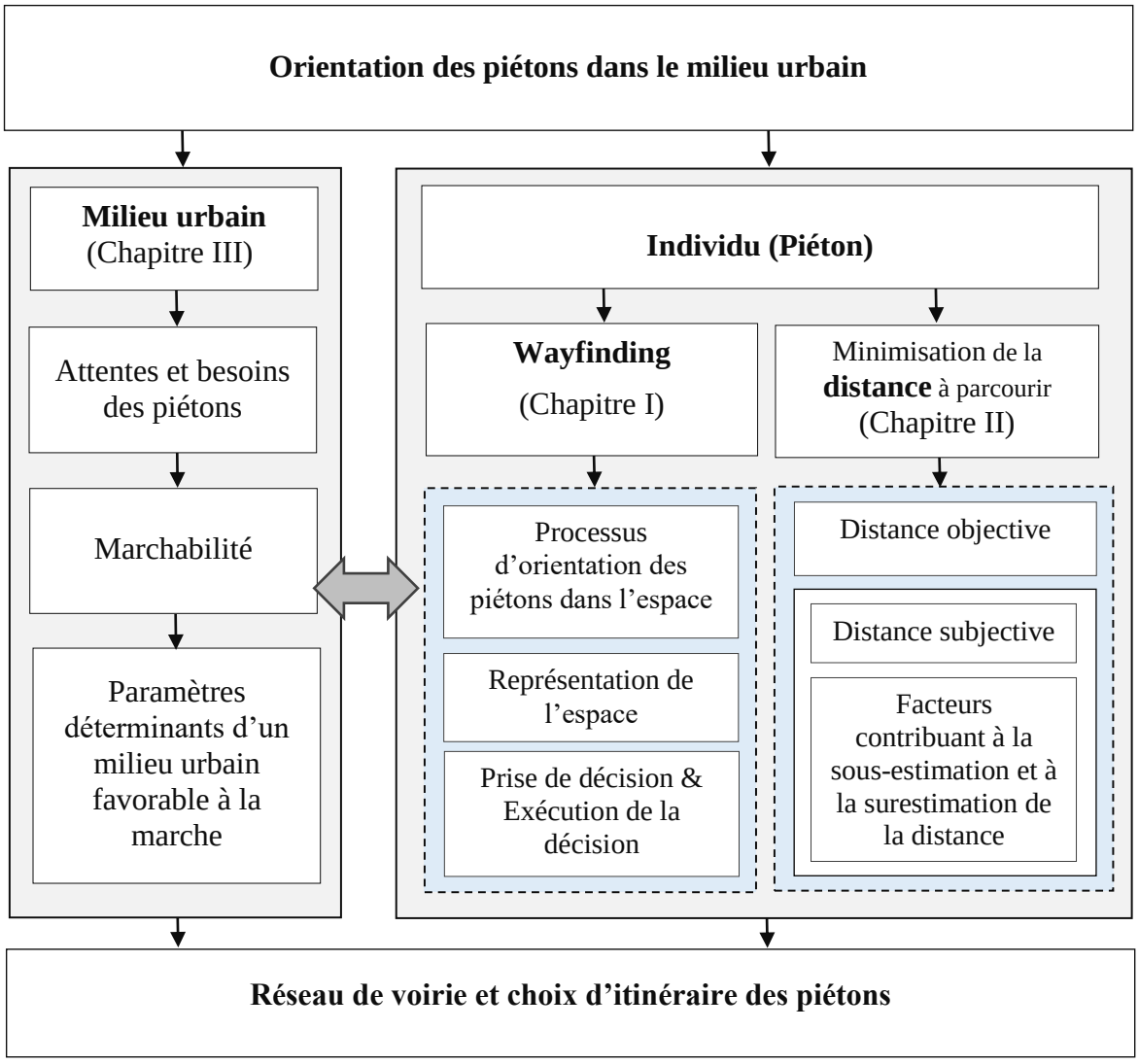

Figure 1. Structure de la première partie[1]

[1] La flèche bidirectionnelle symbolise la relation dialectique entre l'individu et le milieu urbain.

CHAPITRE I - L’orientation des piétons dans l’espace urbain à partir des représentations de l’espace

Introduction du chapitre I

Ce chapitre porte sur la compréhension de l’orientation des piétons et sur leurs choix d’itinéraires dans l’espace urbain. Nous décryptons comment et par quelle démarche les piétons choisissent leurs itinéraires dans l’espace urbain. Toutefois, avant de nous lancer dans cette opération, nous examinons les définitions de l’espace urbain que propose la littérature. Ensuite, nous nous penchons sur la façon dont les individus comprennent l’espace urbain et sur le processus mental par lequel ils traitent leur perception de l’espace. Nous considérons que ce processus produit une représentation de l’espace comme une reconstitution de l’espace urbain tel qu’il est perçu lors de leurs déplacements. Nous décrivons ensuite les facteurs principaux qui contribuent à influencer les représentations des personnes lors de leurs déplacements pédestres. *In fine,* ceci nous permet de considérer comment le piéton, à partir de sa compréhension de l’espace, décide du choix d’un itinéraire.

1-1- L’orientation des piétons dans l’espace urbain

L’orientation de l’être humain dans l’espace fait partie des sujets d’étude qui s’ancrent dans des domaines très variés et parfois éloignés les uns des autres comme l’architecture (Huelat, 2007), la psychologie environnementale (Passini, 1984), les neurosciences (Wolbers et Wiener, 2014), la psychologie (Piaget, 1973 ; Ellard et Eller, 2009), l’informatique (Kanmeugne, 2014) et l’urbanisme (Lynch, 1960 ; Cullen, 1961). Ces recherches concernent différentes échelles spatiales, depuis l’intérieur d’une seule pièce ou d’un bâtiment à de grandes surfaces comme les aéroports, les centres commerciaux, les hôpitaux, les quartiers ou bien les espaces ouverts d’une ville.

La revue de la littérature nous conduit à nous intéresser à un ensemble de termes interdépendants et parfois très ressemblants, en relation avec l’orientation des piétons dans l’espace comme la **navigation**, le ***wayfinding*** et la **locomotion**. Ces termes sont parfois utilisés de manière synonyme et parfois de façon antonyme. Voici, pour commencer, quelques définitions de ces termes.

Le *wayfinding* comme un sous-ensemble de la navigation

Un grand nombre de travaux comme Darken et *al*. (1999), Darken et Peterson (2001), Montello et Sas (2006), Montello (2007), Wiener et *al*. (2009), Brunet (2014), Lakehal et *al*. (2018) et Dalton et *al*. (2019), considèrent le *wayfinding*[1] comme un sous-ensemble de la navigation. Dans ce contexte, il ne s’agit pas seulement d’une simple translation physique d’une personne d’un point à l’autre, mais il convient aussi de prendre en compte les éléments cognitifs de l’individu pendant son déplacement (Montello et Sas, 2006 ; Darken et *al*. 1999 ; Dalton et *al*., 2019).

Comme l’ont précisé Darken et Peterson (2001), la navigation correspond intrinsèquement à la tâche globale : celle-ci est composée à la fois du ***wayfinding*** (l’élément cognitif) et de la **locomotion** (l’élément moteur). Selon ces auteurs, le *wayfinding* (l’élément cognitif de la navigation) n’implique aucun mouvement. Il s’agit uniquement de la partie stratégique qui guide le mouvement. En d’autres termes, le *wayfinding* fournit le « *software* » de la navigation, alors que la locomotion en constitue le mouvement (Montello et Sas, 2006 ;

[1] Nous utilisons le terme anglais puisqu’il est également utilisé dans plusieurs études dans la littérature française.

Montello, 2007). Plus précisément, la locomotion est la capacité de se déplacer vers une destination visible dans l'environnement immédiat et directement accessible depuis l'origine du déplacement (Wiener et *al*., 2009 ; Brunet, 2014 ; Lakehal et *al*., 2018 ; Dalton et *al*., 2019). La destination doit être lisible car la locomotion correspond à un mouvement simple entre deux points donnés du trajet, sans nécessité de changer la direction. De ce fait, la locomotion fournit un accès direct entre les paires de points sur le trajet n'ayant pas besoin de détour. Ainsi une navigation est composée de plusieurs locomotions liant les différents segments d'un trajet. En effet, la locomotion fait nécessairement référence à la partie en temps réel de la navigation. Elle dépend des systèmes sensori-moteurs de l'être humain. La locomotion est donc en interaction avec l'environnement immédiat de la personne, vers la direction prévue (Montello et Sas, 2006 ; Brunet, 2014 ; Lakehal et *al*., 2018). Lorsqu'on parle de *wayfinding,* il s'agit bien uniquement d'un processus mental, lequel est beaucoup plus complexe que la locomotion. Il s'agit d'un ensemble de stratégies permettant de déterminer un itinéraire pour se déplacer de manière planifiée d'un point de départ vers une destination relativement lointaine, et qui n'est pas forcément dans l'environnement immédiat et visible. Ces destinations sont généralement situées en dehors de l'environnement immédiat et du champ de visibilité de l'individu. Il peut s'agir d'un environnement familier[1] ou complètement inconnu (Montello et Sas, 2006 ; Wiener et *al*., 2009 ; Brunet, 2014 ; Lakehal et *al*., 2018 ; Dalton et *al*., 2019).

En outre, le *wayfinding* exige une succession de processus mentaux de la personne comme la représentation mentale de l'environnement, la planification d'itinéraires et la prise d'une série de décisions avant de se déplacer, ainsi que pendant les séquences de déplacement.

Le *wayfinding* et la navigation comme deux termes synonymes

Certains auteurs comme Passini (1984), architecte à l'Université de Montréal, utilisent les termes « navigation » et « *wayfinding* » comme des synonymes. Néanmoins, cet auteur a essentiellement utilisé dans son étude le terme « *wayfinding* » qu'il a défini comme étant le processus de déplacement dans l'espace, dans le but d'atteindre une destination spatiale aussi rapidement que possible et avec le minimum d'effort possible. Ainsi, il donne une définition

[1] Un espace est connu lorsque la personne est capable de relier certains lieux d'un milieu et de les situer par rapport à l'ensemble de l'espace. En revanche, quand l'espace lui est inconnu, elle ne connaît pas la liaison entre les éléments spatiaux et ne peut donc pas se situer dans l'espace (Paulet, 2002).

plus large du *wayfinding* en le considérant comme la capacité d'une personne, tant sur le plan cognitif que comportemental. Le *wayfinding* repose donc sur un processus dynamique, cognitif et physique, permettant de résoudre des problèmes spatiaux et d'atteindre les destinations dans l'espace. Nous qualifions ce processus de « dynamique » car il s'effectue tout au long de l'avancement vers le point de destination et qu'il est constitué de choix successifs.

Piaget (1973), quant à lui, est un des premiers psychologues à étudier les mécanismes psychologiques de l'appréhension et des représentations de l'espace. Selon lui, le *wayfinding* est une compétence naturelle qui se développe à partir de l'apprentissage de la marche et se poursuit et se complexifie avec l'âge, lors de l'exploration des différentes échelles spatiales. Nous constatons que sa définition du *wayfinding* inclut à la fois le mouvement de la personne dans l'espace ainsi que ses représentations de l'espace.

Le *wayfinding* englobe la navigation (la navigation comme un sous-ensemble du *wayfinding)*

Dans certains travaux comme ceux de Lynch (1960), Peponis et *al*. (1990), Denis et *al.* (2006), Huelat (2007), Farr et *al*. (2012), Vaez et *al.* (2016) et Symonds (2017), la navigation est considérée comme une sous-partie de la pratique globale du *wayfinding*. À titre d'exemple, Symonds (2017), après avoir souligné que le processus de *wayfinding* englobe la navigation, précise que la planification préalable d'un itinéraire ne consiste pas en l'exécution de la navigation, mais qu'elle constitue une autre partie du *wayfinding.* Autrement dit, la navigation et la planification sont des étapes du processus de *wayfinding.*

Lynch (1960), urbaniste et planificateur urbain américain, définit dans son ouvrage « *L'image de la ville* » (*The image of the city*) le *wayfinding* comme le processus de détermination et de suivi d'un chemin ou d'un itinéraire entre une origine et une destination dans le milieu urbain. De fait, il a intégré la navigation en tant que sous-partie du processus de *wayfinding*. Il explique que le *wayfinding* repose sur « *une utilisation et une organisation cohérente d'indices sensoriels provenant de l'environnement extérieur* » (Lynch, 1960, p.3). C'est la raison pour laquelle il s'est concentré sur l'étude de la capacité d'une ville à favoriser le *wayfinding*. Ainsi, Lynch a mis en évidence que les individus utilisent cinq classes d'éléments physiques de l'environnement construit, produisant ainsi une carte mentale pour

comprendre le milieu urbain et s'y orienter le plus facilement possible. Ces éléments sont : des points de repère, des chemins, des nœuds, des bords et des quartiers[1].

La définition du *wayfinding* donnée par Huelat (2007) (qui rejoint celle de Lynch (1960), l'assimile au comportement d'orientation spatiale d'une personne dans l'environnement urbain qui englobe la navigation. Cependant, il souligne la différence entre le *wayfinding* et l'orientation spatiale. Selon lui, l'orientation spatiale a une relation statique avec l'espace, contrairement au *wayfinding* qui a une relation dynamique avec ce dernier. Cette relation est dynamique dans la mesure où le piéton adapte sa direction en fonction de la destination lors de son déplacement, alors que l'orientation n'implique aucun mouvement[2]. Cette définition donnée par Huelat (2007) va complètement à l'encontre des définitions proposées par Darken et *al*. (1999), Darken et Peterson (2001), Montello et Sas (2006), Montello (2007), Wiener et *al*. (2009), Brunet (2014), Lakehal et *al*. (2018) et Dalton et *al*. (2019), comme nous l'avons mentionné ci-dessus, selon lesquels le *wayfinding* a été considéré comme un élément purement cognitif n'impliquant pas le mouvement.

Ainsi, le *wayfinding* correspond à un processus actif et dynamique par lequel le piéton est en relation constante avec l'espace. En effet, Lynch (1960) est un des premiers à mentionner une interaction continue entre le *wayfinding* et l'environnement bâti, interaction dans laquelle l'environnement construit peut particulièrement influencer la capacité de l'individu à trouver son chemin. Vaez et *al*. (2016) s'intéressent également à la relation entre le *wayfinding* et l'environnement : tout d'abord, ils rappellent que le *wayfinding* fait référence aux capacités cognitives et comportementales d'une personne à se déplacer d'un point de l'espace à un autre point, même si celui-ci se trouve en dehors de son champ de vision ; ensuite, ils reconnaissent que le *wayfinding* est le résultat d'interactions entre les caractéristiques personnelles des individus et celles de l'environnement. Cette interaction entre le *wayfinding* et l'environnement urbain est également mentionnée dans d'autres travaux, à tel point que le *wayfinding* est considéré par Symonds (2017) comme « inséparable » de l'espace (du contexte) dans lequel il se produit. Partageant la même idée, Farr et *al*. (2012) expliquent dans un premier temps que le *wayfinding* est un processus qui consiste à identifier son

[1] Nous les décrivons dans la partie 1-1-3-1.

[2] Selon le Dictionnaire Larousse, l'orientation correspond à la manière dont quelque chose est disposé par rapport aux points cardinaux. D'après le dictionnaire Robert, l'orientation désigne la détermination des points cardinaux du lieu où l'on se trouve, ou bien la position d'un objet relativement aux points cardinaux. Ainsi, l'orientation n'implique pas forcement le déplacement, pourtant il permet à la personne de se positionner dans l'espace.

emplacement actuel et à savoir comment se rendre à la destination souhaitée aussi rapidement et avec le moins d'efforts possible. Dans un second temps, ils soulignent que ce processus se déroule en fonction des représentations mentales de l'espace et à l'aide d'indices donnés par l'environnement urbain familier ou totalement inconnu. Nous ajoutons que le *wayfinding* ne se limite pas forcément aux seuls critères objectifs reposant sur la rapidité à joindre la destination. En effet, passer par l'endroit le plus agréable, le moins bruyant ou le plus sécurisé, etc. fait partie d'autres critères de choix sur lesquels repose le processus de *wayfinding*.

La navigation est composée du *wayfinding* et de la locomotion	Le *wayfinding* et la navigation sont deux termes synonymes	Le *wayfinding* englobe la navigation
Darken et *al*. 1999 ; Darken et Peterson, 2001 ; Montello et Sas, 2006 ; Montello, 2007 ; Wiener et *al*., 2009 et Brunet, 2014 ; Lakehal et *al*., 2018 ; Dalton et *al*., 2019	Passini (1984) et Piaget (1973)	Lynch, 1960 ; Peponis et *al*., 1990 ; Denis et *al.,* 2006 *;* Farr et *al*., 2012 ; Vaez et *al.,* 2016 *;* Symonds, 2017

Tableau 1. Différents termes utilisés à propos de l'orientation des individus dans l'espace, d'après la revue de la littérature

En ce qui concerne ce travail de thèse, dans un premier temps, nous tenons à préciser que la définition du *wayfinding* que nous utilisons s'appuie sur celle de Lynch (1960), Peponis et *al*. (1990), Denis et *al.* (2006), Huelat (2007), Farr et *al*. (2012), Vaez et *al.* (2016) et Symonds (2017), lesquels interprètent le *wayfinding* comme la tâche globale et non simplement comme une partie du processus d'orientation spatiale. Ainsi, nous considérons que le *wayfinding* correspond au processus dynamique à la fois mental et corporel (nécessitant le mouvement) d'un piéton au départ et pendant son déplacement, lui permettant de suivre ou de découvrir effectivement le chemin le plus adéquat (selon les critères qu'il se donne) et de relier deux points à travers un espace donné. Ce processus s'associe à une interaction dynamique du piéton avec l'environnement construit, à partir de ses représentations de l'espace. De fait, nous considérons que le *wayfinding* ne se limite pas uniquement à trouver une « bonne » direction (l'orientation), mais plutôt qu'il correspond à une série de prise de décisions ainsi qu'à l'exécution de ces décisions, lesquelles amènent la personne à trouver un « bon » chemin. Dans un deuxième temps, en accord avec les définitions présentées précédemment, nous utilisons dans cette thèse l'expression de « processus d'orientation dans l'espace », considérant celui-ci comme l'équivalent français du *wayfinding.*

De plus, notre compréhension du processus mental par lequel le piéton s'oriente vers une destination dans un espace donné fait référence aux travaux de Passini (1984), Chen et Stanney (1999) et Brunet (2014). Ceux-ci ont considéré le *wayfinding* comme une capacité à la fois cognitive et comportementale de résolution de problèmes spatiaux, laquelle repose sur trois tâches qui sont à la fois en interrelation, et dépendantes de l'individu : **tout d'abord** le traitement d'informations provenant de l'environnement lors de la marche (ce qui selon nous abouti à une connaissance de l'espace non familier ou fournit des connaissances complémentaires sur les espaces préalablement connus) ; **deuxièmement** les prises de décision (et l'élaboration d'un plan d'action) : et **troisièmement** l'exécution des décisions (transformer le plan d'action en un comportement). Ces tâches font appel aux quatre séries d'étapes interdépendantes suivantes, lesquelles se déroulent en interaction avec l'environnement du trajet :

- L'orientation au niveau du point de départ, c'est-à-dire la capacité à déterminer précisément son emplacement initial par rapport à la destination ; cela répond à la question : où suis-je ?
- Trouver le chemin, construire mentalement l'itinéraire[1] menant à la destination souhaitée et prendre des décisions d'orientation (une « bonne » direction) vers la destination ; ceci répond à la question : dans quelle direction vais-je ?
- Le contrôle que l'itinéraire choisi tout au long du déplacement mène bien à la destination. Ceci implique une relation dynamique avec l'espace afin de pouvoir positionner mentalement les espaces entre eux et de veiller de manière constante à sa position dans l'environnement pendant le déplacement.
- L'identification de l'emplacement de la destination.

De ce fait, nous constatons que la connaissance de l'environnement du trajet fournit la base d'informations du processus de *wayfinding,* plus particulièrement à travers les tâches de prise et d'exécution des décisions. C'est la raison pour laquelle nous présentons maintenant le processus d'appréhension et de connaissance de l'espace par les individus.

[1] Ici, nous considérons qu'un itinéraire correspond à un ensemble de chemins successifs et connectés d'un réseau de voirie. Il est emprunté par un piéton qui relie le point de départ de son déplacement à son point d'arrivée.

1-2- L'appréhension et connaissance de l'espace

Comme nous l'avons expliqué ci-dessus, le processus d'orientation dans l'espace (*wayfinding*) se produit en interaction avec l'environnement du trajet et à partir de l'appréhension et de la connaissance que le piéton construit de l'espace. Parler de l'espace nécessite un effort de définition. Il convient donc, tout d'abord, d'évoquer la façon dont nous définissons l'espace. Ensuite, nous présentons la façon dont nous comprenons le processus par lequel l'individu construit sa connaissance de l'espace.

1-2-1- Les définitions de l'espace

La définition de l'espace peut s'inscrire dans des domaines variés : mathématiques, physique, géographie, psychologie, psychologie sociale, ou bien anthropologie.

Pumain (2009, p.36) distingue la définition **mathématique** de la définition **géographique** de l'espace : elle constate qu'en mathématiques l'espace correspond à « *un ensemble infini de points (sans dimension) et de relations entre ces points* ». Alors qu'en géographie l'espace est comme « un ensemble (fini) de lieux[1] (plus ou moins étendus) et des relations qu'on observe entre ces lieux ». Nous considérons que la définition mathématique de l'espace est plutôt abstraite. En effet, en mathématiques et en physique, la définition de l'espace fait référence à la conception d'Isaac Newton (1642-1727) dont la définition est absolue. Comme l'ont décrit les économistes Huriot et Perreur (1990) et le philosophe Pradeau (1996), selon Newton l'espace est absolu et immuable ; il préexiste, c'est-à-dire qu'il existe par lui-même, sans être dépendant de l'existence de toute matière externe ; il peut être occupé par la matière ou être complètement vide ; il se définit au-delà du lien entre les objets ou les lieux. Dès lors, l'espace existe au-delà du rapport avec l'observateur ; il n'a donc pas besoin d'observateur pour exister.

Par contre, pour les sciences humaines et sociales (géographie et psychologie par exemple), l'espace est souvent une notion subjective et relative. Il se rapporte à l'individu et à ses relations sociales, son parcours de vie, ses caractéristiques individuelles, et à ses groupes sociaux. Une des premières personnes à avoir abordé la subjectivité et la relativité de l'espace est Kant (1781), dans son ouvrage intitulé, « *Critique de la raison pure* », dans lequel il

[1] Le lieu est considéré par Bailly et *al*. (1995) comme étant la plus petite entité composant l'espace urbain. Lévy et Lussault (2013) l'ont défini de manière plus précise : il s'agit de la plus petite unité spatiale complexe de la vie sociale, là où quelque chose se passe et/ou se trouve, un espace dans lequel la distance n'est pas pertinente.

insiste sur le fait qu'une connaissance définitive de la réalité est impossible. Selon lui, il est seulement possible de distinguer les représentations des phénomènes, c'est-à-dire les choses non pas telles qu'elles sont, mais telles que les individus sont capables de les connaître. Elles sont alors modifiées pour s'adapter à système de connaissance de l'individu. L'espace, comme toute autre chose, n'existe donc pas réellement. Kant considère l'espace comme une « forme pure » de sensibilité de l'individu et de son faculté de connaissance, ainsi que comme une construction idéelle et mentale qui permet aux individus d'organiser les objets les uns par rapport aux autres, de façon à ce que ce ne soit pas un pur chaos. L'espace est donc déformé et complètement subjectif. Ainsi, les individus interprètent et définissent « l'espace réel » par un filtrage mental. Ils cherchent à y « *inventer, énoncer, diffuser, imager les idéologies, mythes, imaginaires, connaissances scientifiques, expertises qui expliquent les agencements matériels, en donnent les clefs interprétatives, selon le système de référence sur lequel chaque "système discursif" s'appuie* » (Lussault, 2009, p.43).

Dans le but de définir l'espace de manière plus précise, nous développons par la suite les dimensions **psychologiques** et **sociales** de l'espace.

Pour ce qui est de la dimension **psychologique** de l'espace, nous faisons référence aux travaux de Moles et Rohmer (1972), et Piaget (1973), lesquels sont parmi les premiers chercheurs à travailler sur ce sujet. Dans leurs travaux, la définition de l'espace est centrée sur l'individu. Il s'agit donc d'une dimension subjective qui évolue avec l'individu dans le temps, en fonction des âges de la vie. La dimension spatiale est intrinsèquement liée à une évolution corporelle et affective de l'être humain, en fonction de son expérience et de sa pratique des milieux urbains.

Moles et Rohmer (1972), dans leur ouvrage intitulé « *Psychologie de l'espace* » confirment que le rapport de l'être humain à l'espace est égocentré, c'est-à-dire que l'individu se perçoit comme le point de référence dans l'environnement. Ils ajoutent que **l'espace perçu** par la personne s'agrandit peu à peu dans le temps et en fonction du rythme de vie de la personne, puis qu'il re-diminue au cours de son vieillissement. Cette compréhension de « l'espace perçu » de l'être humain se décline, selon Moles et Rohmer (1972), en « *coquilles* » emboîtées les unes dans les autres, et qui s'étendent de la façon suivante : au centre se trouve le corps de l'individu, dont la première coquille est la peau ; celle-ci s'étend aux gestes immédiats ; vient ensuite la pièce, son appartement ou sa maison ; puis, à mesure de son avancée en âge, les coquilles s'étendent au quartier, à la ville, à la région, au pays, voire au monde. Ainsi, à mesure que l'individu découvre son milieu, l'échelle de « l'espace perçu » s'accroît.

Piaget et Inhelder (1972) se concentrent aussi sur les mécanismes psychologiques d'appréhension de l'espace réel des individus, notamment des enfants. Ils reconnaissent quatre catégories d'espaces relatives aux quatre stades d'apprentissage progressif de l'espaces chez l'enfant : « **espace subi** » ; « **espace vécu** » ; « **espace perçu** » ; et « **espace conçu** ». Ces quatre stades d'apprentissage de l'espace sont subjectifs et reposent sur la compréhension et le traitement d'informations spatiales, lesquelles évoluent à mesure que l'enfant découvre son milieu en fonction de l'âge, son évolution corporelle, mentale, affective et sa connaissance du réel. Les quatre catégories d'espace se résument ainsi :

(1) de la naissance à trois mois, l'enfant subit les déplacements que l'entourage lui impose. Il n'a pas d'emprise sur l'espace, c'est donc un « **espace subi** » ;

(2) de trois mois à 2-3 ans, l'enfant se déplace et expérimente physiquement son environnement. Il développe des capacités de traitement des informations spatiales qu'il capte à travers sa présence physique et ses perceptions instantanées lors de ses déplacements. Ceci correspond à la construction de « **l'espace vécu** » qui constitue l'espace de l'action et du mouvement ;

(3) jusqu'à 5-6 ans, les expériences spatiales de l'enfant s'étendent : il saute, grimpe, lance, etc. et il coordonne ces opérations. Il comprend les notions de « près », « loin », « centre », « dedans », « sous », « entre », les orientations spatiales (gauche, droite) par rapport à lui-même. Il commence à percevoir la forme des objets et leurs rapports spatiaux. L'enfant est capable de mémoriser les situations spatiales, ce qui lui permet de se représenter l'espace sans s'y déplacer et donc sans s'y trouver physiquement. Il appréhende donc « l'**espace perçu** »;

(4) vers 10-11 ans, il est capable de voir l'espace du point de vue d'une autre personne (par exemple : distinguer la droite et la gauche d'autrui). Il s'agit de la construction de l'espace projectif et donc de l'« **espace conçu** » où l'enfant comprend la notion de perspective, de lecture de plan, de la notion d'horizontalité et de verticalité. Les objets sont coordonnés et orientés selon un système de références stables, extérieur aux objets. Ce système est le fruit d'un processus de connaissance de « l'espace vécu » et de « l'espace perçu » par le déplacement, l'expérience vécue, la mémorisation, l'imagination et plus tard des anticipations permettant de produire des comportements.

Par ailleurs, Guillouet (1973), se référant à Piaget et Inhelder (1972), reconnaît les quatre étapes principales suivantes dans la formation de l'espace vécu chez l'enfant :

(1) la première enfance (de la naissance à trois ans) qui correspond à la conquête du cadre familial et à la découverte de son propre corps ;

(2) la seconde enfance (de trois à six ans) désigne l'extension du champ de l'expérience aux espaces extérieurs de la maison tels que la cour, le jardin, des relations de voisinage et l'école ;

(3) la troisième enfance (de six à douze ans) se rapporte à la découverte de l'espace autour de la maison, de l'école, et de l'ensemble du quartier ;

(4) la puberté/adolescence (à partir de 12 ans) en même temps que la mutation du corps et de l'affectivité, l'espace s'étend grâce à la découverte de la ville et du monde.

Frémont (1999), pour sa part, est en accord avec Moles et Rohmer (1972) et Piaget (1973) concernant l'importance de l'âge et du parcours de vie sur la compréhension de l'espace. Il développe la notion d'**« espace vécu** » structuré par l'âge et l'expérience, qui évolue à mesure que l'individu avance dans la vie et qu'il acquiert des expériences. Pourtant, Frémont (1999) considère que l'espace peut également prendre des dimensions sociales. Il développe l'idée que les relations de l'être humain avec l'espace évoluent également en fonction de ses relations sociales avec les autres personnes et à travers ses évolutions personnelles durant différentes périodes de la vie. Aussi, à mesure que ses relations sociales changent, ses relations avec l'espace se modifient également. Ainsi, Frémont (1999) s'inspire de la modélisation des « coquilles de l'homme » de Moles et Rohmer (1972), élargissant aussi l'approche de Piaget (1973) sur la formation de « l'espace vécu » au cours des différents stades de la vie de la personne. Il envisage trois périodes principales de la vie pour saisir la formation de l'espace vécu chez l'être humain au fil de ses expériences. Ainsi, selon cette approche :

- pour **l'enfant,** « l'espace vécu » s'agrandit rapidement, il est d'abord centré uniquement sur le Moi, puis il s'élargit au-delà du Moi, en rapport avec les personnes qu'il connaît ; dans le milieu familial : la mère, le père, les frères et les sœurs ; dans le voisinage ; et puis à l'école : les enseignants, les camarades, etc.

– chez **l'adulte,** « l'espace vécu » s'élargit en fonction du mariage, du travail, du service militaire, des migrations, selon de nouveaux motifs de déplacement temporaires ou définitifs, créant de nouvelles relations sociales et spatiales.

– **le vieillard,** dans cette période de la vie, le retrait du travail diminue les occasions et les possibilités de déplacements physiques. L'affaiblissement des capacités physiques peut également diminuer quantitativement et qualitativement les déplacements, ce qui peut également contribuer à une diminution des relations sociales. La diminution des liens sociaux, la disparition du conjoint, de parents ou d'amis peuvent amener les personnes de cette catégorie d'âge à restreindre leur espace social. Tout cela affecte l'espace vécu dans cette période de la vie et le rétrécit.

Di Méo (2001, 2014), géographe spécialisé en géographie sociale, rappelle d'abord que l'espace géographique est une notion relationnelle et subjective. Il considère ainsi que l'espace est une construction reposant sur les représentations individuelles et sociales, ce qui n'est pas sans conséquences sur la façon dont il convient de l'étudier. Ainsi Di Méo souligne que, premièrement, il faut étudier l'espace par une approche sociale, selon laquelle « *un phénomène social ne peut se réduire à une somme d'actes individuels, notre rapport à l'espace ne relève pas de notre seule fantaisie perceptive* » (Di Méo, 1990, p. 360). Il convient de préciser que « *ceci ne signifie pas nier aux individus toute capacité d'autonomie dans la construction de leurs rapports à l'espace* » (Adam, 2016, p.49-50). Deuxièmement, Di Méo (2001, 2014) s'intéresse au rapport à l'espace au travers des productions individuelles et sociales, considérant que l'espace « *est avant tout le fruit des rapports sociaux de production confrontés à la nature* ». Ainsi, pour Di Méo, « l'espace vécu » est le support des échanges et des pratiques individuelles et sociales. Il désigne donc trois dimensions qui transforment « l'espace réel » au niveau individuel et social, en « **espace vécu** » :

- D'abord « **l'espace de vie** » de l'individu est l'ensemble des lieux fréquentés par l'individu quotidiennement en fonction de ses caractéristiques psychologiques et personnelles comme le genre, l'âge, l'origine socioculturelle, etc. Il correspond donc à la pratique spatiale et quotidienne de chaque individu.

- Ensuite, « **l'espace social »** correspond à des lieux et à des rapports sociaux entre les individus ou les groupes en relation avec l'espace, autrement dit, l'espace

géographique et relationnel des systèmes de relations, des pratiques et l'expérience vécue, des interactions spatiales et les rapports sociaux.

- Troisièmement, « **l'espace représenté** » : l'individu modèle ses représentations de l'espace en fonction de sa vie sociale et de ses imaginaires, ses valeurs personnelles et ses caractéristiques psychologiques et individuelles. De la même façon, les groupes sociaux se représentent l'espace en fonction de leurs valeurs culturelles et idéologiques projetées sur l'espace. Ainsi « **l'espace vécu »** est subjectif ; il reflète donc les caractéristiques mentales individuelles et il porte la marque des valeurs culturelles et des idéologies des groupes sociaux. Ceci « *ne peut être perçu et représenté qu'en fonction de l'expérience individuelle, mais aussi sociale acquise par l'intersubjectivité* » (Di Méo, 2014, p. 71-72).

Cette approche rejoint la définition de Bailly et Ferras (2004) pour qui l'espace est à la fois un produit et une dimension des sociétés. Par ailleurs, selon ces auteurs, l'espace existe pour les individus et les groupes sociaux qui interagissent avec lui. La définition que donnent Lévy et Lussault (2013) de l'espace dans le *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés* (définition qui prend en compte sa dimension sociale) est globalement la même que celles qu'en font Bailly et Ferras (2004). Pourtant, Lévy et Lussault (2013, p.353) considèrent l'espace géographique comme « *une des dimensions de la société, correspondant à l'ensemble des relations que la distance établit entre différentes réalités* ». Dans cette approche, la distance constitue l'élément central de toute conception de l'espace. Elle articule différentes dimensions économique, sociologique, politique, individuelle, temporelle et spatiale de la société. Ainsi, la société a un aspect multidimensionnel. La distance y caractérise le degré de différence (écart) de réalités sociales de ces dimensions, sous forme de schèmes mentaux, de systèmes d'idées et de normes idéalisés. Ces espacements créent l'espace géographique. Ainsi, selon cette approche, l'espace n'est pas une pure retranscription du réel. L'espace est premièrement **relatif** et deuxièmement **relationnel**, étant à la fois contenant et contenu des actions humaines.

Un des principaux auteurs de l'étude de l'espace en rapport avec la production est Henri Lefebvre (1974) avec son ouvrage « *La production de l'espace* ». D'après lui la société et l'espace sont en interaction dialectique dans laquelle l'espace produit le social. Mais l'espace est aussi un produit quotidiennement construit par les enjeux économiques et sociaux de la société. Il est le résultat d'un processus de production à trois niveaux interdépendants :

- l'« **espace conçu** » : il est le produit des représentations mentales des professionnels de la ville, des architectes, des urbanistes, des « savants » (sociologues, philosophes, etc.). Il est l'espace « dominant » ;

- les pratiques spatiales ou « **l'espace vécu** » : il est celui de la production et de la reproduction des pratiques sociales des habitants et des usagers « ordinaires », en fonction des compétences et des performances spatiales propres à chaque individu. Il est l'espace « dominé » et « subi ». Ici, « **l'espace vécu** » renvoie à la même conception que « **l'espace de vie** » défini par Di Méo (2001, 2014) comme expliqué plus haut.

- l'espace des représentations ou « **l'espace perçu** » : il est le produit de l'utilisation symbolique de l'espace physique, ce qui regroupe tous les aspects idéels, imaginaires et symboliques des pratiques de l'espace par les individus dans leur vie sociale et quotidienne. Autrement dit, il s'agit de la déformation individuelle et sociale de « l'espace vécu », lequel est subi et dominé par la modification, l'appropriation, la projection, l'imagination et la symbolisation des individus. Cette définition de « l'espace perçu » est très proche de celle donnée par Di Méo (2014) de « **l'espace vécu** », lequel reflète les images mentales des individus et des groupes sociaux.

Définir l'espace nous permet d'appréhender que l'espace urbain n'a pas une définition absolue, mais qu'elle est relative et subjective. Comme nous venons de le mentionner, il a des définitions variées. Puisque nous nous intéressons à la pratique de l'espace par les individus (les piétons), ce travail de thèse se situe dans la représentation de l'espace, laquelle prend en compte à la fois l'espace vécu pratiqué et l'espace perçu. Donc, dans le cadre de ce travail, nous nous référons à cette définition de l'espace. Nous avons également constaté qu'il y a un décalage entre « l'espace réel » et « l'espace perçu ». C'est la raison pour laquelle, par la suite, nous intégrons dans notre appréhension de l'espace la définition des représentations que s'en font les individus.

1-2-2- La définition des représentations de l'espace

Avant de se lancer dans la définition des représentations, il convient de préciser que la façon dont l'individu perçoit l'espace urbain est souvent en décalage avec les réalités objectives de l'espace. En effet, il s'agit d'une reconstruction de la réalité. Tenter de définir ce

que sont les représentations a été le sujet d'étude de domaines variés comme la géographie, la psychologie environnementale, l'architecture et l'urbanisme (Piaget, 1973 ; Bailly, 1977 ; Paulet, 2002 ; Moser et Weiss 2003 ; Ramadier, 2003 ; Chelkoff, 2004 ; Lynch, 1960 ; Hall, 1966 ; Moles et Rohmer, 1972 ; Frémont, 1999 ; Adam, 2016).

Pour décrire les interprétations et les compréhensions des individus de l'espace urbain, les études ont couramment utilisé les termes de : **représentation, perception, image** et **cognition**. Il convient donc de définir ces termes et de préciser leurs différences ou leurs similitudes éventuelles.

La genèse de la notion de la représentation nous conduit à évoquer l'allégorie de la caverne de Platon. Selon lui, l'idée d'une réalité dépend du point de vue depuis lequel on la regarde, car il peut simplement s'agir de nos représentations de la réalité. Pourtant, il pense qu'il est possible de se débarrasser des représentations (sans pouvoir y parvenir totalement), à condition d'oser affronter la réalité. De son côté, Kant (1781), comme nous l'avons dit auparavant, a mis l'accent sur la subjectivité des choses y compris de l'espace et sur le fait que nos connaissances sont uniquement issues des représentations et non de connaissances réelles. L'individu ne perçoit que partiellement le monde réel, Bailly (1977). Cela est également confirmé par Moscovici (2003) d'après qui les représentations sont créées à partir de l'idéal et des expériences des individus, qui éloignent les représentations de la réalité objective. Ou encore, différentes études, comme celle de Paulet (2002), Jodelet (1989) et Adam (2016) ont souligné le décalage entre l'objet réel et l'objet représenté. Comme l'explique Jodelet (1989), la représentation relie un sujet à un objet, elle est le produit d'une reconstitution mentale d'une réalité objective par laquelle l'individu ou le groupe lui attribuent des valeurs individuelles ou sociales. Paulet (2002), partageant le même point de vue, insiste sur le fait que les individus ne sont pas totalement passifs vis-à-vis de l'environnement qui les entoure, qu'ils accordent des valeurs personnelles et culturelles aux espaces objectifs, et qu'ils projettent leurs manières de voir l'environnement.

Certains travaux (Piaget et Inhelder, 1972 ; Piaget, 1973 ; Paulet, 2002 ; Adam, 2016) ont distingué la définition de la représentation de celle de la perception : pour Piaget (1973), le processus de la **perception** de l'espace s'intègre dans le processus de représentation. Elle permet l'élaboration de représentations et, donc, l'appréhension de l'espace. Selon Piaget et Inhelder (1972), la perception correspond à une activité sensori-motrice et neuronale et à un acte instantané se constituant au contact direct avec des objets physiques immédiatement

présents. La représentation, quant à elle, intervient en l'absence de l'objet. Elle correspond donc à un acte purement cognitif de reconstruction du réel. En effet, la perception est possible par l'action et le mouvement dans l'espace et provient de la mémorisation instantanée du système sensoriel de l'être humain. Alors que selon Adam (2016), la représentation mobilise la mémoire et l'imagination, la remémoration et l'interprétation d'informations préalablement perçues. La représentation permet donc d'interpréter et d'évaluer les objets, même quand ils ne sont pas présents, alors que la perception n'est qu'un des processus qui s'intègre à la formation du processus de représentation de l'espace. C'est dans ces conditions que selon Paulet (2002, p.6), dans la représentation, « *les objets, mêmes absents, les paysages visités il y a longtemps sont interprétés, jugés, laissés en mémoire* ». Bailly (1977) partage la même idée que la compréhension de l'espace réel n'est pas possible et souligne que : « *les espaces urbains sont "appropriés et découpés" par chaque individu en fonction de son propre système de référence et l'homme perçoit la réalité vécue du monde réel partiellement et à travers un filtrage des sens…* » (p.29). Ceci dépend également de ses caractéristiques psychologiques, sa culture, sa situation socio-économique et professionnelle, son expérience vécue, etc. (*ibid*). Par contre, Bailly utilise les termes de « perception » et de « représentation » de façon indifférenciée. Depeau (2006, p.12-13), après avoir souligné que les notions de perception et de représentation sont parfois confondues, évoque que : « *La perception renvoie à une réalité présente dans l'action tandis que la représentation renvoie à une réalité absente et reconstruite à partir des caractéristiques à la fois individuelles et sociales du milieu* ».

Il est donc possible de considérer que la différence majeure entre la perception et la représentation est que la perception s'appuie sur l'expérience instantanée du réel faisant appel aux capteurs sensoriels de l'individu, qu'elle est à ce moment-là en contact direct avec les objets, alors que la représentation consiste à interpréter des objets même quand ils sont absents ou à distance. Ainsi, la représentation renvoie au processus de la construction d'une image à propos de l'espace, à laquelle elle peut également correspondre, ainsi qu'au développement ou à la modification des perceptions précédentes déjà enregistrées dans la mémoire.

Un des autres termes utilisés est « **la cognition** ». Vaez et *al*. (2016) ont distingué la définition de la « **cognition** » de celle de la **perception** : la notion de « **cognition** » est plus large que celle de « **perception** ». La cognition renvoie à l'activité mentale des individus dans l'acquisition de connaissances élémentaires vis-à-vis de l'objet. Il s'agit donc de la réception

active d'informations provenant de connaissances préétablies ou de perceptions instantanés (Adam, 2016). La cognition correspond ainsi à l'ensemble des processus mentaux qui font référence aux connaissances spatiales enregistrées dans la mémoire et le traitement de l'information, et qui structurent les représentations de l'individu.

Nous avons constaté que dans certains travaux, comme ceux de Lynch (1960), Cullen (1961), le terme d'« **image** » a été utilisé comme synonyme de « **représentation** »[1] . Cela est confirmé par Bailly (1977) qui constate que dans l'étude de Lynch (1960), l'image est synonyme de la représentation mentale de l'espace. Par contre, Debarbieux (1998) et Gumuchain (1991) distinguent « **l'image** » de « la représentation ». Gumuchain (1991) considère « l'image » comme le support de l'expérience directe de l'espace laquelle s'intègre dans le processus de la construction des représentations. Debarbieux (1998) quant à lui, considère l'image comme étant seulement une facette de la représentation. Pourtant, Adam (2016) souligne qu'il n'est pas évident de concevoir une « **image** » uniquement à partir de la perception directe d'un objet, sans être influencé par des représentations préexistantes. Bailly (1977) utilise le terme « d'image résiduelle » qui a la même définition que le terme « perception » utilisé dans une grande majorité des ouvrages cités ci-dessus.

Il existe également d'autres expressions couramment utilisées dans le domaine d'études des représentations urbaines comme « **la carte mentale** ». Lynch (1960) est pionnier dans l'utilisation de cette expression. Dans son travail, « **la carte mentale** » correspond à l'aboutissement des représentations mentales de l'espace urbain. Il utilise la méthode du dessin de « la carte mentale » qu'il a appliquée à quelques personnes enquêtées pour faire émerger ce produit spatial. Il a mis en évidence que les résidents d'une même ville la dessinent et donc la représentent différemment. En effet, comme l'ont mentionné Breux et *al*. (2010), « **la carte mentale** » n'exige pas de se conformer à la réalité. Elle peut être sujette à erreurs ou distorsions puisqu'elle est très éloignée de la carte géographique traditionnelle. Certains travaux tels que ceux de Darken et Peterson (2001), Rapoport (1977) et Brunet (2014), ont utilisé l'expression de « **carte cognitive »** comme synonyme de « carte mentale ». Darken et Peterson (2001), après avoir souligné qu'une « **carte mentale »** est un aboutissement du processus de représentation mentale d'un environnement, utilisent également l'expression **« carte cognitive »** comme synonyme de **« carte mentale »**. Ils ajoutent également que « **la carte cognitive »** ne repose pas uniquement sur des images, mais

[1] Dans ce cas, la représentation ne renvoie pas au processus de construction d'une image.

qu'elle constitue plutôt, aux yeux des personnes, une dimension symbolique de l'espace urbain. Une « **carte cognitive** » selon Rapoport (1977) et Brunet (2014) correspond au résultat d'un ensemble de processus psychologiques, qui est supposé aider l'individu à simplifier, enregistrer, remémorer et mémoriser les connaissances acquises des espaces, des distances, des directions, des interactions entre les éléments ou le modèle général de l'environnement. La **« carte mentale »** /« **carte cognitive »** est donc le produit ou le résultat de la représentation mentale de l'espace.

Les représentations individuelles, collectives et sociales

Il convient également de préciser que la notion de « représentation » n'est pas une notion purement individuelle et personnelle, dans la mesure où elle est liée à la culture et aux valeurs sociales. De ce fait, la représentation désigne différentes notions. Divers travaux de recherche ont donc distingué trois types de représentations : **individuelles**, **collectives** et **sociales,** chacune renvoyant à des courants théoriques différents.

Certains insistent sur le fait que la représentation peut être une notion **individuelle** : par exemple, Debarbieux (1998) précise que la représentation est le produit d'un parcours de vie, d'une vision du monde singulière et personnelle. Giust-Desprairies (2004) aussi évoque le fait que « les représentations individuelles » ont une origine « psychique ». Elles sont issues de l'activité mentale de chaque individu au sens chimique et neuronal, tout en étant en lien avec l'histoire et le passé des individus. Jodelet (1989), Di Méo (2001, 2014), Paulet (2002) et Bailly (1977) partagent la même idée en considérant que les représentations individuelles sont construites en fonction des caractéristiques individuelles des personnes. Pourtant, ils soulignent que la formation mentale des représentations des individus se fait également par les pratiques sociales des individus et à partir de l'appropriation et de la mobilisation des cultures, des idéologies et des normes sociales des groupes sociaux, auxquels les individus appartiennent. Abric (1989) considère également que la représentation individuelle est déterminée à la fois par l'individu lui-même (son histoire, son vécu, ses croyances), par le système social et idéologique dans lequel il est inséré et, enfin, par la nature des liens qu'il entretient avec ce système social.

D'autres recherches reconnaissent les représentations collectives. Durkheim, fondateur de la sociologue moderne, est un des premiers chercheurs à distinguer les représentations **collectives** des représentations **individuelles** dans un article de la « *Revue de Métaphysique et de Morale* », en 1898. Il met en avant que les représentations collectives et individuelles sont

opposées les unes aux autres, dans la mesure où, selon lui, les représentations collectives s'imposent aux représentations individuelles. Autrement dit, soulignant l'importance fondamentale de la pensée sociale, il considère que les représentations collectives priment sur les représentations individuelles. Dans ce cas, l'individu subit la contrainte des représentations dominantes dans la société. Durkheim (1898) ajoute que les représentations collectives ne résultent pas de la somme des représentations des individus pris isolément, mais qu'elles sont intrinsèquement distinctes de l'addition des représentations individuelles. Elles ne dépendent donc pas de la nature personnelle des individus, puisqu'elles sont le résultat de la fusion et de la convergence de tous les caractères individuels de l'ensemble des individus, cela sous l'action des forces et des altérations mutuelles de ces combinaisons. Ainsi, chacune des représentations (individuelle et collective) contient quelque chose de l'autre tout en ne correspondant pas entièrement à l'autre. Contrairement à Durkheim, Piaget (1973), qui examine les rapports entre la logique et le social, considère que les représentations individuelles et collectives ne sont non seulement pas contraires les unes aux autres, mais que par ailleurs, les représentations collectives influencent les représentations individuelles, celles-ci se transmettant à leurs tour aux groupes par les liens sociaux.

Plus tard, la notion de représentation sociale est présentée par Moscovici (1976), psychologue social. Lui aussi distingue les représentations collectives des représentations individuelles. Il considère que les représentations sont « *une passerelle entre le monde individuel et le monde social* », Moscovici (2003, p.52). Il nuance cependant en disant que l'opposition stricte entre les représentations individuelles et collectives évoquée par Durkheim est exagérée et que cet écart doit être relativisé. Ainsi, à partir des années 1960 Moscovici reconnaît un autre type de représentations, il remplace le terme de « représentations collectives » par celui de « représentations sociales ». D'après Moscovici (1976), « les représentations sociales » sont le résultat des interactions sociales internes au sein de groupes, celles-ci étant générées collectivement par ses membres. Ainsi, il reconnaît que « les représentations sociales » sont partagées par les individus au sein d'un groupe, donnant ainsi lieu à autant de représentations individuelles qu'il y a d'individus. Par ailleurs, dans cette définition donnée par Moscovici, les représentations sociales et individuelles, étant construites pour et par la pratique, sont liées les unes aux autres tout au longue du processus de représentation, et cela de manière dynamique. Selon Moscovici (1976), il n'y a pas de réalité objective, et les représentations forment une triade relationnelle entre l'individu lui-même, ses relations avec les autres et les objets représentés. Ainsi, chaque objet est défini par la

représentation qui lui est associée en fonction de la socialisation des individus (Dias, 2016). De même, Moscovici (2003), contrairement à Durkheim (1898), considère que les représentations sociales ne dominent pas les représentations individuelles, mais qu'elles en constituent plutôt l'origine. Di Méo (1994) partage la même idée que les représentations sociales et individuelles ne sont pas opposées, bien qu'il considère les représentations individuelles comme formant le substrat des représentations sociales.

Pour ce qui est de la relation entre les représentations individuelles et les représentations sociales, plusieurs auteurs s'appuient sur la réciprocité de l'interaction entre ces deux représentations. Par exemple, Moliner (1996) précise que les représentations sociales sont issues d'un ensemble d'informations et de croyances relatives à un objet et qui sont elles-mêmes le fruit d'expériences individuelles et d'échanges entre les individus. En outre, selon Jodelet (1989), les représentations sociales désignent à la fois le processus et le produit d'une construction psychologique et sociale de la réalité extérieure à la pensée. Il est alors possible de considérer qu'une représentation sociale est la construction d'une réalité commune, propre à un groupe social déterminé, autrement dit, le fruit d'interactions entre l'individu et le groupe (Adam, 2016).

Ainsi nous constatons que, premièrement, il est difficile de distinguer les représentations individuelles des représentations sociales ; deuxièmement, les représentations individuelles reposent sur les représentations sociales, c'est-à-dire que l'individu, dans ses représentations individuelles, livre toujours les représentations sociales ; et enfin troisièmement, comme ces deux catégories de représentations ont des influences réciproques l'une sur l'autre, elles se modifient mutuellement. Dès lors, les individus perçoivent et interprètent les composantes de l'espace urbain (les bâtiments, le réseau de voirie, etc.) par un filtrage reposant sur leurs caractéristiques individuelles et sociales. Ils cherchent à « *inventer, énoncer, diffuser, imager les idéologies, mythes, imaginaires, connaissances scientifiques, expertises qui expliquent les agencements matériels, en donnant les clefs interprétatives, selon le système de référence sur lequel chaque "système discursif" s'appuie* », Lussault (2009, p.43). Par conséquente, et comme l'a décrit Frémont (1999), les représentations de l'espace de chaque individu évoluent en fonction de son âge, de ses expériences et de ses relations sociales. Ce qui explique que nos représentations de l'espace urbain peuvent être très différentes les unes des autres. Celles-ci peuvent entraîner des comportements différents dans l'espace urbain. Comme il est souligné par Breux et *al*. (2010), les comportements des individus et les représentations de l'espace s'influencent mutuellement. Ainsi, nous pouvons dire que les représentations de l'espace

peuvent avoir un effet rétroactif sur les comportements liés à déplacement, y compris sur le choix d'itinéraire pour joindre une destination. Cela veut dire que les individus et les groupes sociaux, à partir des interprétations qui forment des composants de l'espace urbain, seront capables de se situer mentalement dans cet espace, puis de s'y positionner physiquement. Ceci leur permettra de se déplacer dans l'espace urbain (Paulet, 2002). C'est pourquoi nous proposons par la suite de comprendre le processus mental par lequel l'individu en déplacement appréhende l'espace urbain.

1-2-3- Le processus de construction des représentations de l'espace lors du déplacement

La première étape de processus d'orientation dans le milieu urbain est l'appréhension et l'acquisition de connaissance de cet espace. Pourtant, l'individu applique des déformations à l'espace réel qu'il observe (Huriot et Perreur, 1990). En effet l'individu perçoit l'espace objectif à travers un système de filtres qui trie les informations, les déforme ou les amplifie. Le déplacement joue un rôle fondamental dans ce processus cognitif complexe et actif (Paulet, 2002).

Ainsi, l'appréhension de l'espace urbain lors de déplacements passe par un processus mental actif de représentations de l'environnement urbain, processus qui émerge de l'interaction entre l'individu et l'environnement. Il s'agit d'une démarche active, dans le sens qu'elle s'effectue tout au long du déplacement, et même avant que la personne ne commence à se déplacer physiquement. Par conséquent, dès qu'elle envisage d'aller à un endroit, elle peut commencer à se le représenter en s'appuyant sur ses expériences précédentes, en faisant une recherche sur internet, ou en se renseignant auprès d'un ami, etc.

La revue de littérature[1] nous a permis de reconstituer le processus mental de la représentation de l'espace lors du déplacement. Ce processus est composé de tâches cognitives interconnectées et agissant les unes sur les autres (selon des modalités rétroactives) : l'acquisition d'informations ; les filtres sensoriels qui s'appliquent à ces informations ; le traitement et l'interprétation des informations (création d'images successives et instantanées, sélection et mémorisation des images), et, enfin, la création d'un modèle simplifié de l'espace. Ces étapes peuvent se dérouler tout au long du déplacement, seulement

[1] Pour pouvoir décrire ce processus, nous avons explicité la structure du déroulement de ce processus mental en nous appuyant sur les travaux de Bailly (1977) et Paulet (2002).

à certains moments du déplacement ou encore durer seulement quelques secondes. Dans ce qui suit, nous présentons plus en détails ces différentes étapes.

1-2-3-1- L'acquisition d'informations sur l'espace

Comme le souligne Moliner (1996), l'acquisition de l'information concernant l'objet est la condition préalable à l'émergence des représentations. Ainsi, l'individu doit se confronter à la réalité et en tirer le plus d'enseignements possibles. En outre, Moliner (1996) pense que les groupes sociaux, ou l'individu, opèrent des sélections parmi les flux d'informations, de façon simplificatrice et orientée. En effet, les individus, selon leurs motivations et leurs intérêts, privilégient certaines informations de l'objet et en négligent d'autres.

Ceci est également valide pour les représentations de l'espace : la connaissance spatiale est la première étape du processus de construction des représentations mentales de l'espace (Crawford, 2004 ; Brunet, 2014). Elle est le résultat de l'acquisition d'informations à propos de l'espace réel. D'après les explications données par les travaux de Darken et Peterson (2001), Wiener et *al*. (2009), Brunet (2014) et Lakehal et *al*. (2018) la construction d'informations concernant l'espace se déroule de manière dynamique et permanente, par une mise à jour constante des informations tout au long du déplacement. En effet, selon eux, la personne en déplacement contrôle son parcours et vérifie ses informations, ou bien améliore l'interprétation de ses informations en permanence tout au long de trajet pour être au plus près du réel ou le plus efficace vis-à-vis de son objectif.

Wiener et *al*. (2009) précisent que lorsque l'individu se déplace dans l'espace urbain, l'acquisition d'informations peut comprendre trois niveaux.

- **Premièrement**, il s'agit de se renseigner au sujet de l'emplacement exact de la destination. Par défaut, la connaissance préalable d'un repère à proximité de sa destination peut l'aider également. Par exemple, si un individu doit se rendre à un atelier de peinture dont il ne connaît pas l'adresse et qu'en revanche il sait qu'il se situe en face de la cathédrale de la ville, il sait alors où il se trouve par rapport à son environnement et à sa destination.

- **Deuxièmement**, il s'agit de s'informer d'une partie du chemin ou de tout l'itinéraire reliant la position actuelle de la personne à sa destination de déplacement.

- **Troisièmement**, il s'agit de se renseigner au sujet de la configuration de l'environnement dans son ensemble, des alentours de la destination et de la relation spatiale d'au moins deux points. Il est ainsi possible que la personne partant d'un point de départ déterminé ne dispose ni de l'adresse exacte de sa destination, ni des informations relatives au trajet pour la rejoindre, mais qu'elle connaisse le secteur dans lequel est situé sa destination et qu'elle ait des informations spatiales relatives à sa destination sous la forme de quelques repères dans ce secteur. C'est par exemple le cas d'un individu qui essaye de se rendre à un magasin de chaussures dans le quartier central de la ville, dans la partie est du parc X, à proximité du musée d'Art moderne et de la gare, à quelques pas d'un restaurant chinois réputé.

1-2-3-2- Les filtres sensoriels de l'information

La connaissance spatiale se construit à partir des informations brutes provenant de l'extérieur, mais elle repose également sur la médiation du système sensoriel de la personne. Cela signifie que, quel que soit l'objet duquel proviennent les stimulations extérieures, celles-ci seront filtrées par le cerveau, en fonction de la capacité sensorielle de la personne. Puisque le système sensoriel est partie prenante du filtrage, il contribue à sélectionner les informations. Comme le souligne Bailly (1977, p. 29), « *l'individu ne perçoit que partiellement et partialement le monde réel* ». Ainsi l'individu perçoit « partiellement » la réalité vécue et en fait une reconstruction. Cependant, si tous les individus perçoivent partiellement la réalité vécue et la reconstruisent, ils ne le font pas de façon identique, puisque le filtrage de l'information est lié au potentiel du système sensoriel des personnes, à leurs caractéristiques personnelles (comme l'âge, la taille, l'état de santé physique et mental), à leurs moyens de déplacement, etc. Par exemple, le potentiel du champ visuel ou auditif de l'individu est limité. En outre, il varie d'une personne à l'autre. C'est pourquoi l'individu n'est pas capable de capter tout ce qu'il voit, et cela à des degrés différents de l'un à l'autre. Par ailleurs, la stratégie de recherche d'informations peut s'effectuer de manière passive ou active, ainsi que de façons directe ou indirecte lorsque des moyens de transports sont utilisés. En effet, quand les personnes se déplacent en voiture, elles reçoivent indirectement des informations (stratégie passive), car tous les membres de leurs corps ne participent pas directement au déplacement. De plus, ce sont en grande partie les yeux qui sont stimulés par le mouvement, et la vitesse de déplacement permet de capter certaines informations. Ainsi, ils ne captent qu'une partie des informations de l'espace réel.

En revanche, quand une personne se déplace à pied, premièrement, son corps, du fait de son activité physique, effectue directement le déplacement. Plusieurs capteurs de son système sensoriel sont alors exposés aux informations. Celui-ci est donc activement et directement stimulé par les informations. Deuxièmement, la vitesse du piéton n'est pas élevée, comparée aux modes motorisés de déplacement. Il découvre donc progressivement son environnement. La stimulation s'effectue donc de manière plus régulière et progressive et la quantité d'information qu'il reçoit est plus importante. Le piéton peut par exemple percevoir la qualité du revêtement du trottoir, les fonctions des bâtiments aux alentours, le nombre de personnes présentes, les bruits, les odeurs, la largeur du segment de la rue, les conditions météorologiques, etc.

Ainsi les informations reçues par le système sensoriel de la personne l'amènent à constituer une connaissance spatiale relative.

1-2-3-3- Le traitement et l'interprétation de l'information

Une fois que les informations brutes sont reçues et filtrées par le système sensoriel, le traitement cognitif débute : l'individu pense, commence à traiter les informations filtrées au préalable, il commence à les évaluer et à porter un jugement, consciemment et inconsciemment. L'individu les interprètent et les associe à un sens et à une valeur (Di méo, 2001, 2014). Ces opérations ne reposent pas uniquement sur l'activité de son cerveau, mais elles reposent également sur son origine socioculturelle (Bailly, 1977 ; Adam, 2016). Autrement dit, les dimensions socioculturelles et psychologiques de la personne interviennent dans le traitement des informations brutes du milieu. En effet, « *les informations spatiales ne sont ni d'ordre euclidien ni d'ordre topologique. Elles sont issues de catégorisation des éléments d'ordre sémantique et basé sur le jugement ou la perception de similarités des caractéristiques physiques du milieu* » (Depeau, 2006, p.13). Lorsqu'un individu se trouve face à l'espace, il commence à ranger et à classer les éléments de l'espace dans des catégories « adaptées », afin que celles-ci lui fournissent des clefs d'interprétation et de connaissance à propos de l'espace Moscovici (1976). Selon Adam (2016), Abric (1989) et Aldhuy (2003), la catégorisation et la classification des objets correspond à un processus mental par lequel les individus ou les groupes sociaux arrivent à réduire la complexité environnementale. Celle-ci se rapporte à la manière dont l'individu décompose, décode, classe et ordonne les réalités sociales et physiques. Ainsi, les individus catégorisent les éléments de l'espace en fonction de leurs caractéristiques communes, ce qui implique une diminution de l'effort cognitif dans le

traitement de l'information (Dias, 2016). De ce fait, la catégorisation permet aux individus d'appréhender une grande quantité d'informations environnementales en les regroupant de manière synthétique, ce qui facilite l'identification et la reconnaissance d'éléments préalablement connus ou inconnus (Adam, 2016). Ceci conduit à considérer que l'étape de la perception de l'espace commence par la sélection d'informations.

Lynch est un des premiers à avoir abordé la catégorisation des éléments physiques du milieu urbain par les individus pour la compréhension de l'espace urbain. Dans son livre « L'image de la cité » (*The image of the city*), publié en 1960, il a étudié à partir d'une approche empirique les représentations[1] mentales collectives de la ville. Il a analysé la qualité visuelle de trois villes américaines (Boston, Jersey City, Los Angeles) et les représentations de la structure urbaine de ces villes par les individus. D'un point de vue méthodologique, il a demandé aux enquêtés (les habitants de ces villes) de dessiner un croquis de la ville en s'appuyant sur leurs connaissances spatiales de la ville lors de déplacements. Il leur a également demandé de décrire le plus précisément possible leurs itinéraires dans la ville et de noter les éléments caractéristiques de la ville. Le résultat de ce travail lui a permis d'accéder aux représentations mentales collectives[2] de ces villes, fournissant ainsi un ensemble de cinq catégories d'éléments physiques collectivement reconnaissables des milieux urbains, lesquels constituent des éléments clefs des représentations mentales des villes. Ces catégories d'éléments sont :

- **les points de repère** : ce sont les éléments ponctuels locaux et visibles qui servent de référence pour se repérer. Ils aident en particulier les personnes à se situer dans l'espace pour pouvoir s'orienter et choisir la direction à suivre. Les points de repère servent davantage quand l'espace ou l'itinéraire est familier (Depeau, 2006). Les points de repère sont reconnaissables sous des angles et à des distances variées, et leurs apparences (par exemple leur taille, leur forme architecturale, leurs couleurs, etc.), sont singulières, comme c'est le cas pour les bâtiments particuliers ou historiques (les églises, les musées, les minarets des mosquées), ou les immeubles ayant des caractéristiques architecturales spécifiques (les tours) ;

[1] Lynch a utilisé l'expression d'« images collectives ».

[2] Ces représentations sont considérées comme des représentations collectives, puisque Lynch a regroupé, dans son travail, les éléments principaux perçus par toutes les personnes enquêtées.

– **les parcours/chemins** : ce sont des chemins linéaires qui constituent les relations spatiales entre les points de repère, ou bien que les individus empruntent généralement pour se rendre d'un lieu à un autre. Ce sont les éléments les plus structurants, puisqu'ils servent à appréhender les relations spatiales entre les éléments d'une ville. Leurs caractéristiques physiques peuvent être spécifiques telles que leur largeur, leur longueur, l'importance de leur volume de trafic, etc. ;

– **les nœuds** : il s'agit d'échanges, de jonctions ou d'intersections entre les chemins ou les voies. Ce sont des lieux de rassemblement, là où se déroulent les événements, par exemple les ronds-points, les stations de transports publics ou les croisements des lignes de transit comme les stations de métro ou les gares. C'est là où l'individu doit faire des choix et prendre des décisions de direction ou de mode de transport. Les nœuds sont fondamentaux pour la compréhension de la structure des espaces ouverts de l'environnement urbain ainsi que pour la compréhension de la structure des réseaux de voirie, fournissant de ce fait une orientation spatiale plus efficace ;

– **les zones/secteurs** : les zones ou les secteurs plus ou moins vastes ont une qualité interne spécifique qui les distingue des autres zones de la ville. Ils sont reconnaissables par leur forte identité qui repose soit sur une dimension sociale, soit sur une dimension affective ou fonctionnelle (Depeau, 2006). Comme c'est le cas par exemple pour les centres-villes, les quartiers historiques ou les quartiers ayant des fonctions urbaines spécifiques tels que les restaurants, les magasins, ou ceux abritant des populations d'ethnie distinctes, etc. Ils sont les lieux d'emplacement de points de repère. Les nœuds et les chemins les traversent et les relient ;

– **les limites/bords** : ils délimitent les zones ou les secteurs et créent des ruptures de cheminement ou de visibilité. Ils sont les éléments linéaires qui ne sont pas utilisés comme chemins, tels un lac, un cours d'eau, une rivière ou des voies de chemin de fer. Comme souligné par Darken et Peterson (2001), les limites ou les bords peuvent empêcher ou décourager les déplacements selon le moyen employé. Ainsi, pour les piétons, les autoroutes et les voies de chemins de fer peuvent être perçues comme des frontières entre deux zones, de même que pour les automobilistes, les voies réservées aux piétons et aux chemins de fer peuvent être considérées comme des bords.

Pourtant, comme l'a souligné Bailly (1977), le sens d'un lieu et sa forme ne se résument pas aux cinq catégories d'éléments physiques étudiés par Lynch. Il faut donc tenir compte des aspects symboliques, psychologiques et sociaux que suscitent les lieux chez l'individu et pour le collectif. Autrement dit, Lynch (1960) aborde l'interprétation et le traitement des informations provenant de l'espace urbain comme reposant essentiellement sur ses éléments physiques, alors que ce processus relève de différents aspects qui sont de natures diverses, tel l'ordre social, historique ou fonctionnel, qui peuvent également constituer des modes de catégorisation de l'information. Ceux-ci constituent donc un filtre pour l'interprétation de l'espace. Par exemple, les repères peuvent être très différents d'un individu à l'autre, sans forcément avoir de lien avec l'aspect physique et architectural des lieux. En fonction des souvenirs individuels d'une personne, un simple restaurant, une librairie qu'elle fréquente souvent, etc., peuvent devenir un repère dans un milieu urbain sans pour autant avoir une forme physique ou architecturale spécifique. Ou encore, il est possible que la catégorisation des éléments d'une ville ne soit pas la même pour les touristes que pour les habitants. En tous cas, ces processus de catégorisation permettent de réduire l'effort cognitif dans le traitement des informations de l'espace urbain. Ils impliquent donc une simplification de l'interprétation des données spatiales.

La création de successions d'images mentales instantanées

Les mécanismes précédents mènent à la création de séries d'images mentales instantanées et successives de l'espace perçu. Ceci est confirmé et décrit par l'architecte et urbaniste britannique Gordon Cullen, dans son ouvrage « *The concise townscape* » publié en 1961, et dans lequel il propose de nouvelles façons d'interpréter la ville. D'après lui, l'appréhension de la ville est le résultat des séquences visuelles (« *Serial of Visoins* ») de l'individu lors de ses déplacements pédestres au sein de l'environnement urbain et de la perception dynamique de ses éléments immobiles. Ainsi, il a évoqué que les représentations de l'espace urbain sont séquentielles, qu'elles se complètent de manière dynamique et constante au fur et à mesure que l'individu se déplace dans l'espace-temps, tout en ayant recours aux informations séquentielles visuelles qu'il reçoit progressivement de l'espace.

La mémorisation sélective des perceptions

Le fait de percevoir l'espace ne signifie pas qu'il va être mémorisé automatiquement. Les séquences visuelles de l'espace doivent être mémorisées instantanément ou bien conservées dans la mémoire à long terme. De même, il est possible que la personne puisse se remémorer

les informations enregistrées au préalable, ce qui lui permet ainsi d'interpréter et d'évaluer ultérieurement le milieu, même quand elle n'y est plus. La mémorisation agit également sur la sélectivité de la perception reposant sur certaines caractéristiques, qu'elles soient personnelles, liées à l'espace vécu (par exemple la présence d'éléments de repère dans l'espace), ou à la condition du déplacement (telle que la vitesse). Ainsi, dans toutes ces étapes, les informations concernant l'espace se réduisent. C'est la raison pour laquelle il y a un écart entre l'espace subjectif et l'espace réel. Dans la sous-section 1-2-4 nous décrirons les facteurs qui contribuent aux différentes étapes de la construction des représentations de l'espace lors des déplacements, ainsi que de la mémorisation des séquences visuelles.

1-2-3-4- La création de modèles simplifiés de l'espace

Partant des processus qui ont été évoqués précédemment, l'individu se crée un modèle mental simplifié de l'espace réel. Cette représentation spatiale constitue l'interprétation et l'organisation structurelle des informations spatiales recueillies, portant sur les caractéristiques physiques de l'espace, le positionnement relatif des lieux, et les significations qui leur sont associées (Dias, 2016). Ainsi, le point de départ, la destination, les repères et le trajet sont connectés dans les représentations de l'espace lors de déplacements. Comme le soulignent Bailly (1977), Depeau (2006) et Adam (2016), la représentation sert de guide pour l'action. C'est-à-dire qu'une fois que les représentations sont construites, la personne, en fonction de sa personnalité, ses contraintes socioculturelles, économiques, physiques et de ses motivations, évalue l'environnement et prend des décisions qui peuvent lui faire adopter un comportement et, éventuellement, mener à une action. Par exemple, c'est à partir de là qu'un piéton peut effectuer une décision sur sa direction ou le choix de son itinéraire et mener une action adéquate. En outre, l'individu est capable de projeter ses connaissances du milieu qui sont utiles aux déplacements ultérieurs et à l'orientation future dans l'espace urbain.

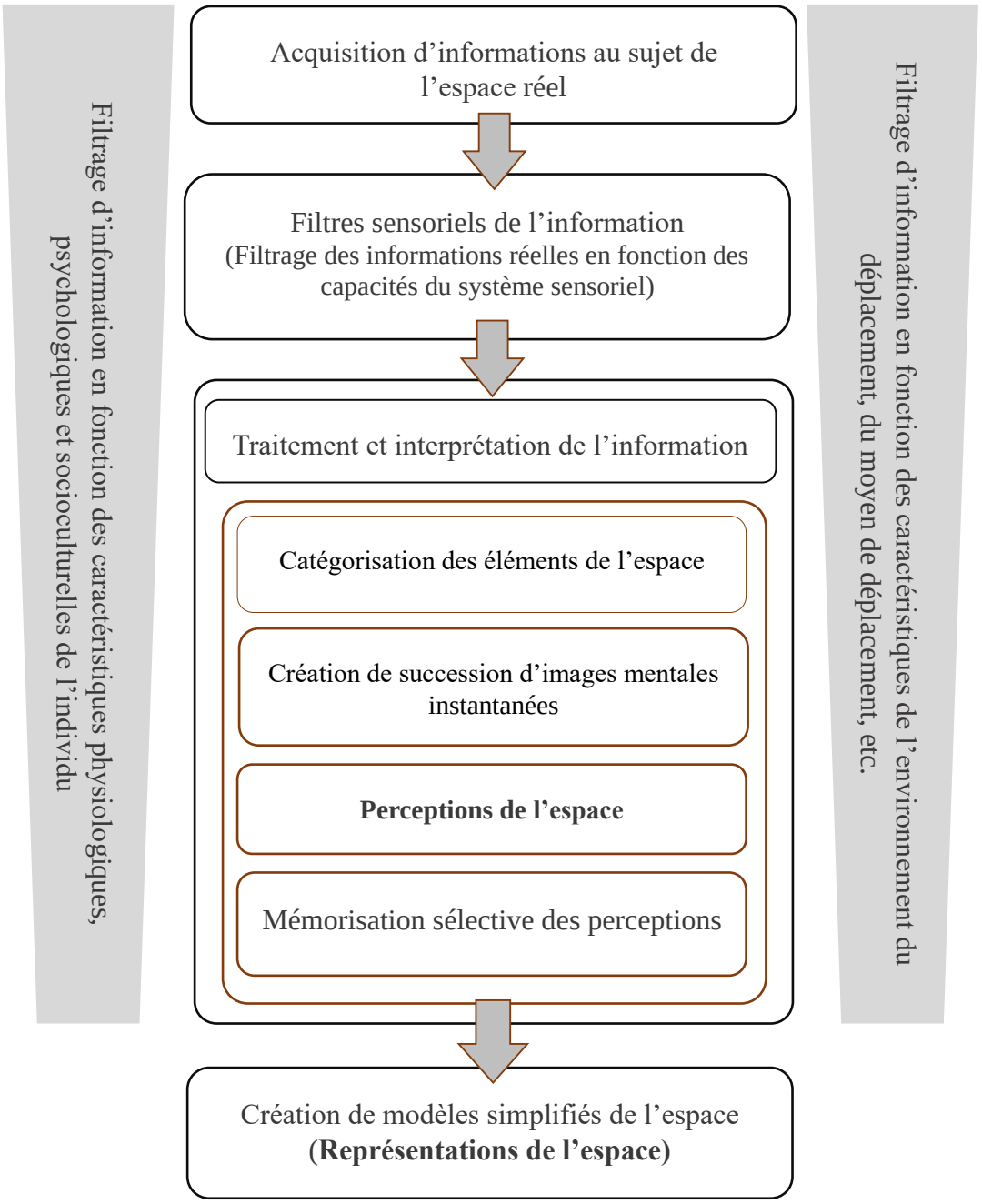

Figure 2. Processus de représentation de l'espace lors du déplacement
Réalisé à partir de Bailly (1977) et Paulet (2002)

1-2-4- Les principaux facteurs contribuant aux représentations de l'espace lors du déplacement

Nous avons constaté que tout au long des différentes étapes de la construction mentale des représentations de l'espace, les informations portant sur l'espace réel sont sélectionnées, réduites et simplifiées. Ceci explique, d'une part, l'écart entre le monde réel et les représentations mentales que l'on peut en avoir et, d'autre part, le fait que la représentation d'un même espace diffère d'un individu à l'autre. La construction des représentations de l'espace n'est pas neutre puisqu'elle s'explique à la fois en fonction des éléments de l'espace lui-même, mais aussi en fonction des caractéristiques individuelles et sociales des individus. C'est pourquoi les représentations de l'espace peuvent être très variées d'une personne à l'autre. De nombreux facteurs liés à l'individu viennent influencer, bien que de façons inégales, la construction des représentations de l'espace : les caractéristiques physiologiques et psychologiques de l'individu, son origine et son milieu socioculturel, sa catégorie professionnelle, son âge, son genre, son état d'esprit au moment de l'observation, sa sensibilité, ou ses motivations, etc. (Paulet, 2002). Nous admettons également que les caractéristiques du déplacement (tel le moyen utilisé, la vitesse, etc.) peuvent jouer un rôle fondamental dans toutes les étapes du processus de représentations de l'espace : de l'acquisition des informations à leur filtrage, en passant par la mémorisation des informations et la création de modèles simplifiés de l'espace. C'est pourquoi nous décrivons maintenant les principaux facteurs qui contribuent aux représentations de l'espace urbain, notamment lors du déplacement.

1-2-4-1- Les facteurs liés à l'environnement du déplacement

La compréhension de l'espace urbain se construit à partir de représentations de la structure de ce dernier. Ainsi, au fur et à mesure que la structure de l'environnement du déplacement devient lisible, sa compréhension devient plus facile pour les individus. La structure urbaine résulte de l'effet simultané des différentes composantes de la trame urbaine : ses éléments morphologiques tels que le bâti, l'occupation du sol, les voiries et des liaisons entre les éléments de cette trame (Carpentier, 2006). Cette définition ressemble à celle présentée par Lynch (1960) pour qui la structure d'une ville se réfère à la relation entre les éléments urbains et à la relation de ces derniers avec l'observateur (le piéton). Pourtant Marshall (1998) n'a pas pris en compte l'aspect relationnel entre les éléments de la ville. Il définit la structure urbaine

seulement comme un réseau de mouvements. Dans le cadre de cette thèse, notre définition de la structure urbaine renvoie à l'agencement entre les éléments urbains, lesquels assurent le mouvement et le déplacement dans le milieu urbain (qui correspond aux réseau de voirie et aux espaces publics ouverts). Par ailleurs, nous considérons que dès lors que la lecture de l'agencement des rues et des espaces ouverts devient plus aisée au cours des déplacements, il en va de même pour l'acquisition et la mémorisation d'informations du milieu urbain. Ceci peut donc influencer les représentations et donc le processus d'orientation dans le milieu urbain.

Les travaux de Lynch (1960), Weisman (1981), Passini (1984) et Vaez et *al*. (2016), soulignent que certaines caractéristiques de la forme urbaine peuvent améliorer la lisibilité[1] de la structure urbaine et donc faciliter les représentations de l'espace urbain. Lynch (1960) distingue trois qualités subjectives principales de la forme urbaine, lesquelles facilitent les représentations mentales d'une ville : la **lisibilité** (la clarté de ses éléments et la facilité d'identifier et de reconnaître les éléments structurels de la ville par les indications sensorielles ou les souvenirs préalablement construits en lien avec l'histoire ou les symboles collectifs) ; l'**identité** (ce qui fait qu'une forme urbaine est identifiable et unique et qu'on la reconnaît facilement) ; et la **signification** pratique ou émotive (qui correspond à la capacité de la forme urbaine d'une ville à provoquer des images mentales chez les individus, ce que Lynch appelle l'« imagibilité » de la ville). Lynch (1960) a également proposé la catégorisation des éléments physiques de la structure urbaine en cinq classes d'éléments reconnaissables par les individus (points de repères, parcours/chemins, nœuds, secteurs et limites). Celles-ci favorisent, premièrement, la réceptivité potentielle et la mémorisation de la structure urbaine. Deuxièmement, elles rendent la forme urbaine lisible et intelligible visuellement. Lorsque la disposition de ces cinq éléments est identifiable pour la personne, la ville devient plus lisible et plus facile à imaginer, ce qui constitue un rôle fondamental dans les représentations mentales de la ville et peut, par conséquent, faciliter l'orientation dans le milieu urbain. Lynch (1960) reconnaît même une certaine anxiété chez les personnes quand ils n'arrivent pas à se repérer dans l'espace, ce qui souligne l'importance de la lisibilité de l'environnement urbain. Weisman (1981) et Passini (1984) partagent la même idée que Lynch (1960) en considérant la lisibilité de l'environnement construit comme une qualité fournissant les informations compréhensibles de l'espace. Cette lisibilité facilite les représentations de l'espace, et par

[1] La lisibilité correspond à la facilité d'identifier les éléments de la ville.

conséquent le processus d'orientation dans l'espace lors du déplacement. Weisman (1981) considère que le degré « **d'accès visuel** » est une des variables de l'environnement urbain qui influence l'acquisition d'informations nécessaires pour l'orientation dans l'espace. Par conséquent, le degré d'accès visuel peut susciter des représentations plus détaillées et/ou plus précises du milieu. D'après ce chercheur, « **l'accès visuel** » fait référence à la mesure par laquelle différentes parties d'un environnement peuvent être vues depuis d'autres parties. Par exemple, un degré plus élevé d'accès visuel à un repère perceptible de plusieurs points de l'espace peut favoriser la reconnaissance et la localisation dans l'espace et ainsi améliorer la performance d'orientation des individus. Cette mesure nous a semblé très similaire à la lisibilité de l'espace définie par Lynch que nous venons mentionner.

Bailly (1977) considère aussi que certains éléments physiques de l'environnement urbain peuvent influencer, par leurs lisibilités visuelles, les représentations de l'espace. Il les a appelés les « **éléments singuliers** » de l'espace urbain, qui correspondent aux monuments iconiques marqués par une apparence architecturale singulière au niveau de la forme, du volume, de la taille, de la couleur, ainsi que par leur force symbolique et culturelle (comme les monuments historiques par exemple). Ces éléments visuellement singuliers sont des centres d'intérêt visuel pour les individus. Ils attirent le plus l'œil et sont mémorisés plus facilement par les personnes. Ils constituent souvent les points structurants du milieu urbain, ceux que Lynch appelle les points de repère. Weisman (1981) aussi a considéré qu'une des variables extérieures à l'individu qui influence les représentations de l'espace urbain est la **distinction**. Il la définit comme une qualité par laquelle les différentes parties d'un environnement bâti deviennent différentes et distinctes les unes des autres. Cet auteur explique que les éléments urbains bien distincts ont la particularité d'être mieux mémorisables. C'est la raison pour laquelle nous trouvons que cette idée partage à peu près le même sens que « **la singularité des éléments »** mentionnée par Bailly (1977) ainsi que « **l'identité »** de la structure urbaine évoquée par Lynch (1960).

Évaluer l'influence des paramètres esthétiques de paysage sur les représentations de paysages routiers a été l'objectif du travail d'Appleyard et *al.* (1964) dans « *The View Form the Road* ». Ils ont mené une étude empirique sur vingt conducteurs de voitures qui parcouraient des autoroutes reliant Boston à Philadelphie, en passant par Hartford et New York. D'après eux, certaines qualités subjectives des éléments physiques aux bords de ces autoroutes, telles que la vue d'une activité animée, les points de repère ou d'autres éléments visuellement distincts fournissant une richesse visuelle peuvent produire des images distinctes

du paysage autoroutier, ce qui rend la mémorisation du paysage autoroutier plus facile. Ils ajoutent que la singularité visuelle de certaines constructions tels les bâtiments et les ponts, contribue à un repérage plus aisé des éléments de paysage urbain. Ceci confirme également l'importance de la singularité visuelle des éléments physiques du milieu urbain (évoqué sous-dessus) et la lisibilité de sa structure en lien avec les représentations mentales de l'espace urbain. Cependant, nous pensons que cette singularité ne se limite pas aux aspects physiques des éléments urbains, mais qu'elle peut également être due à l'aspect fonctionnel, historique ou symbolique de ces éléments. De ce fait, un bâtiment ayant une apparence architecturale tout à fait banale peut représenter un souvenir particulier ou un évènement dans le passé pour l'individu ou des groupes sociaux. Il peut par exemple rappeler une rencontre amoureuse, un incendie, un attentat, etc.

Il est montré dans plusieurs travaux (Bailly, 1977 ; Newman, 1973 ; Whyte, 1980 ; Gehl, 1980; Ellard, 2016) que certaines caractéristiques fonctionnelles de l'environnement urbain (par exemple l'existence d'activités qui incitent à la marche et à la présence d'individus dans l'espace urbain) peuvent influencer son attractivité de façon « objective » et « subjective », ce qui à son tour peut influencer les représentations de l'espace urbain lors du déplacement. Cela renvoie à la diversité des fonctions urbaines, notamment aux fonctions de commerce et de restauration comme c'est le cas pour les restaurants, les cafés, les commerces ayants des vitrines, etc. qui peuvent contribuer à la coprésence des personnes, à la convivialité, à la sécurité (réelle ou ressentie) et au bien-être social au sein des quartiers. Ces lieux, par leurs caractéristiques fonctionnelles, permettent l'émergence de représentations différentes de l'environnement urbain. Cela rejoint en quelque sorte l'idée de Lynch (1960) selon laquelle les qualités spécifiques de certains secteurs de la ville favorisent la mémorisation de la structure urbaine, rendant ainsi les représentations plus riches et plus détaillées (voir les zones/secteurs dans la sous-section 1-2-3-3). Ellard (2016) affirme lui aussi que la qualité des aménagements urbains, les façades des bâtiments, l'existence d'arbres au bord des rues peuvent également attirer le regard, ce qui contribue à une construction plus rapide des représentations de la disposition des milieux urbaines. Weisman (1981), quant à lui, postule que la signalisation par une signalétique directionnelle peut faciliter la compréhension de l'espace et donc qu'elle contribue aux représentations de ce dernier.

1-2-4-2- La configuration du réseau de voirie

La configuration du réseau de voirie et la forme du tracé urbain peuvent influencer les représentations de l'espace, notamment les représentations du trajet lors du déplacement. La simplicité ou au contraire la complexité de la structure du réseau de voirie liée à la forme du tracé urbain, rend plus ou moins compréhensible sa lecture. Lynch (1960) souligne l'importance du réseau de voirie orthogonale qui produit une forme de tracé urbain simple et lisible dans les représentations des structures spatiales de Los Angeles, Jersey City et Manhattan. En effet, il soutient l'idée qu'une configuration simple et moins complexe du réseau de voirie peut avoir pour effet des représentations mentales plus claires et plus précises de la ville. Weisman (1981) partage les mêmes points de vue et il souligne que dans des tracés urbains complexes, les représentations de l'espace sont plus imprécises et confuses. Par contre, de manière tout à fait opposée à Lynch (1960), certains auteurs comme Jacobs dans « Déclin et survie des grandes villes américaines » (*The Death and Life of Great American Cities*) publié en 1961, critique la simplicité de la structure du réseau de voirie des villes modernes et met fortement en question les villes américaines issues du Mouvement moderne (ou Architecture moderne). Selon cette chercheuse, les villes modernes ne sont pas en mesure d'assurer une bonne qualité de vie en raison des modèles de tracés urbains très ordonnés et en forme de grille. En effet, elle considère que ces réseaux de voirie sont monotones et peu stimulants pour le piéton, car toutes les rues sont similaires, sans particularité, sans diversité esthétique ou fonctionnelle. Ces rues quadrillées forment également de grands îlots urbains, ce qui allonge les trajets pour les piétons. En d'autres termes, Jacobs (1961) soutient que le désordre organique des vieilles villes (prémodernes) offre une meilleure qualité de vie aux usagers de l'espace urbain. Pour Alexander (1964) comme pour Jacobs (1961), la complexité du désordre de la structure urbaine est une qualité visuelle pour les villes. À l'opposé de ces idées, certaines études (Hillier et Hanson, 1984 ; Derycke et *al*., 1993 ; Hillier, 1996) considèrent que la complexité du réseau de voirie n'est pas une qualité. Derycke et *al*. (1993) expliquent que les formes urbaines simples (comme le cercle, le carré, l'hexagone, l'étoile) et les structures régulières (comme les organisations radio-concentriques ou en quadrillage) facilitent les représentations mentales de la ville. En accord avec cette idée, Hillier et Hanson (1984) et Hillier (1996) (architectes et designers urbains à Londres) ont développé une approche qui établit un lien entre la distribution des flux de piétons et leurs représentations de la configuration du réseau de voirie. Selon eux, les représentations de l'espace se font en fonction des mesures topologiques de l'espace et du nombre de changements de direction

nécessaires pour joindre la destination. Ils considèrent donc que la complexité de réseau de voirie peut contribuer à plus de changements de direction et par conséquent à une compréhension moins rapide et moins facile de la disposition des espaces pendant le déplacement. Ainsi, d'un côté nous pensons que trouver son chemin peut devenir plus difficile et stressant à mesure que la configuration de réseau de voirie se complique et que les tracés urbains deviennent complexes. *A contrario*, nous considérons qu'une configuration spatiale lisible peut contribuer à un sentiment de bien-être, de sécurité, notamment pour les piétons. D'un autre côté, un réseau de voirie plus simple peut aussi être plus ennuyeux, ne laissant pas place à l'imagination, l'attente ni la surprise. C'est pourquoi la deuxième partie de notre thèse présente et analyse l'approche de Hillier afin d'évaluer le rôle de la topologie du réseau de voirie sur l'orientation des piétons dans les milieux urbains.

1-2-4-3- Le moyen de déplacement

Les différentes étapes du processus de la constitution mentale des représentations de l'espace (la réception d'informations, leur traitement, etc.) peuvent varier en fonction du mode de déplacement. Cela contribue aux représentations de l'espace reposant sur les aspects suivants.

Premièrement, selon le moyen de déplacement employé, la vitesse du déplacement est variable. Ceci n'est pas sans effet sur la réception d'informations de l'espace, ce qui se répercute sur les représentations du milieu urbain. Par exemple, la rapidité du déplacement peut empêcher la perception de certaines informations de l'environnement et donc diminuer la quantité d'informations acquises relatives à l'espace. Appleyard (1970) et Bailly (1977) pensent que selon le moyen de transport (voiture, vélo, bus, train ou marche) et en fonction de la vitesse du déplacement, les informations reçues lors de ce déplacements et l'enregistrement des séquences visuelles (images) du paysage sont diverses. Ainsi, lorsque la vitesse de déplacement est moins rapide, la personne a plus de temps pour acquérir des informations, remarquer les détails de l'espace et percevoir des successions d'images plus lentement. Ce qui lui permet également une meilleure mémorisation du trajet. Nous estimons que la perception des successions d'images est plus détaillée quand le déplacement est effectué à pied que lorsqu'il est effectué en voiture ou par d'autres moyens motorisés. En outre, en voiture, il n'y a pas de relation directe entre le corps de la personne (conducteur ou passager) et l'espace. C'est la raison pour laquelle le piéton peut remarquer beaucoup plus de détails visuels que les utilisateurs de modes de déplacement motorisés (Appleyard, 1970 ; Hall, 1966 ; Bailly, 1977 ;

Ellard, 2016). En effet, comme le souligne Hall (1966), l'augmentation de la vitesse de déplacement mène à une décroissance de la précision sensorielle de l'individu. De ce fait, la sensation visuelle de l'individu dans la voiture est beaucoup plus restreinte que celle du piéton. Ainsi, comme l'affirme Piombini (2006, p.80), « *la ville vue à pied est donc fondamentalement différente de celle vue en automobile* ».

Deuxièmement, les représentations mentales de l'espace chez les piétons peuvent également différer de celles des utilisateurs des moyens motorisés de déplacement du fait que leur contact avec l'espace n'est pas le même. Comme l'ont mentionné Appleyard (1970), Bailly (1977) et Hall (1966) la voiture immobilise le corps (qui est assis) et de plus l'isole (il est enfermé) de l'environnement urbain, ce qui rend les utilisateurs de la voiture (les conducteurs aussi bien que les passagers) inactifs et passifs. De ce fait, l'automobile fonctionne comme une coque et réduit le contact de la personne avec son environnement. Ainsi, elle le sépare de l'espace réel et l'espace kinesthésique sera dissocié de l'espace visuel (Paulet, 2002). De même, les représentations des usagers de l'automobile sont principalement fondées sur le visuel. Par conséquent, les utilisateurs des moyens motorisés de déplacement, notamment la voiture, ont des représentations mentales beaucoup plus restreintes et moins détaillées de l'espace urbain que les piétons (lesquels sont en contact plus direct avec l'environnement).

Troisièmement, les utilisateurs de transport en commun et ceux de voitures particulières peuvent avoir des représentations différentes de l'espace urbain. C'est ce qu'Appleyard (1970) vérifie dans son étude en faisant dessiner une carte cognitive des éléments spatiaux de la ville, dessiné par les passagers de bus et les conducteurs de voitures particulières au Venezuela. Il constate que parmi les passagers de bus, 80 % ne sont pas capables d'établir une carte cohérente sur les éléments structurants de leur ville, telle que les routes ou les bâtiments. Par contre, chez les conducteurs de voitures, les séquences routières sont moins fragmentées et mieux cartographiées et la carte cognitive est plus cohérente : les éléments perçus sont plus variés, plus nombreux et plus continus. En d'autres termes, les automobilistes ont des représentations plus précises de l'espace urbain. Appleyard a nuancé ces résultats en expliquant que cela peut être lié à plusieurs facteurs. Premièrement le trajet des lignes de bus de l'époque sont indirects et complexes et ils passent par plusieurs quartiers avant d'atteindre les destinations principales. Deuxièmement, il suppose que la difficulté de voir à travers la vitre avant des bus bondés, l'absence d'annonces à chaque arrêt, etc., sont des facteurs qui contribuent à ces résultats. En revanche, Bailly (1974) interprète les résultats des travaux

d'Appleyard (1970) autrement : il estime que le niveau d'éducation différent des usagers des bus et les voitures contribue indirectement aux résultats. Il considère qu'à l'époque, au Venezuela, ce sont les personnes les plus éduquées qui ont accès à la voiture particulière et que par ailleurs, l'éducation facilite la conceptualisation de l'espace. Ainsi, les utilisateurs des voitures ayant un niveau d'éducation plus élevé, peuvent, par leur meilleure connaissance du milieu urbain, établir des cartes plus cohérentes de la structure urbaine, cartes dont les représentations sont différentes de celles des usagers de bus. Si nous acceptons l'argumentation de Bailly (1974) cela signifie que le niveau d'éducation des personnes peut amener à des représentations différentes de l'espace. Mais de nos jours, la possibilité d'utiliser le smartphone ou l'ordinateur portable dans les transports en commun, permet de valoriser le temps de déplacement et peut profondément modifier la perception spatio-temporelle du déplacement (Courel et Deguitre, 2020).

Quatrièmement, pour décrire l'effet du moyen de déplacement sur les perceptions du trajet de manière encore plus détaillée, Ellard (2016) compare les représentations des conducteurs (de voiture) avec celle des passagers (des transports publics ou bien de la voiture). Partageant la même idée que Hall (1966), Bailly (1974) et Paulet (2002), il explique que conduire un véhicule est une situation moins passive que d'être simplement s'asseoir en tant que passager (dans la voiture ou les transports publics). Ces auteurs considèrent donc que le passager est plus passif que le conducteur. Bailly (1974) reconnaît même des différences de représentations concernant la durée du déplacement entre les conducteurs et les passagers : le conducteur étant relativement actif et occupé par le pilotage, il a tendance à minimiser la durée du déplacement, alors que le passager, étant plutôt passif, s'ennuie et surestime la durée du déplacement. Il en ressort que les représentations de l'espace peuvent être variées en fonction du degré d'activité des personnes dans les moyens de transport.

De plus, le champ de vision des conducteurs et des passagers ne sont pas similaires, ce qui peut également amener à l'élaboration de représentations différentes de l'environnement urbain. Selon Appleyard et *al*. (1964), chez le conducteur de voiture, l'angle de vision est relativement étroit et limité en fonction de ce qui se trouve devant le véhicule, alors que le passager est un observateur, ce qui lui confère plus de liberté pour regarder l'environnement. En effet, son champ de vision est plus large et ne se limite donc pas à l'avant du véhicule. Contrairement au conducteur, le passager a beaucoup plus de liberté quant à la direction dans laquelle il peut regarder, car il ne prend aucun risque en fixant des yeux un objet ou en tournant la tête. De plus, nous postulons que le champ de vision du passager dépend

également de son emplacement exact dans la voiture : le fait qu'il soit assis à l'avant du véhicule lui permet d'avoir un angle de vision plus large que s'il est assis à l'arrière.

1-2-4-4- La familiarité avec l'environnement du déplacement

La familiarité avec l'environnement du déplacement, la fréquence et la durée de fréquentation peuvent contribuer à des représentations différentes de l'espace. Le travail d'Appleyard et *al*. (1960) et celui d'Appleyard (1970) montrent que l'expérience personnelle, c'est-à-dire la familiarité du trajet, peut changer les représentations : si la personne à l'habitude de parcourir un axe, elle remarquera les types d'activité, le trafic, les éléments récemment modifiés ou apportés. Elle sera aussi capable de remarquer les changements. Mais si elle fait du tourisme ou si elle voit pour première fois le paysage routier, ses représentations seront différentes par rapport aux habitués de ce même trajet. Non seulement le touriste ne parvient pas à remarquer les changements en raison de son absence d'expérience, mais il est aussi occupé à s'orienter et à se situer dans le milieu urbain. En revanche, selon Lynch (1960), comme le touriste est principalement engagé à se familiariser avec l'environnement et à expérimenter le paysage, il est plus actif et regarde son milieu avec un œil neuf. Il peut donc capter plus de détails. Appleyard et *al*. (1960) précisent que les touristes ne s'intéressent pas à la même chose que les habitués d'un trajet, et qu'ils sont susceptibles de plus s'intéresser aux activités aux bords des routes.

A contrario l'étude de Carr et Schissler (1969), cités par Bailly (1977)[1] minorent le rôle de la familiarité avec le milieu sur les représentations de l'espace. Ils postulent que la familiarité avec le milieu ne modifie pas beaucoup les représentations générales du trajet, mais que les personnes habituées au trajet donnent une description plus précise du paysage. Bailly (1977), pour sa part, nuance les résultats de ces travaux en disant que les passagers et les conducteurs habitués de ces autoroutes se souviennent mieux des éléments qu'ils ont vus pendant une durée plus longue. Cela signifie que c'est la durée d'observation du trajet qui influence les précisions des représentations du trajet et non sa fréquence (sa familiarité). Ceci est également opposé à l'idée développée par Derycke et *al*. (1993) et Paulet (2002). Selon Derycke et *al*. (1993) les représentations de l'espace varient selon le niveau de connaissance préalable. Ils précisent que dans les milieux bien connus et familiers, les trajets seront perçus comme étant plus courts que la réalité, alors que dans les milieux moins connus la distance sera surestimée.

[1] Cette étude a pour objectif de comprendre le processus perceptif des passagers et des conducteurs sur les autoroutes nord-est et sud-est de Boston.

Pour sa part, Paulet (2002) argumente de manière un peu différente. En faisant référence aux travaux de Moles et Rohmer (1972) qui concernent le lien entre la proximité d'un lieu et la connaissance de ce lieu, Paulet (2002) suppose que l'individu connaît mieux un milieu qui lui est géographiquement proche. De plus, cet auteur considère que les informations (et donc la connaissance) diminuent relativement à l'augmentation de la distance avec ce milieu. Il est donc possible de supposer que dans les secteurs qui sont à proximité de lieux de fréquentations, leur meilleure connaissance potentielle provoque des représentations plus précises de ces milieux. Ces auteurs se sont concentrés sur les représentations des usagers d'automobiles, mais nous postulons que ces résultats s'appliquent également aux piétons.

1-2-4-5- Les sources d'acquisition d'informations et les représentations de l'espace

Il existe de nombreuses façons d'acquérir des informations pour la construction de représentations de l'espace. En effet, lors d'un déplacement, la personne interagit avec son environnement en ayant recours aux différentes sources d'information, lesquels fournissent chacune des visions différentes de l'espace. Ces sources d'information peuvent par conséquent amener à des constructions variées des représentations de l'espace. Par la suite nous présentons ces sources variées d'acquisition d'informations concernant l'espace et les manières dont elles contribuent aux représentations de milieux urbains.

L'acquisition d'informations à propos de l'espace à partir des sources primaires (ou sources directes) : Cullen (1961) estime que les représentations de la ville[1] sont toujours conçues de manière égocentrée, donc selon la perspective de l'observateur (le piéton) lui-même, puisque celui-ci se déplace en fonction de la position de son corps et en fonction d'où il se trouve dans le contexte urbain. Par ailleurs, la mémorisation de séries de points de repère et la localisation d'un repère fixe et visiblement accessible participent fondamentalement au processus égocentré d'acquisition d'informations de l'espace. Ainsi, les informations proviennent directement de l'exposition de la personne à l'environnement avec lequel elle se trouve en interaction avec l'espace, mais aussi d'expériences directes et sensorielles de l'espace (Brunet, 2014 ; Wolbers et Wiener, 2014).

Selon Darken et Peterson (2001) et Brunet (2014), l'acquisition d'informations de l'espace par les sources directes, et donc par la simple présence de la personne dans le milieu, repose

[1] Il a utilisé l'expression « l'image de ville ». Comme nous l'avons expliqué dans la sous-section 1-2-2, cette expression est synonyme de « représentation de la ville ».

en effet sur ses expériences antérieures dans un environnement familier. D'après ces auteurs, ces types de représentations mentales de l'espace s'appuient sur les informations préalablement enregistrées de l'espace familier. Par exemple, si un individu est invité chez un ami et que ce n'est pas la première fois qu'il va chez lui, il s'appuie sur les informations précédemment recueillies afin de trouver le chemin, car il connaît l'emplacement de son lieu d'habitation. De ce fait, les représentations de l'espace dépendent donc de la capacité de la personne à mémoriser et à se remémorer, à encoder et à mettre en relation les éléments environnementaux avec ses expériences antérieures. Mais nous pensons que l'acquisition d'informations par des sources directes peut également se faire dans des environnements totalement inconnus (non familiers), donc de manière exploratoire, et que la personne peut se déplacer par approximation et intuition. Cela permet à la personne de découvrir un milieu pour la première fois, comme un touriste. Mais l'acquisition d'informations repose toujours sur les connaissances antérieures et sur les expériences similaires d'autres milieux ou sur les préjugées de la personne, qui peuvent ne pas correspondre à l'espace réel. Par exemple, avant qu'une personne ne voyage ou se déplace dans un quartier de la ville, elle a des représentations variées de ces espaces par rapport aux autres personnes, selon ses connaissances, son parcours de vie, sa culture et ses caractéristiques individuelles, etc. Une fois sur place, ses représentations peuvent être vérifiées et modifiées selon sa flexibilité intellectuelle. Nous pensons également que l'acquisition d'informations de manière purement égocentrique est rare et qu'elle repose sur des connaissances préalablement acquises, s'exerçant de ce fait plutôt dans des milieux familiers. À l'opposé, les représentations de milieux non connus ou moins connus nécessitent l'acquisition d'informations de manières diverses et de vérifier son emplacement dans l'espace par des perspectives allocentrées. De plus, le moindre changement dans des milieux déjà familiers peut aussi remettre en question les informations précédemment acquises, ce qui nécessite la mise à jour des informations par diverses sources.

L'acquisition d'informations concernant l'espace à partir de sources secondaires : si les individus ne parviennent pas à accéder directement aux informations nécessaires, ils les recherchent ailleurs. Dans ce cas, les informations proviennent de manière médiatisée de l'espace indirectement connu, c'est-à-dire par des inférences d'informations fournies par une carte (numérique ou physique), des panneaux d'orientation, ou bien des instructions verbales et des descriptions de tierces personnes. Dans ce cas, un passage de la perspective égocentrique en perspective allocentrique est nécessaire. Ainsi, ces représentations sont

formées de manière indépendantes du cadre de référence de l'emplacement de la personne et elles fournissent des connaissances globales de la configuration des éléments de l'espace sous forme d'une carte mentale. Il convient de préciser qu'une carte est une représentation de l'espace depuis un point qui le surplombe. Selon Moscovici (1976), l'acquisition de connaissances indirectes sur l'espace peut entraîner une émergence progressive de représentations. Ainsi, les représentations de l'espace s'élaborent en fonction des informations générales de l'environnement. Elles sont relatives à la localisation d'un repère par rapport à un ou plusieurs autres repères, tout en étant indépendantes de la position de la personne dans l'espace (Brunet, 2014). De même, ce type de représentations peut s'élaborer en l'absence d'éléments spatiaux à portée de vu de l'individu. La formation de la représentation passe également par l'interaction avec d'autres individus et elle peut subir une transformation en passant le filtre de la communication.

L'acquisition d'informations à propos de l'espace peut également s'effectuer de façon mixte : les sources sont alors à la fois indirectes et directes, parfois de façon complémentaire. Ainsi, il est possible que la personne ait certaines parties d'informations du fait de sa connaissance directe de l'espace liée à des expériences antérieures, et par rapport à sa position dans l'espace. Il est également possible qu'étant directement présente dans l'espace, elle complète ou vérifie ses informations à l'aide d'autres points de repère qui diffèrent de son propre emplacement. De plus, il y a une autre possibilité : celle que la personne ait besoin de compléter ses informations ou de vérifier la validité des informations précédentes à l'aide de sources indirectes, par exemple en faisant appel aux panneaux d'orientation ou en demandant à une tierce personne son chemin. De cette manière, la construction de représentations de l'espace combine les perspectives égocentrée et allocentrée, ce qui mène à des représentations variées de l'espace.

1-3- La prise de décision du choix d'itinéraire

Une fois que les connaissances de l'environnement de la marche sont acquises en fonction des représentations de l'espace, le piéton passe au niveau stratégique. Pour choisir son itinéraire, il doit s'orienter dans l'espace et prendre des décisions. En effet, la prise de décision est donc un ensemble de sous-tâches organisées dans le temps et dans l'espace. Ceci permet de choisir parmi toutes les alternatives potentielles le chemin le plus adapté possible aux critères que se donne l'individu. Ensuite, la personne doit passer au niveau opérationnel : elle doit transformer ses décisions en actions pour atteindre la destination souhaitée. De plus,

comme le soulignent Dalton et *al*. (2019) et Symonds (2017), le processus d'orientation dans l'espace (*wayfinding*) n'est pas uniquement une activité individuelle. Plus largement, il s'agit d'une activité sociale dans laquelle le processus effectué par un individu n'est pas toujours un processus mental isolé et individuel. Parfois, il est influencé directement ou indirectement par d'autres individus. En effet dans de nombreuses situations, il suit d'autres personnes, et comme l'a précisée Symonds (2017), les comportements de groupe et d'imitation (comme par exemple le fait de suivre les autres) est très courant dans le processus d'orientations dans l'espace (*wayfinding*). Toutefois, concernant les informations et les connaissances de l'espace dont dispose l'individu, la prise de décision et les stratégies à appliquer pour les mettre en action sont variées. Wiener et *al*. (2009) et Wolbers et Wiener (2014), distinguent les stratégies de prise de décision **« aidées »** (assistées) des stratégies **« sans aide extérieure »** (non assistées) qu'ils décrivent comme suit :

> **La prise de décision sans aide extérieure (non assistée)** : elle s'effectue de manière autonome, donc sans être dépendant d'autres personnes ou d'autres moyens (tels que les cartes ou les panneaux de signalisation). Elle se divise en deux sous-catégories, « dirigée » ou « non dirigée », en fonction de la destination du déplacement de l'individu. La décision sans aide extérieure est considérée comme **« non dirigée »** quand il s'agit d'un déplacement récréatif, sans destination prédéterminée. Dans ce cas, soit l'environnement de la marche est familier à la personne, (elle exécute alors les décisions similaires à celles prises auparavant et elle effectue des trajets déjà pratiqués et enregistrés), soit elle tente d'explorer un nouvel environnement de marche. En revanche, les stratégies de prise de décision sont désignées comme **« dirigées »** lorsque l'objectif spatial (la destination) du déplacement est prédéterminé. Dans ce cas aussi, (1) soit l'individu connaît déjà l'emplacement de sa destination par rapport à son emplacement de départ, ce qui lui permet de s'appuyer sur ses expériences précédentes pour trouver son itinéraire. (2) Soit l'individu ne connaît pas encore l'emplacement de sa destination. Dans ce cas, il est face à deux situations : premièrement, il est possible d'avoir les informations *a priori* sur l'itinéraire ou l'environnement de sa destination lui est familier. Deuxièmement, il a très peu de connaissances de l'itinéraire, ce qui ne lui permet pas de planifier sa recherche à l'avance. Il a donc constamment besoin de surveiller et de vérifier son itinéraire en s'appuyant sur certains éléments de l'environnement, par exemple les repères

urbains. (3) En outre, la connaissance de l'emplacement du point d'arrivé n'est pas suffisante pour la prise de décision et l'application des stratégies d'action. Il faut aussi avoir des informations sur l'itinéraire qui lie le point de départ aux points par lesquels passe le piéton pour atteindre sa destination. Encore une fois, la personne est confrontée à deux situations différentes, même quand sa destination est prédéterminée et qu'elle a une connaissance préalable de l'emplacement de cette destination : (a) soit elle dispose d'informations préalables adéquates sur tout ou une partie de l'itinéraire de son déplacement pédestre. Dans ce cas elle s'appuie sur ses expériences similaires antérieures en se référant aux informations déjà mémorisées, tout en surveillant la séquence appropriée d'actions au moment de l'exécution du trajet. Elle exécute donc le plan de décision déjà pratiqué et mémorisé. (b) Soit l'itinéraire de déplacement ne lui est pas familier. Dans ce cas elle doit chercher son chemin et ses stratégies seront complètement différentes.

La prise de décision aidée (assistée) : il s'agit bien d'utiliser une aide externe pendant le processus de planification d'action pour choisir l'itinéraire afin de joindre la destination. Elle s'effectue donc de manière dépendante d'autres personnes ou de moyens tels que les cartes ou les panneaux de signalisation. Dans le cas où une tierce personne intervient, comme le précise Symonds (2017), les autres individus peuvent jouer le rôle de co-décideur : (1) en étant accompagné d'un autre individu et en prenant les décisions ensemble ; (2) l'autre individus joue le rôle de moniteur en prenant toutes les décisions de choix d'itinéraire à la place de l'individu : cela peut se faire soit à partir d'un échange direct avec une personne croisée sur le chemin en lui demandant le trajet à parcourir, soit en étant accompagné par quelqu'un qui prend toutes les décisions à la place de l'individu ; (3) la prise de décision aidée peut également être soumise à l'influence sociale faible et indirecte d'autres personnes, sans aucune communication intentionnelle et directe entre les personnes. Par exemple, pour trouver l'itinéraire d'une école, il est possible de suivre les enfants croisés par hasard sur le chemin, sans leur poser la moindre question. Dans cet exemple, les autres individus jouent le rôle des repères. Ces trois situations mettent en évidence que le processus d'orientation dans l'espace peut parfois être considéré comme une activité sociale. (4) La prise de décision peut également se faire à l'aide d'un GPS ou de panneaux de

signalisation. Ainsi, selon Brunet (2014), la part d'initiative dans la prise de décision est réduite à un processus passif de « *route following* ». Mais, nous pensons que la prise de décision aidée n'est pas toujours tout à fait passive, car même si la personne est guidée par les cartes numériques et GPS, elle les suit selon ses propres critères (tels que la longueur des trajets). De plus, la décision est exécutée de manière active.

Ainsi, dans toutes les situations mentionnées, les stratégies appliquées pour la prise de décision et pour l'exécution des décisions de choix d'itinéraires sont différentes : premièrement, en fonction des informations dont la personne dispose et de la manière dont elle se représente l'environnement de la marche ; deuxièmement, par rapport aux critères de choix que se donne le piéton et qui lui permettent de sélectionner parmi toutes les alternatives potentielles celle qui lui semble être la plus adéquate. Précisons que cela se déroule tout au long du processus d'orientation dans l'espace (*wayfinding*), de manière continue.

Conclusion du chapitre I

Nous avons abordé dans la première partie de ce chapitre le processus d'orientation des piétons dans les milieux urbains. Nous avons défini un ensemble de termes relatifs à ce sujet dont la navigation, le *wayfinding* et la locomotion. Dans la revue de la littérature, le terme de *wayfinding* est celui le plus couramment utilisé. Il englobe souvent la navigation et la locomotion. Dans ce travail de thèse, nous choisissons de nous appuyer sur la définition du *wayfinding* selon laquelle il s'agit d'un processus dynamique à la fois mental et comportemental (nécessitant le mouvement) d'une personne, qui est en jeu avant et pendant son déplacement, et qui consiste en la recherche d'une « bonne » direction et la prise de décision d'un « bon » chemin reliant un point départ à un point d'arrivée.

Le piéton, dans la mesure où il se déplace dans l'espace et qu'il choisit un itinéraire adapté, doit d'abord établir une connaissance de l'environnement de la marche. Cela repose sur une interaction continue entre l'environnement et les représentations qu'il se fait de l'espace. C'est la raison pour laquelle, par la suite, nous avons abordé la définition de l'espace.

Définir l'espace nous a permis d'appréhender que l'espace urbain n'a pas de définition absolue. Celle-ci étant relative, elle ne peut être que subjective : « *l'espace réel* » subit une transformation au niveau individuel et social. Notre travail se situe dans « l'espace perçu », puisqu'il s'intéresse à la pratique de l'espace par les individus lors du déplacement. Nous avons donc intégré la définition des représentations de l'espace qui nous a menée au constat que les représentations de l'espace sont, par définition, le processus et le produit issus d'un mode de reconstruction mentale de l'espace réel. Nous avons montré que les individus perçoivent et représentent les composantes de « *l'espace réel* » en fonction de leurs caractéristiques individuelles (âge, genre, etc.), leurs liens sociaux et des caractéristiques des groupes sociaux auxquels ils appartiennent. Comme l'affirme Paulet (2002), c'est à partir de ces interprétations que les individus sont capables de se situer mentalement dans l'espace, et par la suite de s'y positionner physiquement, ce qui leur permet de se déplacer dans l'espace urbain.

Nous avons ensuite présenté les différentes étapes du processus mental par lequel les individus en déplacement construisent les représentations de l'espace. Puis nous avons montré que différents facteurs liés à l'environnement construit et le déplacement peuvent contribuer à une variété de représentations de l'espace lors du déplacement.

Enfin, nous avons expliqué qu'en fonction des représentations de l'espace et des connaissances de l'environnement de la marche, le piéton prend des décisions qui lui permettent ensuite l'exécution de choix d'itinéraire, de manière active et constante, et tout au long du trajet.

Nous constatons que la prise de décision du choix de l'itinéraire parmi toutes les alternatives potentielles lors du déplacement pédestre est une décision qui repose sur certains critères propres aux piétons. En outre, nous considérons qu'étudier le processus d'orientation des piétons dans le milieu urbain n'a pas de sens si nous ne comprenons pas les critères selon lesquels les piétons choisissent un trajet et non pas un autre. C'est la raison pour laquelle nous proposons d'étudier un ensemble complexe d'éléments objectifs et subjectifs qui influencent la formation de préférences de choix d'itinéraire des piétons. Ceci est abordé dans le chapitre suivant.

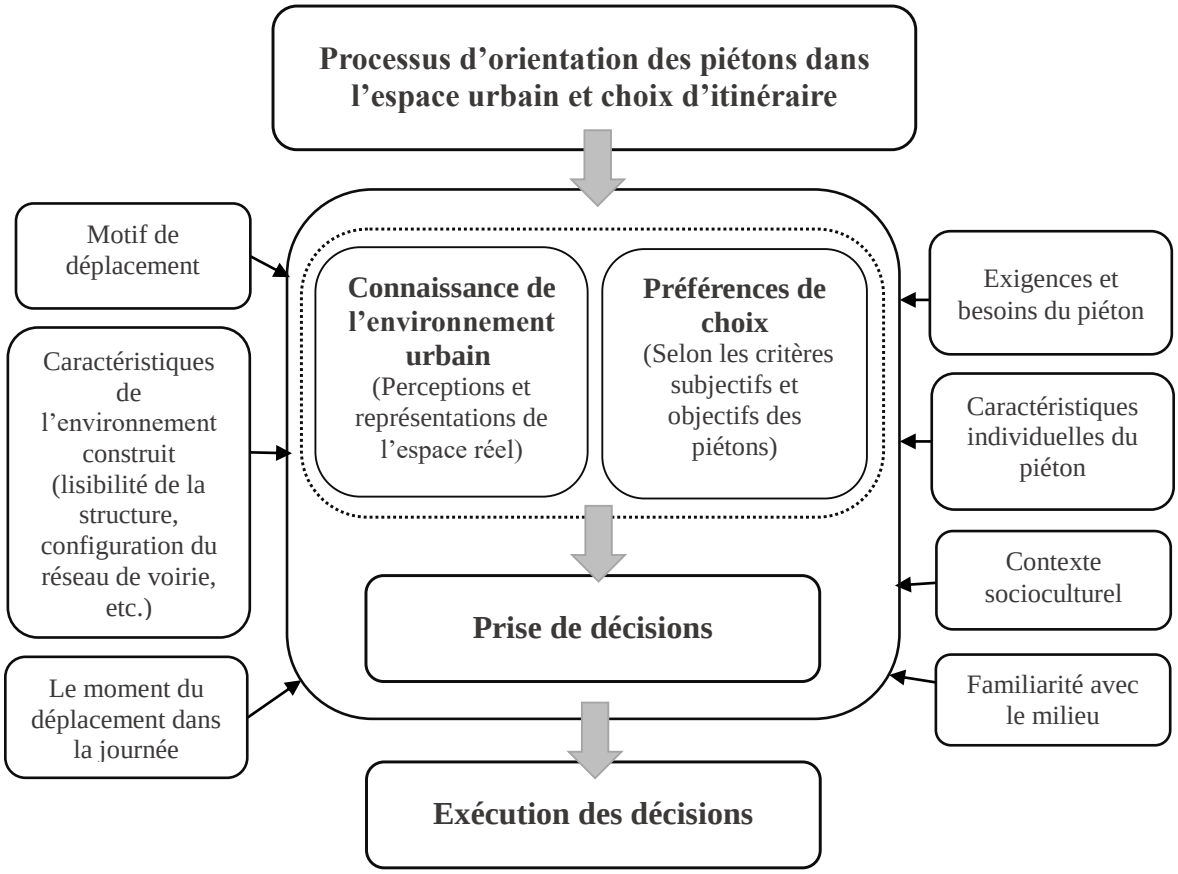

Figure 3. Conclusion schématique du chapitre

Ce schéma montre les différentes étapes du processus d'orientation dans l'espace urbain et du choix d'itinéraire des piétons. Elles sont représentées par les flèches grises : (1) prendre connaissance de l'environnement urbain (perceptions et représentations de l'espace) lors du déplacement à pied ; (2) parallèlement, acquérir des informations à propos de l'espace selon les préférences de la personne reposant sur les critères subjectifs et sur les objectifs qu'elle se donne ; (3) prendre des décisions tout au long de son trajet ; (4) et exécuter ses décisions en tournant à gauche, à droite ou en allant tout droit. L'ensemble de ce processus se déroule sous l'influence de paramètres variés (lesquels sont montré par les flèches noires), liés aux caractéristiques de l'individu, aux conditions de déplacement, aux caractéristiques de l'environnement urbain, etc.

CHAPITRE II - Les facteurs intervenant dans le choix d’itinéraire

Introduction du chapitre II

Dans ce chapitre, nous éclaircissons un ensemble complexe de critères qui influencent la formation de préférences de choix d’itinéraire lors du déplacement à pied. Dans cet objectif, nous traitons d’abord des approches théoriques principales qui ont abordé la question du choix et des critères que les individus mettent en place lors de la prise de décision et du choix du trajet de la marche.

Au regard de l’importance que nous accordons à la distance en tant que critère central sur lequel repose le choix d’itinéraire des piétons, nous consacrons la suite de ce chapitre à ce sujet. De ce fait, nous appréhendons premièrement les différentes définitions de la distance dans la littérature. Ensuite, nous expliquons l’appréhension de la distance lors du déplacement pédestre par les piétons au prisme de différents facteurs.

2-1- Deux approches théoriques du choix d'itinéraire

Dans le processus d'orientation dans l'espace, la prise de décision concernant le choix d'itinéraire lors du déplacement pédestre se réalise en fonction des préférences des piétons. Ces préférences reposent sur certains critères objectifs et subjectifs selon lesquels s'effectue le choix d'un itinéraire à parcourir parmi un ensemble d'alternatives possibles. Dans le dictionnaire Larousse, la préférence définit l'action de préférer quelque chose plutôt qu'autre chose. Le dictionnaire du CNRTL[1] précise que la personne ou la chose préférée est estimée ou jugée avoir plus de prééminence que d'autres. Elle est donc sous-jacente au processus de décision et elle mène à un choix. Ainsi, la préférence correspond à la situation dans laquelle il existe plus d'une option de choix. La personne procède à des évaluations, des jugements et enfin à un classement de ces différentes options. Dès lors, concernant le choix du trajet lors du déplacement à pied, la préférence de l'individu repose sur des critères objectifs (selon l'approche économique), ou/et subjectifs (selon l'approche cognitive) qu'il se donne, les informations dont il dispose au sujet des différentes options (itinéraires), et ses moyens (sa capacité physique, ses caractéristiques socioculturelles, ses contraintes de temps, etc.). L'individu choisit donc une option qu'il évalue et perçoit comme étant la mieux adaptée à ces besoins et à ses attentes. De même, les préférences reposent sur l'évaluation de l'environnement urbain et sur les perceptions et les représentations de la personne à propos de ce dernier.

Afin de comprendre les critères qui interviennent lors de la sélection d'un itinéraire, il est possible de distinguer deux approches théoriques principales : l'approche du choix rationnel et l'approche du choix cognitif.

2-1-1- L'approche du choix rationnel, une approche de l'économie

Dans les études en économie du transport, l'idée d'une rationalité de l'individu a souvent été prise en considération (Kaufmann, 2002 ; Genre-Grandpierre et Foltête, 2003 ; Foltête, 2007 ; Paulet, 2002 ; Piombini, 2007; Foltête et Piombini, 2010 ; Courel et Deguitre, 2020). Cette approche, reposant sur la rationalité de l'individu, considère que ce dernier est complètement objectif et déterministe et qu'il cherche à maximiser son utilité selon les variables temporelles, monétaires ou énergétiques (Genre-Grandpierre et Foltête, 2003 ;

[1] CNRTL : Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales (https://www.cnrtl.fr/definition/).

Foltête, 2007 ; Piombini, 2006, 2007 ; Piombini et Foltête, 2007, Foltête et Piombini, 2010). D'après cette approche, la rationalité renvoie à la capacité de la personne à choisir l'alternative la plus satisfaisante afin d'atteindre sa destination (Piombini et *al*., 2012). En effet, cette approche correspond au postulat selon lequel les individus cherchent à optimiser le rapport coût/bénéfice dans leurs choix (Brisbois, 2010). La description du choix individuel proposée par l'approche rationnelle présente l'avantage de traiter du choix portant sur une série limitée d'options (Piombini et *al*. 2012). Elle part du principe que face au besoin de réaliser un trajet, premièrement, l'individu connaît toutes les alternatives potentielles. Deuxièmement, il dispose de préférences reposant sur des critères tels que la minimisation du temps ou du coût de trajet, ou bien la minimisation de l'énergie à dépenser. Et troisièmement, il est capable de comparer et de classer les trajets potentiels à partir des informations dont il dispose et en fonction de ses préférences, qui lui permettent de choisir le trajet le plus performant. Ainsi, la particularité principale de l'approche économique est qu'elle s'appuie sur l'utilité de chaque alternative et, que par des calculs quantitatifs de maximisation d'utilité, il est possible de prédire les comportements supposés rationnels des personnes (Piombini et *al*., 2012).

Bien que l'approche du choix rationnel présente l'avantage d'être prédictive, elle rencontre des limites qui remettent en question cette qualité, notamment en ce qui concerne la compréhension de la complexité du processus de prise de décisions et du choix d'itinéraire des piétons. D'une part, l'approche rationnelle considère de façon limitée la notion d'utilité (Brisbois, 2010), car elle repose principalement sur la longueur et le temps du trajet. De plus, elle néglige les caractéristiques individuelles des personnes qui prennent les décisions et réalisent les choix. D'autre part, cette approche se restreint à des composantes objectives. Elle est donc très réductrice et simpliste vis-à-vis des comportements humains, ne prenant pas en compte les éléments psychologiques, sociologiques et certains éléments du contexte du choix tel que le paysage, les aspects esthétiques, la qualité d'aménagement, etc. (Derycke et *al*., 1993 ; Piombini, 2006, 2007 ; Brisbois, 2010 ; Foltête et Piombini, 2010 ; Courel et Deguitre, 2020). De ce fait, cette approche traite seulement une partie des déterminants qui participent à la décision du choix d'itinéraire du déplacement pédestre. Alors que de nombreux travaux (Golledge, 1995 ; Kaufmann, 2002 ; Piombini, 2006, 2007 ; Foltête et Piombini, 2007; Foltête, 2008; Brisbois, 2010 ; Hölscher et *al.,* 2011 ; Grison, 2015) ont mis en évidence que lorsqu'on s'intéresse à la prise de décision du choix d'itinéraire des piétons, il est indispensable de prendre en considération l'intervention d'un ensemble de facteurs tel que la

diversité de profils des piétons et les facteurs psychologiques suscitant une variété de préférences individuelles, l'influence des facteurs contextuels tels que l'environnement de la marche, les conditions de déplacements (comme le moment de la journée ou de la semaine, le motif du déplacement, etc.). En outre, la décision d'une personne en situation de choix est fortement liée aux informations dont elle dispose au sujet des différentes alternatives. Ainsi, dans la situation où les connaissances de la personne sont imprécises, cela peut conduire à un choix qui n'est pas forcement « optimal ». D'ailleurs, comme le rappellent Piombini et *al*. (2012), la rationalité est toujours limitée dans un contexte où les caractéristiques spatiales sont par nature difficiles à évaluer.

De même, le nombre de facteurs intervenant dans le choix des individus est si varié que l'approche rationnelle ne parvient à en considérer qu'un sous-ensemble relativement restreint (Thisse et Billot, 1995). L'approche rationnelle n'est donc pas capable d'expliquer l'ensemble des critères qui interviennent dans le processus de prise de décision et le choix du trajet du piéton. Du fait de ces limites, il est nécessaire de compléter la compréhension que fournit l'approche du choix rationnel avec une autre théorie, plus multidimensionnelle, que nous expliquons maintenant.

2-2-1- L' approche du choix cognitif, une approche de la psychologie

Pendant des années, le poids des variables « rationnelles » qui repose sur le fait d'économiser du temps et de l'énergie est surestimé dans la description du comportement du déplacement (Paulet, 2002), notamment celui du déplacement à pied. Le choix des parcours des piétons est influencé par des critères rationnels (métriques et temporels), mais également par l'aspect fonctionnel des espaces (l'occupation des sols, le réseau de voirie, etc.) et leurs qualités environnementales et paysagères (Piombini et Foltête, 2007, 2008 ; Victor, 2016). À ce sujet, Piombini (2006, 2013) a analysé le lien entre les éléments paysagers et l'environnement immédiat qui entourent l'individu dans l'espace public tel que le bâti (maison individuelle, grand immeuble), la végétation, les espaces vides (parking, chemin de fer, terrain industriel, etc.), l'arrière-plan (relief), d'une part, et les trajets piétons réellement effectués, d'autre part. Ainsi, il a étudié 628 itinéraires effectués à pied à Besançon (371) et à Lille (257). Les résultats de son étude montrent qu'en plus d'avoir des critères objectifs comme la distance, les piétons ont une bonne connaissance de leur environnement de marche et font une comparaison précise entre différents itinéraires potentiels, à partir des critères paysagers. Ou encore, Piombini et Foltête (2007) ont analysé les choix d'itinéraires des

piétons en comparant les résultats issus des différentes simulations d'itinéraires possibles pour chaque couple origine-destination à des trajets pédestres réellement effectués en milieu urbain. Ils ont étudié les données de 1600 trajets pédestres effectués régulièrement à Lille et à Besançon. Ce travail montre que lors du choix de son itinéraire, l'individu s'appuie d'un côté sur des critères objectifs auxquels il attribue un coût (en distance métrique ou en temps de déplacement) pour chaque alternative, d'un autre côté, il détermine son choix en fonction des critères paysagers et en fonction des informations de l'environnement urbain. Ainsi, les critères cognitifs interviennent à chaque moment, tandis que la rationalité est toujours *a priori* même s'il peut y avoir une révision des choix.

En outre, un ensemble de facteurs cognitifs, motivationnels, individuels ou sociaux peuvent engendrer des comportements aléatoires liés à des biais de représentation des individus ou à une indétermination relative de leurs préférences (Brisbois, 2010). Par exemple, les facteurs environnementaux tels que les changements météorologiques (vent, pluie, etc.) ou bien le sentiment instantané d'insécurité au cours du trajet (risque d'agression) peuvent biaiser les représentations que la personne se fait de son milieu et donc impacter ses préférences à propos du choix du trajet. Ceci n'est donc pas en accord avec l'approche du choix rationnel (laquelle repose essentiellement sur un nombre limité de préférences *a priori* relatives à la durée ou au coût du déplacement), mais plutôt en adéquation avec l'approche cognitive.

De plus, nous pouvons postuler qu'il est possible qu'un piéton se trompe lors de son processus d'évaluation et de comparaison entre différentes options possibles de choix d'itinéraire, puisque l'approche du choix cognitif suppose que les comportements individuels et les choix sont sous l'influence des cognitions (autrement dit, la capacité de l'individu à traiter les informations), des connaissances issues d'expériences antérieures, stockées et transformées, et du contexte de choix (Thisse et Billot, 1995 ; Piombini, 2006 ; Hölscher et *al.*, 2011 ; Grison, 2015). Ceci a pour conséquence que l'utilité du choix de l'individu peut prendre un caractère aléatoire et variable selon le contexte et en raison de l'instabilité des préférences de l'individu. Cela remet en cause les fondements de la rationalité. Thisse et Billot (1995) supposent même que le processus d'évaluation qui constitue la base du choix dépend également de l'état d'esprit de l'individu et du moment où il est effectué. C'est la raison pour laquelle l'individu ne prend pas toujours la même décision quand il est confronté à un ensemble de choix identiques. En outre, comme Thisse et Billot (1995) le mentionnent non seulement les choix sont très variables d'un individu à l'autre, mais les individus ne font

pas leurs choix indépendamment les uns des autres. Ainsi, le choix d'un individu dépend également des choix effectués par d'autres individus appartenant à son groupe social. En somme, les piétons planifient leurs itinéraires en fonction d'attributs de l'environnement (du contexte), de leur capacité à saisir et interpréter des informations de l'espace et également de nombreux critères en fonctions de leurs besoins, lesquels reposent sur leurs spécificités individuelles ou sociales (Victor, 2016 ; Dias, 2016). Par exemple, selon l'approche du choix cognitif, un piéton qui pousse la chaise roulante d'une personne âgée met éventuellement en place des critères de choix du trajet reposants sur la largeur des trottoirs, la qualité d'aménagement du sol, la qualité du paysage, la sécurité (pour éviter le risque d'accident), l'ambiance sociale du trajet (l'absence de bruit ou le fait de pouvoir observer les autres). Dans cet exemple, le comportement du piéton ne repose pas uniquement sur le choix du trajet le plus court, et l'évaluation du trajet dépend de la capacité (physique et mentale) de cette personne à percevoir et à interpréter des informations de l'espace.

Donc, les comportements des individus, leurs parcours, leurs prises de décisions, et leurs choix ne se limitent pas au choix rationnel, de même qu'ils sont consciemment ou inconsciemment sous l'influence de phénomènes cognitifs. Cela peut même parfois aller à l'encontre des critères rationnels et des intérêts économiques de l'individu. Selon l'approche rationnelle, les préférences sont supposées être déterminées et stables puisqu'elles reposent sur une minimisation du temps et de la durée du déplacement. Alors que selon l'approche cognitive, le processus de la prise de décision est abordé comme étant relatif à des préférences aléatoires, indéterminées et évolutives, relatives aux perceptions des individus, au contexte du déplacement et aux spécificités sociales et individuelles. Ainsi, c'est un ensemble complexe d'éléments subjectifs qui influence l'émergence de préférences et le processus de décision et de choix de l'individu. De ce fait, l'approche cognitive a l'avantage d'intégrer les phénomènes cognitifs et de mettre en évidence la richesse et la complexité du processus de décision, ce qui rend la prédiction des comportements individuels plus proche de la réalité, tout en étant moins facile (et pourtant constatable par l'observation).

En ce qui concerne la prise de décision et le choix de l'itinéraire lors du déplacement à pied, nous ne cherchons pas ici à nous opposer au choix rationnel ou à ignorer l'utilité de cette approche en faveur de l'approche cognitive. Néanmoins, nous pensons qu'il faut, d'une part, prend en compte l'intérêt de l'individu à minimiser le temps et l'énergie (physique) à dépenser (l'approche rationnelle), tout en prenant en compte, d'autre part, son intérêt à agrémenter son trajet (l'approche non rationnelle). Nous considérons donc que le piéton est

confronté à l'optimisation de la durée et de la distance de son parcours, tout en souhaitant choisir un trajet qu'il considère comme « agréable », en fonction de critères objectifs et subjectifs qu'il se donne. Le choix repose donc sur les préférences, les perceptions et les représentations du piéton au sujet d'éléments comme la sécurité, le confort ressenti, les aspects esthétiques, etc. C'est pour cette raison que concernant la suite de la présentation de ce travail, nous mettons, dans un premier temps, l'accent sur la distance comme l'un des facteurs principaux du choix du trajet des piétons (selon l'approche rationnelle). Dans un second temps, nous nous intéressons aux critères non rationnels liés aux besoins des piétons et au contexte du déplacement tel que l'environnement construit et les conditions de la marche, supposés jouer un rôle dans le choix d'itinéraire des piétons.

2-2- La prise en compte de la distance dans le choix d'itinéraire

Comme nous l'avons décrit plus haut, le choix de l'itinéraire, selon l'approche économique, repose essentiellement sur la rationalité de la personne en matière de distance du trajet. Dès lors, la distance constitue un facteur très important du choix du trajet, qui mène à des choix de différents segments de rues à parcourir. De ce fait, l'individu est amené à évaluer la distance entre son lieu de départ et l'arrivée. Ainsi, dans le but de savoir dans quelle mesure et comment l'individu appréhende la distance de son trajet, nous définissons la distance, ce qui nous permet de dégager les différentes acceptions de cette dernière. Ensuite, nous décrivons les différents facteurs qui contribuent à l'appréhension de la distance.

2-2-1- Les définitions de la distance

Dans le dictionnaire Larousse, la définition de la distance est « l'intervalle qui sépare deux points dans l'espace » ou bien « intervalle, espace qui sépare deux ou plusieurs personnes ». La distance est une notion étudiée dans les domaines variés comme les mathématiques, la géographie, la sociologie, l'économie, l'anthropologie et la psychologie. La distance compte donc plusieurs définitions :

En mathématiques, plus particulièrement en géométrie, la distance est souvent métrique. Elle représente l'écart entre deux points (Huriot et Perreur, 1990 ; Pumain, 2009 ; L'Hostis 2003). Elle peut également prendre un sens topologique. Elle est alors définie comme la somme du nombre d'arcs entre deux nœuds dans un graphe (Huriot et Perreur, 1990 ;

L'Hostis, 2003). Pour ce qui est des mathématiques, la distance a une définition formelle et précise : elle est symétrique, égale ou supérieure à zéro et ne peut donc jamais être négative.

En anthropologue et en sociologie, Hall (1966), anthropologue américain, aborde la notion de « distance sociale » dans « La dimension cachée » (*The hidden Dimension*), après avoir étudié les relations interindividuelles de différents américains. La distance sociale correspond à la distance physique qui s'établit entre les individus dans leurs relations les uns avec les autres. Ainsi, Hall distingue quatre catégories de distances interindividuelles qui séparent les individus : la distance intime, la distance personnelle, la distance sociale et la distance publique. Selon ce concept, la distance est à la fois sociale, psychologique et subjective, tout en étant mesurable en centimètres. Il explique que pour chaque être humain la zone d'intimité se forme de manière inconsciente. C'est une distance égocentrée, intime et réservée au contact émotionnel. Cette définition n'est pas sans rappeler « *les coquilles de l'homme* » décrites par Moles et Rohmer (1972) et qui correspondent à l'espace perçu de l'individu en rapport avec son rythme de vie et son vécu. Plus la personne mène une vie active, plus cet espace augmente. Ainsi, les quatre types de distance sociale mentionnés par Hall peuvent ressembler aux quatre séries de coquilles subjectives que la personne crée autour d'elle. Les distances sociales maintiennent une séparation avec autrui : plus la relation avec les autres est profonde, plus ils pourront entrer dans les couches intérieures de cette coquille. Nous estimons que premièrement, bien que Hall ait donné une définition métrique de la « distance sociale », elle est pourtant tout à fait subjective. Deuxièmement, elle est relative et peut être différente en fonction du contexte socioculturel, des caractéristiques individuelles telles que l'âge, le genre, la personnalité, la place sociale, la religion, etc. de chaque personne. Par exemple, dans les sociétés musulmanes, la distance sociale que maintiennent hommes et femmes (qui ne sont pas membre de la même famille) est probablement différente de celle que l'on observe dans d'autres sociétés. Ou encore cette distance sociale pour une personne timide ou réservée peut être différente par rapport à d'autres.

En géographie, si nous nous référons au *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés* (Lévy et Lussault, 2013), la distance construit des relations entre différentes réalités objectives et subjectives de l'espace. Elle permet donc de dessiner « l'espace des sociétés ». Pour Lévy et Lussault (2013, p.289), la distance prend un aspect social : « *la distance n'est pas séparable des réalités qu'elle configure, il en résulte logiquement que, dans le domaine du social, toute distance est par définition sociale* ». La distance est considérée par Lévy et Lussault (2013) et Charron et Shearmur (2005) comme l'élément fondamental de l'analyse de

l'espace en géographie. Ils expliquent que tous les modèles de géographie sont explicitement ou implicitement dépendants de cette notion. Ceci est également confirmé par Pumain et Saint-Julien (2004) et Pumain (2009) selon qui, en géographie, la distance est une notion à la fois relationnelle et relativiste qui constitue « *le facteur structurant de l'espace géographique* ». Elle correspond à une construction et à une représentation relationnelle entre différentes parties de l'espace. Pour cet auteur, la distance repose sur les représentations que se font les individus de la relation entre les éléments de l'espace. Par ailleurs, la notion de distance est empruntée principalement à la psychologie et aux mathématiques qui l'évaluent en unités de longueur physique et métrique. Pourtant, Pumain nuance son idée en mettant en avant le caractère multidimensionnel de la notion de distance en géographie, le fait qu'elle n'est pas une mesure purement métrique et qu'il faut prendre en compte l'individu et ses caractéristiques personnelles dans l'évaluation de la distance. Charron et Shearmur (2005) partagent la même idée que Pumain et Saint-Julien (2004) et Pumain (2009) concernant la subjectivité et l'ambiguïté de la distance, et le fait qu'elle soit relative aux compréhensions et représentations des individus.

L'aspect multidimensionnel de la notion objective de distance est également confirmé par des économistes tels que Huriot et Perreur (1990), lesquels ont d'abord considéré que dans le domaine du transport, l'analyse spatiale de la distance correspond bien à la longueur métrique qui renvoie à la séparation, l'écart ou l'espacement d'un lieu par rapport à un autre lieu. Ils soulignent ensuite l'importance de prendre en compte le coût et le temps nécessaire pour se déplacer entre ces deux lieux sur le réseau de transport, tout comme d'autres éléments, afin de concevoir la notion de la distance. Ces auteurs présentent des techniques quantitatives pour mesurer ces distances.

Les définitions présentées dans la littérature à propos de la distance nous ont permis de mettre en évidence que premièrement, la distance a un caractère multidimensionnel faisant référence à la longueur, au temps, au coût, etc. de déplacement. Deuxièmement, il est possible de distinguer deux manières différentes pour aborder la définition de la distance : elle peut avoir un sens objectif correspondant plutôt à une notion physique et métrique ou un sens subjectif qui correspond à une notion cognitive et relative du trajet, reposant sur les perceptions et les représentations des personnes. Ainsi, nous développons par la suite de manière plus précise chacune de ces deux significations de la distance.

2-2-1-1- La distance objective et le déplacement

En mathématique la distance est une notion objective. Sa définition est formelle et précise : la distance permet de mesurer la séparation entre deux points.

Dans les sciences humaines et sociales, notamment en géographie, il est également possible de mesurer la distance objective, et ce à partir de différences entre les coordonnées des lieux. En revanche, il existe différentes façons pour mesurer la distance objective entre les lieux. Pumain (2009) et Charron et Shearmur (2005) ont décrit la manière la plus simple pour mesurer la distance objective entre les lieux : la distance à vol d'oiseau, également appelée distance euclidienne. Elle correspond à une expression mathématique et métrique. En effet, il s'agit de la distance la plus rectiligne et la plus courte possibles entre deux lieux localisés dans un espace à deux dimensions, sans prendre en compte l'existence du chemin qui les relie et en faisant comme si la terre était plate. Mais, comme le soulignent Derycke et *al*. (1993), Charron et Shearmur (2005), Pumain et Saint-Julien (2004), Pumain (2009), Dias (2016) et Vacher (2017), l'appréhension objective de la distance ne peut pas être limitée à la forme euclidienne. Il faut également tenir compte des spécificités des réseaux de transport, surtout de celles des réseaux de voirie, ainsi que de la distance réellement parcourue. Aussi, pour plus de précision, faut-il considérer le réseau de voirie entre les lieux, ce qui permet de calculer la distance de Manhattan, également appelée distance-réseaux. La distance de Manhattan se calcule à partir de la somme de toutes les longueurs de segment de la rue à parcourir sur un réseau de voirie entre deux lieux. Plus précisément, il est possible de calculer la plus petite des sommes possibles, puisque souvent, il est possible de parcourir plusieurs chemins. Il s'agit donc d'une **distance métrique**, qui peut être mesurée en mètres ou en kilomètres.

Mesurer la distance-réseaux en unité de longueur nous conduit à aborder des notions distinctes de la distance objective :

- Comme le confirme Bailly (1985), le concept de la distance ne peut pas être réduit à la simple longueur géométrique séparant deux lieux. Il faut donc y ajouter des facteurs qualitatifs comme le temps, le coût, etc. C'est la raison pour laquelle il propose les notions de distance-temps, de distance-coût, etc. Ainsi, il est possible de tenir compte de la mesure de la **distance-temps** qui est un facteur déterminant pour évaluer la durée nécessaire au parcours d'un trajet reliant deux lieux. En effet, les notions de distance-temps ou de distance-coût peuvent plus

fidèlement que les distances physiques mesurer les inégalités d'accessibilité des lieux (Dias, 2016).

– Si nous considérons le coût du déplacement entre deux lieux, nous utilisons une distance mesurée en unités monétaires dite « **distance-coût** ». Elle est mesurée en rapport au coût du transport (pour l'individu et/ou la société). Ainsi, la distance-coût correspond à la somme nécessaire pour aller d'un point à l'autre. Cette notion nous permet aussi de comparer l'utilité de différents moyens de déplacement ou la nécessité de parcourir différents itinéraires en fonction du rapport prix/distance. Dans ce calcul économique de la distance, le **coût écologique** pour la collectivité de chaque mode de transports ou différents itinéraires est calculable de plusieurs manières : dépense en énergie, empreinte écologique, etc.

– Les moyens que nous avons cités pour mesurer la distance objective ne prennent pas en compte le rôle de la configuration du réseau de voirie sur la distance. Il est également possible de mesurer la distance en utilisant une notion dont l'unité de mesure n'est pas la longueur. Elle n'est donc ni métrique, ni temporelle. Il s'agit de la distance topologique abordée par certaines études (Vanderschraege, 1983 ; Hillier, 1996 ; Hillier et Hanson, 1984 ; Charron et Shearmur, 2005 ; Pumain, 2004, 2009). « *La **topologie** est une forme particulière de géométrie qui ne retient que les relations de voisinage, de continuité dans l'espace, et oublie les formes de la géométrie euclidienne* » (Pumain, 2004, p. 28). La **distance topologique** correspond donc au nombre de frontières à traverser, ou de segments à parcourir, pour se rendre d'un lieu à un autre (Pumain, 2004). Autrement dit, comme l'explique Pumain et Saint-Julien (2004) et Pumain (2009), si la distance entre deux lieux est calculée à partir de l'écartement mesuré par rapport au nombre de segments qui séparent ces deux lieux sur le réseau de voirie, nous mesurons la **distance topologique**. Comme la distance topologique repose sur la connexion et la contiguïté du réseau de voirie et non sur ses propriétés métriques, certains auteurs comme Charron et Shearmur (2005) et Vanderschraege (1983) l'estiment mieux adaptée à la compréhension du phénomène urbain. Néanmoins, cela dépend également du type d'analyse de l'urbain que nous souhaitons faire. Ainsi la distance topologique tient compte de la configuration et de la complexité du réseau de voirie. Comme l'ont évoqué

Chiaradia (2013), Hölscher et *al.* (2011) et Grison (2015), la complexité d'un trajet se mesure en nombre de changements de direction ou en somme des changements angulaires entre une origine et une destination sur un itinéraire.

2-2-1-2- La distance subjective : la sous-estimation et la surestimation de la distance réelle

Beaucoup de recherches affirment qu'au-delà d'une considération objective de la distance, celle-ci peut être appréhendée comme une notion relative et donc subjective. Ainsi, la définition de la distance ne se limite pas uniquement à sa longueur. De fait, comme le soulignent Huriot et Perreur (1990), Paulet (2002) et Vacher (2017), la distance subjective s'apparentant à une distance relative, elle fait référence à la longueur, mais également au temps, au coût, à l'effort (physique et mental), au cognitif et à l'affectif.

Derycke et *al*. (1993, p. 15) estiment que la personne n'est pas en mesure d'évaluer la distance de manière objective, elle la juge de façon qualitative en utilisant les termes comme « *éloigné* », « *près* » ou « *loin* ». C'est la raison pour laquelle Derycke et *al*. (1993), Frémont (1999), Charron et Shearmur (2005) et Zekri (2010) ont utilisé le terme de « distance perçue » laquelle se distingue de la distance réelle (rationnelle). Ainsi, disent-ils, la « distance perçue » est la distance que se représentent les individus. Cette notion relève donc d'une approche cognitive puisqu'elle repose sur les perceptions et les représentations de l'individu. Derycke et *al*. (1993, p.14) définissent la « distance perçue » comme « *ce que voient et vivent les individus* ». Mais, Pumain et Saint-Julien (2004) ajoute qu'elle peut être également issue de l'activité psychologique individuelle ou collective.

Nous pensons que la question de la relativité de la distance est liée aux représentations que l'individu se fait de l'espace et de la distance entre ses éléments. En effet, comme nous l'avons décrit dans le chapitre précédent, la compréhension de l'espace réel n'est pas objective. L'individu en déplacement construit des représentations mentales de l'espace réel à travers un système complexe de filtrage et de tri des informations, ce qui déforme les informations de l'espace. L'individu ne connaît donc pas les informations réelles qui mènent à la décision et aux choix d'itinéraires. Ainsi, les représentations de l'espace lors du déplacement peuvent amener un décalage entre la réalité et ce qui est vécu par l'individu. Quelle que soit l'ampleur du décalage, c'est sur son vécu que l'individu s'appuie pour prendre ses décisions et effectuer ses choix lors de son déplacement (Courel et Deguitre, 2020). Selon ces auteurs, la distance et le temps perçus sont plus déterminants pour le piéton que la

distance et le temps réels du trajet. En effet, l'individu ne se comporte pas en fonction de l'espace réel, mais en fonction de l'espace tel qu'il se le représente (Bailly, 1977). Or, les représentations de l'espace lors du déplacement peuvent intervenir dans la compréhension et l'évaluation de la distance, et c'est aux distances perçues que l'individu réagit dans l'espace.

Ainsi, la distance correspond à l'évaluation qualitative de la distance (la proximité ou l'éloignement) par l'individu, soit de manière égocentrée (c'est-à-dire que l'individu évalue la distance entre lui-même et un objet/lieu), soit de façon allocentrée (qui correspond à l'évaluation que l'individu fait de la distance entre deux ou plusieurs objets/lieux). Comme ces représentations peuvent être en décalage par rapport à la réalité, la distance peut être sujette à sous-estimation ou à surestimation. À ce propos, Paulet (2002) non seulement considère également que la distance que se représente l'individu comprend une dimension relative et subjective, mais précise aussi qu'il est possible que l'individu en déplacement fasse des erreurs d'interprétation et d'estimation de la distance. Par exemple, lors de déplacements à pied, les individus, selon leur poids, leur âge, leur sentiment de sécurité, etc. ont des représentations variées de la longueur du trajet. Des éléments divers (comme le mode de déplacement, le motif de déplacement, le temps de déplacement, etc.) vont donc intervenir dans les représentations et les évaluations de durée et de longueur du trajet (Kaufmann, 2002 ; Charron et Shearmur, 2005 ; Brisbois, 2010 ; Courel et Deguitre, 2020).

En lien avec les définitions qui viennent d'être formulées, nous nous intéressons dans la section suivante aux éléments susceptibles d'intervenir dans les représentations du trajet, puisqu'ils contribuent à la formation de sous-estimations ou de surestimations de la distance réelle lors du déplacement à pied dans le milieu urbain.

2-2-2- L'appréhension de la distance : l'individu, l'environnement, les circonstances

Les représentations mentales « *ont une forte influence sur l'image qu'un usager se fait d'un lieu, sa perception de la durée du trajet ou encore sa perception d'être en sécurité et peuvent ainsi influencer son choix d'itinéraires parmi plusieurs possibilités* » (Victor, 2016, p.66). Les évaluations et les représentations de la distance lors du déplacement à pied doivent être comprises au prisme de différents facteurs, tels que les caractéristiques individuelles des piétons, l'environnement urbain, la configuration du réseau de voirie et les conditions de déplacement. C'est la raison pour laquelle nous présentons dans les sous-sections qui suivent

les facteurs les plus importants et les plus susceptibles de provoquer une sous-estimation ou une surestimation de la distance vécue (métrique ou temporelle) lors des déplacements pédestres.

2-2-2-1- Les caractéristiques individuelles des piétons

Les distances, qu'elles soient métriques ou temporelles, ne sont pas vécues de la même manière selon les individus (Dias, 2016). Les caractéristiques individuelles des personnes telles que l'âge, l'état de santé général, la capacité physique ou mentale, les habitudes, la culture, le mode de vie, etc. peuvent amener une compréhension relative et variée de la distance lors des déplacements pédestres. Charron et Shearmur (2005, p.171), s'appuyant sur Gould et White (1974), considèrent que l'évaluation de la distance est propre à chaque individu. Ils soulignent qu' « *il y a autant de distances qu'il y a d'acteurs et de relations* », autrement dit qu' « *il n'y a pas une distance mais bien des distances* ». Ceci est en accord avec les constats de Brisbois (2010) et Courel et Deguitre (2020), selon lesquels l'appréhension de la distance est étroitement relative aux représentations des personnes. L'évaluation de la distance peut ainsi dépendre de la sensibilité des piétons à la perte de temps ou à l'effort physique nécessaire pendant la marche (Courel et Deguitre, 2020). Par exemple, comme le précise Brisbois (2010), une même distance ne se représente pas de la même manière chez un sportif, une personne âgée, une femme enceinte ou un écolier au cartable surchargé, ni du point de vue temporel, ni du point de vue métrique. De même, le piéton risque de marcher plus lentement lorsqu'il est accompagnée d'enfants et/ou doit pousser une poussette, lorsqu'il fait du shopping, ce qui implique le port de sacs et la poussée de chariots sur le chemin du magasin (Ausserer et *al*., 2010). Dans ces derniers exemples, la distance représentée peut subir une surestimation et sembler plus longue. Le poids, plus précisément la masse corporelle d'un individu, est directement corrélé à sa tolérance à l'effort physique et à sa consommation énergétique nécessaire pour marcher de telle sorte que, quel que soit l'âge, le surpoids joue un rôle évident dans l'intolérance à l'effort physique (Victor, 2016). Cet auteur a ajouté que le poids supplémentaire lié au port d'un objet ou d'un enfant nécessite une consommation énergétique additionnelle. Nous pensons que si le piéton est chargé, que s'il est fatigué, en surpoids ou s'il subit d'autres contraintes physiques, son évaluation de la distance sera différente et éventuellement surestimée.

Les situations familiales et sociales de certaines femmes les conduisent à une organisation différente du temps et du déplacement, comparée à certains hommes. À ce sujet, Gibout

(2004) et Courel et Deguitre (2020) ont souligné qu'en général, les femmes ont plus de déplacements contraints à effectuer, comparé aux hommes. Parfois, elles pratiquent des chaînes de déplacements quotidiens pour parvenir à effectuer les tâches professionnelles, ou bien les taches familiales telles que les achats, l'accompagnement des enfants à l'école ou sur leurs lieux de loisirs, etc. Ceci nécessite souvent d'enchaîner un ensemble de trajets qui sont parfois courts mais complexes (en fonction de la variété des motifs de déplacement). De ce fait, le rapport des femmes au temps et à l'espace devient singulier, et le temps prend une valeur particulièrement importante pour elles (Depeau, 2005). Ainsi, nous supposons que ces femmes, dans le cas de déplacements à pied, ont des représentations différentes de la distance et du temps de trajet et qu'il est probable qu'elles les surestiment à cause des contraintes de temps auxquelles elles doivent faire face.

Nous ajoutons à cela que les individus, selon leur âge et leur genre, peuvent avoir des perceptions différenciées de la sécurité (réelle ou ressentie) lorsqu'ils se déplacent à pied, ce qui peut jouer un rôle dans les perceptions de la distance. Les femmes sont particulièrement plus sensibles à la question de l'insécurité (risque d'agression) dans l'espace public pendant leurs déplacements pédestres comparées aux hommes. C'est ce que montrent plusieurs travaux (Russel, 2017 ; Raibaud et *al*., 2018 ; Courel et Deguitre, 2020) menés dans de nombreux pays du monde. Ceci est mis en avant dans la thèse de Russel (2017), dans laquelle il analyse les représentations des marcheurs à Paris. Dans un premier temps, il constate que les femmes ont plus de craintes que les hommes dans les espaces publics de Paris. Il souligne par ailleurs que ce sentiment d'insécurité est très largement « *véhiculé et renforcé par les hommes* » (p. 220). Le sentiment d'insécurité dans les espace publics est également répandu chez les personnes âgées. Certaines études (Huguenin-Richard et *al*., 2014 ; Huguenin-Richard et *al*., 2015) mettent en évidence que la vulnérabilité des personnes âgées dans l'espace public et pendant la marche est liée à l'insécurité qu'elles ressentent à la fois au regard du risque d'accident, du risque de chute et du risque d'agression (plus particulièrement du risque d'être volées). En effet, selon ces auteurs, le vieillissement affecte un vaste ensemble de fonctions physiques, sensorielles et cognitives. Il peut donc entraîner une diminution de la vitesse et des déplacements à pied, réduisant ainsi la capacité à parcourir des distances. Le sentiment d'insécurité des enfants dans l'espace public peut également impacter leur perception de la distance. La mise en perspective des perceptions du risque d'accident des parents et de leurs enfants lors de la marche sur le chemin de l'école au Québec a été le sujet d'étude de Godillon et Cloutier (2018). Ils ont montré que la perception du risque routier des

parents est beaucoup plus forte que celle de leurs enfants. *In fine,* si les parents ou les enfants jugent un milieu urbain peu sûr, cela va affecter la prise de décision de la distance maximum à parcourir à pied. Ainsi, nous supposons que le sentiment d'insécurité des piétons mène à une surestimation de la distance, notamment en matière de temps du trajet, alors que les contraintes physiques des piétons (liées à l'âge ou à leurs capacités physiques) peuvent plutôt contribuer à une surestimation de la distance métrique du trajet.

2-2-2-2- Les facteurs liés à l'environnement construit

Plusieurs travaux mettent en exergue que le niveau de connaissance préalable et la familiarité d'un milieu peuvent influencer l'évaluation mentale de la distance dans ce milieu (Appleyard, 1970 ; Derycke et *al*., 1993 ; Brisbois, 2010 ; Courel et Deguitre, 2020). Il est même explicitement confirmé par Derycke et *al*. (1993) que dans les milieux bien connus et familiers, les trajets sont perçus comme étant plus courts que la réalité, alors que dans des milieux moins connus, la distance est surestimée. Ainsi, comme l'ont expliqué Courel et Deguitre (2020), l'habitude de prendre un trajet se forme avec la répétition qui permet à l'individu de se familiariser avec l'environnement de son trajet. Ils expliquent qu'avec l'habitude de se déplacer fréquemment dans un environnement connu, choisir un itinéraire devient un automatisme, qui ne nécessite pas de charge mentale particulière. Nous estimons que c'est la raison pour laquelle la familiarité d'un trajet contribue à renforcer l'habitude de l'effectuer régulièrement. Alors qu'à l'inverse, essayer un nouveau trajet implique l'intervention d'un grand nombre de facteurs dans l'acquisition et le traitement d'informations, la prise de décision et le choix d'itinéraire. L'automatisation des tâches cognitives lors de décisions de choix d'itinéraire dans les milieux familiers est également confirmée par Brisbois (2010). Il souligne que la réalisation d'un trajet habituel se fait parfois de manière inconsciente, c'est-à-dire que l'individu forme un script de comportement qui va le mener directement à prendre son trajet habituel, en raison de l'automatisation des tâches cognitives et indépendamment des informations qu'il reçoit. En outre, Brisbois (2010) ajoute que l'individu fait parfois un « pseudo diagnostic » du trajet à parcourir. Ainsi, lorsque les informations concernant les différentes alternatives d'itinéraires ne sont pas équivalentes, l'individu considère que la meilleure d'entre elles est celle pour laquelle il dispose d'une quantité plus importante d'informations. De même, plus un trajet est effectué fréquemment, plus la personne se familiarise avec celui-ci, ce qui mène à une accumulation d'une plus grande quantité d'informations et de connaissances par rapport à d'autres trajets potentiels.

Ainsi, il est possible que l'individu porte moins d'attention aux autres parcours possibles, jusqu'à éventuellement supprimer l'éventualité d'autres choix. Ceci peut l'empêcher de réaliser une évaluation réelle et rationnelle de son choix. Ainsi, en raison de ces biais cognitifs, il est possible qu'une connaissance plus précise concernant un itinéraire convaincra inconsciemment l'individu de faire un choix et non un autre. Par conséquent, et de la même façon, les représentations de la distance (temporelle-métrique) d'un trajet familier peut subir une sous-estimation. Un autre exemple de biais cognitif concerne les facteurs environnementaux : un niveau élevé de nuisances sonores, la pollution de l'air ou le sentiment d'insécurité (risque d'accident) peut directement influencer la perception de la distance.

De plus, la familiarité d'une zone ou d'un quartier peut impacter les perceptions des distances. La familiarité et la connaissance préalable de certains éléments de l'espace peuvent avoir un effet similaire. Selon Dias (2016), la cognition spatiale s'organise autour de « points de référence spatiale » qui constituent les points organisateurs de l'agencement des représentations de l'espace. Lynch (1960) parle, quant à lui, de « points de repère ». Il considère que ces « points de repère » facilitent l'orientation dans l'environnement urbain. Ils sont donc mieux connus des individus. Il est possible qu'une même distance soit jugée plus courte lorsqu'elle est évaluée à partir de ces points de référence que lorsqu'elle est jugée à partir d'autres lieux.

Certaines caractéristiques fonctionnelles et physiques de l'environnement construit où se déroule le déplacement à pied, peuvent influencer les perceptions de la distance par le piéton. Dans les quartiers où les usages du sol sont diversifiés, il y a une plus grande diversité d'activités humaines (Cervero et Kockelman, 1997 ; Ewing et Cervero, 2010 ; Ewing et Cervero, 2001 ; Lévy, 2004 ; Noriza et *al.*, 2013 ; Stead et Marshall, 2001). L'animation urbaine liée à cette diversité fonctionnelle peut entraîner une sous-estimation de la distance. De plus, les milieux urbains animés et diversifiés peuvent améliorer le sentiment de sécurité (réel ou ressenti) des personnes. Aussi, comme le soulignent de nombreux chercheurs (Newman, 1973 ; Whyte, 1980 ; Jacob, 1961 et Gehl, 1980) la convivialité du milieu urbain influence la coprésence, et par conséquent, le sentiment de sécurité et le bien-être social des individus. Ainsi, nous supposons que si le piéton se déplace dans un environnement urbain où la diversité des usages du sol produit une bonne ambiance urbaine et un sentiment de sécurité, il est fort probable que les distances temporelles ou métriques des trajets paraîtront plus courtes. Enfin, nous ajoutons qu'une diversité fonctionnelle peut également émerger au niveau des éléments visuels dans ces quartiers, comme la diversité esthétique et architecturale

des bâtiments et des façades (Park et Schofer, 2006 ; Ewing et Clemente, 2013 ; Gehl, 1980 ; Ewing et Handy, 2009 ; Ewing et Clemente, 2013 ; Singh, 2016). Ceci peut également mener à percevoir un trajet comme étant plus agréable. Dans ce cas, les distances semblent donc moins longues. En revanche, si le milieu urbain est très monotone, le trajet paraîtra ennuyeux. Il est par conséquent possible que ce trajet semble plus long.

Pour ce qui est des quartiers animés et diversifiés, notamment des centres-villes, nous abordons rapidement la question du sens du déplacement. Derycke et *al*. (1993) estiment que l'évaluation mentale de la distance-cognitive peut dépendre aussi de la direction du déplacement et du fait de se diriger vers le centre-ville ou vers la périphérie. Paulet (2002) précise que l'individu est confronté à une surestimation des distances lorsque le trajet va de la périphérie vers le centre-ville et qu'il s'effectue en voiture. Il explique cela par l'accroissement de la circulation et de la congestion des routes qui produit un allongement des représentations de la distance chez le conducteur, en comparaison avec la distance objective. Cependant, peu de travaux ont étudié ce sujet concernant le déplacement à pied. Nous postulons, comme expliqué ci-dessus, que pour les piétons qui se déplacent vers le centre-ville, l'augmentation de la densité des fonctions urbaines qui favorise l'animation urbaine peut diminuer la représentation de la distance. En revanche, cela dépend du milieu animé concerné. En effet, la mauvaise qualité de l'aménagement des intersections en matière de sécurité routière pour les piétons, les encombrements du trafic, la pollution de l'air, les nuisances sonores, etc. sont associés au confort ressenti. Ceci conduit à percevoir un milieu urbain comme étant désagréable, notamment chez les personnes sensibles, comme c'est le cas par exemple des personnes âgées (Noriza et *al*., 2013 ; Lerman et *al*., 2016 ; Roussel, 2017). En somme, ces chercheurs laissent entendre qu'en général plus un milieu est perçu comme désagréable à la marche, plus les distances (temporelles et métriques) paraissent longues.

2-2-2-3- La configuration du réseau de voirie et la simplicité du réseau

Le réseau de voirie est considéré par Bailly (1977) comme un sous-système du milieu urbain, où l'individu se crée une « géographie subjective ». Par conséquent, comme l'ont montré la plupart des études, certaines caractéristiques du réseau de voirie, plus précisément le tracé urbain et la configuration du réseau, peuvent contribuer à modeler les comportements liés au déplacement, ainsi que les représentations mentales des distances.

Certains travaux (Alexander, 1964 ; Jacobs, 1961 ; Duany et Plater-Zyberk, 2000 ; Singh, 2016) s'intéressent à la complexité du réseau de voirie. Ils établissent un lien entre la

complexité du réseau et la taille des îlots urbains. Par exemple, Alexander (1964) et Jacobs (1961) pensent que les modèles de tracés urbains très ordonnés et en forme de grille sont uniformes et très ennuyeux pour la marche (ce qui selon nous peut mener à une sur-estimation de la distance). De plus, ils considèrent que de grands îlots urbains conduisent les piétons à parcourir de très longs trajets. C'est la raison pour laquelle ils considèrent le réseau de voirie organique comme fournissant une qualité visuelle aux piétons, laquelle peut contribuer à la représentation de la distance lors du déplacement. En accord avec cette idée, Duany et Plater-Zyberk (2000) pense que la marche est favorisée par des réseaux de voirie historiques, dans lesquels les longueurs des îlots sont généralement courtes et les voies très reliées. De plus, il insiste sur le lien entre la taille des îlots urbains et les distances perçues par les piétons pour argumenter que ces réseaux sont plus adaptés à la marche. De la même façon, Singh (2016), sans prendre en compte le tracé urbain, considère qu'une plus petite longueur d'îlots urbains conduit à une réduction des distances perçues de la marche. À l'opposé, il considère que lorsque les îlots sont plus grands, les distances réelles sont perçues comme étant plus longues.

Pourtant, contrairement aux idées développées précédemment, d'autre travaux (Lynch, 1960 ; Weisman, 1981 ; Hillier et Hanson, 1984 ; Derycke *et al.*, 1993 ; Hillier, 1996) soutiennent l'idée selon laquelle une configuration de réseaux de voirie moins complexe (par exemple orthogonale) fournit un modèle de tracé urbain plus simple et donc plus lisible pour les piétons. En outre, Hillier et Hanson (1984) et Hillier (1996) précisent que, dans les réseaux de voirie complexe, la distance représentée semble plus longue. En effet, la complexité du trajet est le résultat d'organisation spatiale des rues qui reposent sur la complexité de la configuration du réseau de voirie. Ainsi, pour mesurer la complexité du réseau, ces auteurs prennent en considération la configuration du réseau de voirie. Celle-ci correspond à la disposition des rues et au degré de complexité et d'interdépendance qu'offre le réseau, *entre* et *par* ses segments de rues. Ces auteurs postulent premièrement, que les représentations mentales des itinéraires par les piétons reposent sur la topologie du réseau, c'est-à-dire, sur le nombre de changements de direction (le nombre de changements d'angle) nécessaire pour joindre la destination. Selon eux, plus les changements de direction au cours d'un trajet sont nombreux, plus importante est l'énergie mentale à dépenser, et donc plus longue semblera la distance représentée. Deuxièmement, Hillier et Hanson (1984) et Hillier (1996) prennent en considération les interrelations entre les segments de rue. Ainsi, les segments qui sont les plus connectés à l'ensemble du réseau semblent plus courts lors des trajets pédestres. L'importance de la simplicité de la configuration du réseau de voirie sur les perceptions de la distance est

également confirmée par Derycke et *al*. (1993). Ceux-ci soulignent que l'évaluation de la distance subjective est fonction du nombre de repères et du nombre de changements de direction rencontrés lors du trajet. Ces auteurs précisent que le nombre de changements de direction d'un trajet est directement lié à la forme du réseau de voirie et au fait qu'il représente une forme simple (par exemple régulière) ou une forme complexe (par exemple organique). Pour notre part, nous considérons que chaque changement de direction nécessite une nouvelle prise de décision, notamment lorsque l'individu est confronté à un carrefour, ce qui mobilise son système cognitif et augmente sa charge mentale lors du choix d'itinéraire. En accord avec cette idée, Ellard (2016) explique que notre cerveau réfléchit selon l'approche des nœuds et des lignes de Bill Hillier et que les règles des représentations mentales de l'environnement dans notre cerveau sont plus topologiques que métriques.

Ainsi, d'un côté, à mesure que la configuration du réseau de voirie et que le tracé urbain deviennent complexes, il peut devenir plus difficile et plus stressant de trouver son chemin, alors qu'au contraire, une configuration spatiale lisible peut contribuer à un sentiment de bien-être, de sécurité, notamment pour les piétons. D'un autre côté, un réseau de voirie plus simple peut aussi être plus ennuyeux et donc ne pas laisser de place à l'imagination, à l'attente et à la surprise. Néanmoins, bien que les études évoquées présentent, pour la plupart d'entre elles, des idées opposées, elles mettent en évidence la contribution de la configuration du réseau de voirie et de la forme du tracé urbain aux représentations des distances lors des déplacements à pied.

2-2-2-4- Les conditions de déplacement

Les individus évaluent et perçoivent le temps ou la distance d'un trajet différemment selon les conditions du déplacement pédestre. La possibilité de distraction lors du déplacement est un des éléments qui peut produire des représentations différentes du temps du trajet. À ce sujet, Courel et Deguitre (2020) expliquent que grâce aux nouvelles technologies, l'individu peut réaliser certaines activités dans les moyens de transport collectif (notamment dans le train) ce qui réduit l'ennui perçu et permet également à l'usager de rentabiliser son temps. Par conséquent, cela peut modifier les perceptions du temps passé et susciter une sous-estimation de la distance (temporelle et/ou métrique) du trajet. Ainsi, en adéquation avec ce constat, nous supposons que si le piéton a la possibilité de s'occuper pendant le trajet avec son smartphone en écoutant de la musique, en parlant au téléphone, ou bien s'il est accompagné par une personne avec laquelle il parle, sa perception de la distance vécue peut être sous-estimée. Au

contraire, lorsque la personne emmène des enfants à l'école et qu'elle pousse une poussette, notamment sur des trottoirs étroits et parmi une foule de personnes, cela sera gênant (Ausserer et *al*., 2010), ce qui selon nous peut provoquer une sur-estimation des distances.

Notre remarque suivante concerne les circonstances de prise de décision. Brisbois (2010) décrit que, de manière générale, quand la prise de décision se fait selon le « libre choix » (quand plusieurs options de choix sont envisageables), et non lorsqu'elle est « forcée » (c'est-à-dire que l'individu ne dispose que d'une option, donc sans alternative) le sentiment de l'individu vis-à-vis de son choix est différent. Il argumente en effet que, pour l'individu en situation de décision, le fait de contrôler lui-même ses choix plutôt que d'être soumis à des contraintes intérieures (en rapport avec l'individu) ou à des contraintes extérieures (en rapport avec l'environnement) va avoir un impact sur ses perceptions et son comportement. Concernant le choix du trajet du déplacement à pied, nous pensons que ces deux situations de décisions peuvent fournir des représentations différentes du trajet choisi. En effet, il est des circonstances dans lesquelles le choix d'un trajet peut être « forcé » à cause de contraintes intérieurs du piéton (son âge, le fait qu'il soit accompagné par un enfant étant dans une poussette, etc.), ou bien à cause de contraintes extérieures (présence d'une coupure urbaine, aménagement non adéquat des autres trajets, insécurité des trajets alternatifs, etc.). Nous faisons donc l'hypothèse que dans le cas d'une prise de décision « forcée » d'un trajet, les représentations de distances (temporelles ou métriques) sont surestimées.

Le motif de déplacement et le fait que la personne soit pressée ou pas (Gehl, 1980 ; Kaufmann, 2000 ; Zekri, 2010 ; Ausserer et *al*., 2010 ; Victor, 2016) peut également amener à des représentations différentes du trajet lors de la marche. En ce qui concerne le motif de déplacement pédestre dans les milieux urbains, Gehl (1980) reconnaît deux types différents d'activité selon l'objectif de la marche : premièrement, les activités « nécessaires » lors desquelles l'individu effectue un déplacement utilitaire (tel qu'aller au travail, à l'école, à un rendez-vous, etc.), avec généralement une tendance à privilégier la diminution de la durée du déplacement ou à prendre le chemin le plus court ; deuxièmement, les activités « facultatives », lors desquelles le but du déplacement est récréatif (comme le promenade). Durant ce type d'activité, la personne tend à être plus libre car elle a moins de contraintes temporelles, ce qui lui permet d'allonger la durée et donc la longueur du trajet. Ainsi, lorsque le motif du déplacement à pied de la personne est de se rendre au travail, elle peut être pressée et vouloir marcher rapidement (Ausserer et *al*., 2010). Selon nous, ceci permet l'émergence de perceptions différentes des distances-temps et de la longueur physique du trajet. À l'opposé,

Kaufmann (2000) révèle même une perte de temps parfois consciente et volontaire lors de marches récréatives.

Nous supposons que le moment du déplacement peut également influencer les représentations de la distance, car certaines études dressent ce constat concernant les transports en commun. Ainsi, Bailly (1974) s'intéresse aux perceptions de la durée du déplacement (autrement dit la distance temporelle) en fonction des heures de pointe et des heures creuses. Il cite le résultat des travaux de O'Farrell et Markham (1974) qui ont enquêté à Dublin auprès de 120 utilisateurs de transports en commun et conducteurs de voiture sur leur trajet domicile-travail. Dans cette étude, la durée perçue du parcours des personnes est recueillie puis comparée à la durée réellement mesurée. Les auteurs remarquent que les évaluations diffèrent en fonction du moment de la journée : aux heures de pointe du matin la durée évaluée est minimisée de 5%, aux heures creuses de l'après-midi (entre 14 h et 16 h) cette réduction subjective de la durée du déplacement est de 16% par rapport à la durée réelle, mais le soir, en heure de pointe (entre 17 h à 19 h), cette évaluation dépasse de 2% la durée réelle. Cela montre donc l'impact du moment où les individus réalisent un trajet sur leurs évaluations variées de la durée du déplacement. Néanmoins, l'effet du moment nous semble très faible. Il est donc possible d'envisager que d'autres paramètres influencent ces évaluations subjectives. L'étude de Bailly (1974) confirme ces résultats avec plus de certitude. En effet, Bailly (1974) réalise avec son équipe de recherche une étude similaire à celle évoquée ci-dessus à Besançon, sur la perception de la distance temporelle de 100 utilisateurs de bus. Le résultat des analyses des données indique que premièrement, aux deux heures de pointe, la durée perçue du déplacement est sur-estimée. Deuxièmement, il observe une différence d'évaluation du temps durant l'heure de pointe du matin et celle du soir : le matin (entre 8 h et 10 h) la durée subjective est de 14% supérieure au temps réel, alors que la soir (entre 17 h et 19 h) cette évaluation est de 19% supérieure au temps réel. Il suppose que la fatigue de la fin de journée peut expliquer cette surestimation de la durée du déplacement. Mais nous pouvons aussi interpréter ces résultats par la relative dissymétrie des plages d'horaires choisies.

En ce qui concerne le moment du déplacement, Courel et Deguitre (2020) mettent également en évidence que partout à travers le monde (France, Autriche, Japon, etc.), premièrement, se déplacer à pied pendant la nuit est associé au sentiment de peur et d'un risque d'agression plus élevé que le jour, et que deuxièmement, la perception du sentiment d'insécurité (risque d'agression verbale, physique ou sexuel) entre le jour et la nuit est

beaucoup plus importante chez les femmes que chez les hommes. Ils précisent que par ailleurs, la perception du risque n'est pas uniforme parmi les femmes, et que, par exemple, les femmes âgées et les femmes qui vivent dans des quartiers défavorisés déclarent plus de peur. L'enquête réalisée par Raibaud et *al.* (2018) sur les mobilités urbaines des femmes de la métropole bordelaise confirme ces constats. Cette enquête a montré que la proportion de femmes piétonnes chute la nuit et qu'en outre, pendant la nuit, les femmes adaptent leurs tenues en remplaçant jupes, robes et shorts par un pantalon, avec pour objectif de diminuer le risque d'agression physique ou verbale. Ainsi, nous supposons que le moment du déplacement à pied peut influencer les représentations de la distance puisqu'il influence la perception de la dangerosité de l'environnement de la marche. En effet, si le déplacement s'effectue la nuit, la probabilité que la distance soit surestimée est plus élevée, en lien avec le sentiment d'insécurité, notamment chez les femmes. De la même manière, nous postulons que dans les milieux urbains où les fonctions urbaines sont dominées par les activités censées être « masculines », comme c'est le cas dans les garages, les zones industrielles, etc., les femmes se sentent moins à l'aise. Ce qui fait que même pendant la journée, leurs représentations de la distance peuvent être surestimées dans ces milieux. Finalement, tous ces remarques laissent entendre que, premièrement, moins un individu se sent en sécurité lors d'un trajet, moins il est susceptible de le choisir. Deuxièmement, moins il se sent en sécurité dans un milieu, plus les distances lui paraîtront longues.

Notre dernière remarque concerne les milieux urbains où les conditions topographiques créent des trajets qui ne sont pas plats, ce qui à notre avis provoque une sur-évaluation de la longueur du trajet, notamment en montée.

Conclusion du chapitre II

Dans l'objectif de comprendre les critères que les piétons mettent en place lors de la planification du choix d'itinéraire pendant leurs déplacements dans le milieu urbain, nous avons fait l'état de la littérature en nous attachant à présenter différentes approches à propos du choix des individus.

Nous avons donc abordé les deux principales approches qui prennent en compte différents déterminants de choix de manière très distincte. La première approche repose sur la rationalité de l'individu et sur l'hypothèse que l'individu, dans le souci d'optimiser le rapport coût/bénéfice de son choix, sélectionne l'itinéraire le plus court (en termes de longueur physique ou/et de temps de trajet). La deuxième approche, quant à elle, prend en compte de multiples critères : les caractéristiques individuelles des personnes, des éléments psychologiques, sociologiques ainsi que le contexte du déplacement (environnement construit). Ces critères influencent consciemment ou inconsciemment la prise de décision et le choix du trajet du piéton.

Dans le but de ne pas remettre en cause l'importance de l'approche économique dans le choix d'itinéraires (celle-ci renvoyant à des considérations de longueur et de temps du trajet), nous avons consacré la suite de ce chapitre au rôle que joue la distance dans ce choix. Dans cette optique, nous nous sommes d'abord attardée sur la définition de la distance qui s'avère être double, puisque deux notions distinctes de la distance se côtoient. L'une repose sur sa dimension objective et le fait qu'elle soit mesurable, soit en termes de longueur (distance métrique) soit en termes de durée de déplacement (distance temporelle), ou encore en nombre de segments de rue à parcourir (distance topologique). L'autre définition repose sur la relativité et la subjectivité de la distance. Celle-ci repose sur les perceptions de l'individu de la distance réelle. Cette dernière définition a permis de mettre en évidence que la plupart du temps, la distance subjective surestime ou sous-estime la distance réelle.

Ensuite, nous avons abordé les facteurs qui contribuent à l'appréhension de la distance réelle lors du déplacement pédestre. Nous avons constaté que la surestimation ou la sous-estimations de la distance sont médiatisées par un ensemble de facteurs tels que, d'un côté, les caractéristiques individuelles des piétons et leurs attentes en termes de sécurité, leurs capacités physiques, leurs contraintes temporelles, etc. ; d'un autre côté, les particularités de

l’environnement construit, la configuration du réseau de voirie ; et enfin les conditions dans lesquelles s’effectue le déplacement à pied.

La dimensions subjective de la distance dévoile, premièrement, la complexité du processus d’orientation des piétons dans l’espace urbain, notamment lors de la prise de décision et l’adoption du choix d’itinéraire. Deuxièmement, lorsque nous acceptons le principe de la rationalité de l’individu, dans ce contexte, la longueur (physique ou temporelle) est un critère important du choix d’itinéraire. Pourtant, cette rationalité peut s’avérer être très subjective et relative à divers facteurs.

Dans la revue de la littérature, nous avons observé que contrairement à ce qui était admis par l’approche économique, les individus ne choisissent pas toujours leur itinéraire en raison de sa longueur. De plus, selon l’approche cognitive, un ensemble d’autres facteurs interviennent dans la prise le choix d’itinéraire des piétons. De ce fait, le chapitre suivant propose un focus sur les critères non rationnels liés aux besoins des piétons et sur des éléments contextuels du déplacement, tel que l’environnement construit et les conditions de la marche, lesquelles contribuent au choix d’itinéraire des piétons.

CHAPITRE III - La contribution de l'environnement construit au choix d'itinéraire

Introduction du chapitre III

Nous avons décrit dans le chapitre précédent que selon l'approche économique, la décision du choix d'itinéraire des piétons peut reposer sur des préférences reposant sur des critères tels que la minimisation de la distance (métrique ou temporelle) du trajet. Pourtant, nous avons également souligné que selon l'approche cognitive, un ensemble d'autres facteurs interviennent aussi dans le choix du trajet des piétons. Par conséquent, les critères de choix du trajet ne se limitent pas uniquement aux critères s'appuyant sur la rationalité économique (minimisation de la distance ou du temps de parcours).

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à l'influence qu'exerce l'environnement construit[1] sur le processus de choix du trajet des piétons, durant leurs déplacements. Nous avons donc pour objectif de faire le point sur l'état des connaissances scientifiques accumulées sur cette question et de les synthétiser.

Dans l'objectif d'intégrer la question du rôle de l'environnement construit dans les préférences du choix d'itinéraire des piétons, nous postulons que plus un trajet est perçu comme agréable à la marche, plus il est possible que l'individu prenne la décision de le parcourir.

Puisque les attentes et les besoins des piétons contribuent à évaluer qu'un environnement convient ou non à un déplacement à pied, nous nous attachons, dans la première de ce chapitre, à comprendre les critères qui y sont liés. Ceci nous permet alors de déterminer les conditions d'un environnement urbain adapté aux besoins des piétons. Ceci permet également d'identifier les attributs de l'environnement construit susceptibles d'entrer dans les préférences des piétons et d'influencer le choix du trajet. Nous décrivons donc ici ces conditions de choix et la manière dont les attributs de l'environnement construisent ces choix.

[1] Par l'« environnement construit » nous entendons tous les éléments physiques et matériels de l'espace perçu et vécu. Il s'agit du bâti, de l'occupation des sols, du réseau de voirie et des activités, que ce soit à l'échelle de la ville et ou à celle du quartier ou de la rue (Courel et Deguitre, 2020).

3-1- Les besoins principaux et les attentes des piétons

Pour une compréhension de la formation de l'itinéraire pédestre, il est nécessaire d'aborder la relation individu-environnement selon les besoins et les attentes des piétons, qui sont sous-jacents aux processus d'orientation dans l'espace (pendant le *wayfinding*) (Victor, 2016). En effet, lors des déplacements pédestres, le processus de décision concernant le choix du trajet repose sur un certain nombre de besoins que les piétons cherchent à satisfaire (Alfonzo, 2005). Plusieurs travaux de recherche que nous citons dans cette section s'intéressent à ce sujet. Précisons au préalable que notre revue de la littérature nous conduit à constater l'utilisation différenciée de termes tels que « besoin », « attente » et « exigence ». Il convient donc, dans un premier temps, de préciser ces définitions afin de les distinguer.

En 1954, Maslow, dans son livre intitulé « *A Theory of Human Motivation* » développe une théorie selon laquelle les besoins humains, plus précisément les besoins physiologiques et psychologiques, sont classés et hiérarchisés. Il met en évidence cinq niveaux hiérarchiques de besoins. En effet, les différents niveaux entre les besoins sont considérés comme des étapes consécutives, dans lesquelles la satisfaction de chaque besoin nécessite que le précédent soit comblé (figure 4). Ainsi, ces **besoins** s'ordonnent de la façon suivante :

(1) les besoins les plus basiques correspondent aux besoins primaires et physiologiques (respiration, alimentation, eau, sommeil, sexualité, etc.). Précisons que les 4 catégories qui suivent sont plutôt psychologiques ;

(2) le besoin de sécurité[1] lié à la survie (protection, refuge, stabilité, etc.) ;

(3) le besoin d'amour (aimer, être aimé, être accepté, être écouté) et d'appartenance (à une famille, à un groupe, tout en étant accepté et respecté dans son identité et sa différence) ;

(4) le besoin d'estime de soi (reconnaissance et affirmation de soi-même, confiance en soi) ;

(5) et au sommet, besoin d'accomplissement de soi (réalisation de projets de vie, créativité, épanouissement personnelle).

[1] D'après nous, le besoin de sécurité prend une dimension subjective. Ce besoin est donc très lié aux perceptions de l'individu. Par exemple, une personne peut se sentir en insécurité , tandis qu'une autre personne, dans le même contexte, se sent en sécurité.

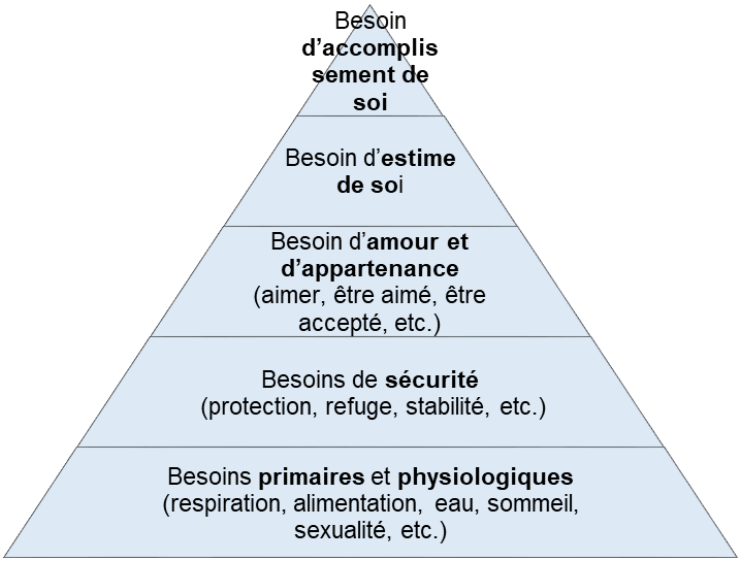

Figure 4. Les niveaux hiérarchiques de besoins fondamentaux humains à partir de théorie de Maslow (1954)

Ainsi, un **besoin** correspond à des nécessités et à des obligations afin d'assurer la survie physiologique et psychologique d'une personne.

En revanche, comme l'explique Micouin (2006), une **attente** est un moyen pour exprimer un besoin ou une réponse à un besoin. Par exemple, pour qu'un milieu urbain réponde au besoin d'un piéton en matière de sûreté[1] (sécurité face à la criminalité), le piéton attend que les espaces publiques soit éclairés. Ou encore, le piéton attend que, dans les milieux urbains, la circulation des voitures soit apaisée car cela satisfait son besoin de se sentir en sécurité (face aux voitures et au risque d'accident). Néanmoins, dans une grande majorité de travaux, nous n'avons pas constaté de précision ni de distinction entre les besoins et les attentes. Ces termes sont employés de manière aléatoire et comme synonymes pour désigner l'écart existant entre le milieu urbain tel qu'il *est* et le milieu urbain tel qu'il *pourrait* ou *devrait être*. Le terme utilisé de façon générique dans la littérature anglaise est « need ». Cependant, Lamiquiz et López-Dominguez (2015) distinguent le besoin de l'attente. Ils expliquent que « l'attente » est l'équivalent de l'expression anglaise « *object requisites* » et le « besoin » l'équivalent de celle de « *personal needs* ». Selon eux, **l'attente** est liée aux caractéristiques de l'environnement urbain qui répond à certains besoins des piétons. Ils décrivent, par exemple, que la densité d'occupation des sols est une « **attente** » d'un environnement

[1] Dans cette thèse, nous utilisons le terme de « sûreté » comme équivalent de « *security* » et celui de « sécurité » comme équivalent de « *safety* » en anglais.

favorable à la marche, mais pas un « besoin » des piétons. Ainsi, la densité n'est pas un argument premier dans le choix du trajet d'une personne. Autrement dit, les personnes ne choisissent pas de marcher dans un milieu parce qu'il est dense, mais elles font ce choix parce que ces milieux satisfont certains de leurs besoins comme la sûreté et/ou l'attractivité du trajet. De plus, la densité d'occupation des sols favorise la proximité entre les lieux (les origines et les destinations potentielles). Elle peut également augmenter la diversité d'usages du sol et même introduire de la variété au niveau des activités urbaines. Ainsi, la densité amène à répondre à des besoins tels que la convivialité ou l'attractivité du trajet. La densité et la diversité des usages du sol correspondent donc aux attentes que les piétons ont face à l'environnement urbain et non à leurs besoins. Ainsi, nous pouvons conclure que les attentes des piétons reposent sur des besoins et qu'elles renvoient aux conditions de l'environnement de la marche.

Quant à l'**exigence**, nous la définissons comme le degré de nécessité d'un besoin pour une personne. Micouin (2006) pense que l'exigence se traduit par des attentes et qu'elle spécifie certaines conditions et qualités particulières du milieu urbain (tout en reposant sur les besoins). Par exemple, l'attente des individus concernant certaines qualités esthétiques comme les formes et les couleurs spécifiques pour les façades, représentent leurs exigences vis-à-vis du milieu urbain. Précisons que le degré d'exigence des piétons vis-à-vis des besoins est varié (Methorst, 2007 ; Basbas et *al*., 2010a ; Dell'Asin, 2010 ; Victor, 2016), et qu'il repose sur de nombreux déterminants notamment les caractéristiques individuelles et sociales des personnes.

Après avoir présenté les distinctions entre le besoin, l'attente et l'exigence, nous présentons les qualités et les conditions qu'attendent les piétons de l'environnement de la marche.

Dans le cadre du projet européen de COST[1] 358 PQN, Dell'Asin (2010) a identifié cinq conditions environnementales fondamentales appelées « 5 Cs » ou bien « 5C layout » qui doivent satisfaire les piétons afin de les inciter à la pratique de la marche dans un milieu

[1] COST (*accronyme européen de Cooperation in Science and Technology*) est un réseau intergouvernemental européen de coopération dans le domaine de la recherche. Créée depuis 1971, il est actuellement utilisé par les communautés scientifiques de 35 pays européens pour coopérer à des projets de recherche communs soutenus par des fonds nationaux. Le projet de COST 358 Pedestrians' Quality Needs vise à étudier les besoins qualitatifs des piétons dans les milieux urbains. Il permet de relier les besoins des piétons en matière de qualité environnementale aux interventions structurelles et fonctionnelles dans l'environnement piétonnier de ces cas d'étude.

urbain : le désir des piétons de faire leurs trajets de la manière (1) la plus **courte** possible afin d'économiser du temps, (2) la plus **convenable**[1] possible (c'est-à-dire d'être en interaction avec l'environnement et les autres personnes), (3) comme une expérience de déplacement à pied dans un cheminement **sécurisé**, (4) de façon **plaisante**[2], (5) et **confortable**[3]. Ensuite dans ce projet vingt villes[4] européennes (de vingt pays différents) sont comparées sur le fait d'être favorables ou non à la marche. Une partie de cette étude qualitative utilise une matrice croisant les attributs physiques et les besoins exprimés par les piétons envers l'environnement. Elle permet de mettre en évidence les différences ainsi que les similitudes entre ces villes.

Toujours dans le cadre de ce projet, Basbas et *al*. (2010 a) ont distingué deux types généraux de besoins des piétons : premièrement, les besoins **fonctionnels** qui correspondent aux besoins objectifs et physiques des piétons (ils sont observables) et, deuxièmement, les **besoins perçus** qui relèvent des registres émotionnel et perceptif des piétons. La différence de ce travail comparé à celui de Dell'Asin (2010) est que Basbas et ses collègues se sont particulièrement concentrés sur la définition des besoins fonctionnels (physiques) des piétons. Ainsi, à partir de l'examen de la littérature, de la collecte de statistiques disponibles et de la réinterprétation des données de recherche disponibles sur vingt villes européennes, ils ont classé en quatre groupes les **besoins fonctionnels** du piéton qu'ils qualifient de fondamentaux : (1) le « besoin de **mobilité** », pour être sûr qu'il arrivera à destination, c'est-à-dire le pouvoir de se déplacer d'une origine à une destination avec un minimum d'interruptions possible, (2) le « besoin de **sécurité** », c'est-à-dire le fait de se déplacer à pied dans un contexte sécurisé et sans aucun type de danger (risque d'accident de voiture, chute, agression, violence, etc.), (3) le « besoin de **mobilité conviviale** » permettant d'effectuer un déplacement confortable et également d'être en interaction socioculturelle avec les autres et l'environnement, (4) et enfin le « besoin de **mobilité stimulante** » qui renvoie à l'exigence de marcher dans un environnement urbain attractif. Portant toujours sur ce même sujet, l'étude de Methorst (2007) mène à un résultat identique à celle menée par Basbas et *al*. (2010 a). En revanche, il tente d'une part de comprendre quel est l'ordre des besoins des piétons en matière de priorité et, d'autre part, il aborde ces besoins de manière plus développée en les classant en

[1] Convenient

[2] Pleasant

[3] Comfortabe

[4] Par exemple, Strasbourg, Berlin, Helsinki, Delft, Genève, Oslo, Athènes, etc.

six groupes comprenant des aspects liés aux capacités physiques, sensorielles et cognitives des personnes. Ainsi, Methorst (2007) fournit une liste de besoins des piétons à six niveaux, du plus exigeant au moins exigeant : (1) la **mobilité** (pouvoir se déplacer et joindre la destination sans empêchement ni barrière physique), (2) la **sécurité** (la possibilité d'effectuer un déplacement sans être exposé aux risques dus au trafic, à des chutes, des glissements, de la criminalité, etc. Ceux-ci sont en rapport avec l'aménagement de dispositifs d'apaisement de la vitesse et des automobiles, la priorisation des piétons, le type de revêtement du sol, l'éclairage nocturne). Précisons que ces deux premiers besoins sont considérés comme des besoins primaires et préalables à la marche. À ceux-ci s'ajoutent : (3) la **fiabilité,** (4) la **commodité,** (5) le **confort** et (6) l'**attractivité**.

Certains travaux (Mateo-Babiano et Leda, 2007 ; Basbas et *al*., 2010b ; Methorst, 2007 ; Bivina et Parida, 2020) visent à hiérarchiser les besoins des personnes lors de la mobilité pédestre. Aussi, Bivina et Parida (2020) ont identifié les quatre groupes de besoins les plus importants pour les piétons à partir d'une revue de la littérature : la **sécurité** physique (par rapport aux voitures, au risque d'accident et de chute), la **sûreté** (sentiment de sécurité mentale face à la criminalité et à l'agression), le **confort** et la **commodité**[1] (par exemple, la présence d'ombre le long des trottoirs, d'eau potable, de sièges pour s'asseoir, de végétation, d'éclairage, de panneaux d'orientation, etc.), la **mobilité et l'infrastructure** (l'état physique des espaces publiques, notamment la qualité de l'aménagement du réseau piétonnier tel que celui des pavés, les largeurs des trottoirs, etc.). Ensuite, afin de hiérarchiser ces besoins et de reconnaître les priorités des piétons, ils emploient la méthode multicritère d'aide à la décision d'AHP (processus analytique hiérarchique). De cette façon, ils définissent une hiérarchie des besoins des piétons en fonction de l'importance accordée à chacun. L'étude a révélé que, premièrement, l'importance en matière de priorité est : (1) la « **sécurité** » (risque d'accident), (2) la « **sûreté** » (risque d'agression), (3) la « **mobilité** et **l'infrastructure** » et enfin (4) le « **confort** et **la commodité** ». Deuxièmement, la sécurité (risque d'accident) et le sentiment de sûreté (risque d'agression) des piétons est nettement plus important comparé aux autres facteurs. Troisièmement, il existe une différence significative dans la priorité accordée aux différents besoins en fonction du sexe et de la catégorie d'âge. Par exemple, les femmes accordent une plus grande importance à la sécurité que les hommes. Mateo-Babiano et Leda (2007) réalisent une étude dont l'objectif est le même que celle que nous venons d'exposer. À

[1] Convenience

partir de leur revue de la littérature et en s'inspirant de la théorie des besoins humains de Maslow (1954), ces deux auteurs distinguent six niveaux hiérarchiques d'exigences concernant le déplacement pédestre (figure 5) qu'ils classent comme suit en fonction de besoins physiologiques et psychologiques, des plus fondamentaux aux moins exigeants : le premier, la « **mobilité »**, constitue le besoin le plus fondamental du piéton. Il correspond au besoin de se déplacer dans un environnement sans barrières physiques ou mentales et il permet de se déplacer sans nécessité de s'arrêter, de diminuer sa vitesse ou de faire des détours, ce qui rallongerait le trajet. Le deuxième, la « **protection** » /la « **sécurité** » (protection), renvoie au sentiment de sécurité physique et psychologique du piéton vis-à-vis de dangers (chute, glissade, accidents avec les voitures, etc.) ainsi que toutes sortes d'agressions des autres personnes. Le troisième, la « **facilité**[1] », correspond au confort physique et mental du piéton. Cette qualité assure un déplacement sans sentiment de stress. Le quatrième, le « **plaisir**[2]», renvoie au besoin des personnes en matière d'interactions sociales et économiques avec les autres usagers de l'espace public, simplement en les observant ou bien en parlant, discutant, mangeant et buvant avec les autres. Le cinquième, l'« **équité**[3] », fait référence à l'égalité d'opportunités pour tous les utilisateurs de l'espace pour l'expression de soi (les personnes en fauteuil roulant, les handicapés, les personnes âgées, les personnes avec des poussettes, les enfants, etc.), ce qui sert de cadre idéal pour la socialisation et l'interaction des piétons. Ceci offre également une ambiance urbaine animée. Enfin, le sixième, l'« **identité**[4]», renvoie à la capacité de s'approprier les lieux du déplacement, au sentiment d'appartenance socioculturel des individus, et donc à l'identité. Lamiquiz et López-Dominguez (2015) postulent que les facteurs correspondant à la satisfaction des besoins des piétons contribuent à influer sur leurs décisions concernant la pratique de la marche et le choix du trajet. Ils identifient et classent cinq groupes de besoins, des plus fondamentaux aux moins exigeant : la **proximité** par rapport à la destination, le **confort,** la **sécurité,** la **sûreté** et l'**attractivité**.

Enfin, en ce qui concerne la classification des besoins fondamentaux des piétons dans les milieux urbains, nous constatons que ces études mentionnées plus haut ont des résultats très

[1] Ease

[2] Enjoyment

[3] Equity

[4] Identity

ressemblants. Le point commun de tous ces travaux à propos des besoins des piétons correspond à :

- premièrement, la **sécurité** et la **sûreté** (réelles ou ressenties), c'est-à-dire être (ou se sentir) protégé physiquement et moralement. Cela concerne le risque d'accident dû aux modes motorisés, de glissement, de chute et aussi le risque d'agression. Certains éléments de l'espace publique comme l'éclairage nocturne, l'absence de cachettes et la lisibilité de l'espace, le type de revêtement du sol, la priorisation des piétons dans l'aménagement de l'espace public, etc., peuvent satisfaire ces besoins**.**

- deuxièmement, le **confort** physique et mental pendant le déplacement à pied. Il doit être équitable pour tous les utilisateurs, y compris pour les personnes en fauteuil roulant, les personnes handicapées, les personnes âgées, les enfants, etc. Ce besoin repose sur l'état physique du milieu urbain et les éléments tels que la pente**,** les hauteurs à franchir (marches d'escaliers), la largeur des espaces, la présence de la végétation, le mobilier urbain comme les bancs. La configuration du réseau de voirie peut aussi assurer un certain confort physique et/ou mental par son degré de complexité, sa lisibilité et l'effet qu'il peut avoir sur les distances objectives ou subjectives.

- troisièmement **l'attractivité** objective et subjective du trajet qui renvoie à l'aspect socioculturel et économique du déplacement à pied en tant qu'activité à la fois physique et sociale. Les facteurs comme la diversité d'occupation du sol, l'animation urbaine, les aspects esthétiques, etc. peuvent rendre le milieu attractif.

En ce qui concerne les besoins des piétons, nous tenons à apporter les précisions suivantes : certains travaux (Methorst, 2007 ; Basbas et *al*., 2010a ; Dell'Asin, 2010 ; Victor, 2016) partagent l'idée selon laquelle le niveau d'exigence des piétons vis-à-vis des besoins est varié et relatif aux différentes situations. Par exemple, Basbas et *al*. (2010 a) soulignent qu'il est évident que les besoins se différencient en fonction de la capacité physique de différents groupes de piétons, puisque celle-ci dépend de divers facteurs comme l'âge, l'état de santé (mentale et physique), le poids, etc. Aux aspects physiques des individus s'ajoutent les facteurs tels que les normes sociales et culturelles, le niveau d'éducation, les expériences au cours de la vie, etc. Ces facteurs peuvent influencer les exigences par rapport aux besoins (Methorst, 2007), ainsi que les attentes (la réponse aux besoins) vis-à-vis de l'environnement

de la marche. Certains besoins, par exemple le confort et l'attractivité, sont fortement affectés par une multitude de facteurs tels que les caractéristiques personnelles des piétons, le motif du déplacement, ou encore le cadre de la marche (les conditions météorologiques, la température, l'ensoleillement, etc. (Victor, 2016). Ainsi, un touriste ou bien un piéton qui se promènent dans la ville sont éventuellement plus préoccupés par leur besoin de confort et/ou d'attractivité du trajet.

En outre, Dell'Asin (2010) précise également que, premièrement, le contexte établit le degré et la diversité d'exigences des piétons concernant la réponse à leurs besoins, ce qui implique que le niveau d'importance des besoins varie d'une ville à l'autre, voire selon les conditions météorologiques (la température, l'ensoleillement, le vent, etc.) ou bien les conditions spatiales dans lesquelles s'effectue le déplacement. Deuxièmement, les exigences des personnes vis-à-vis de la réponse à ces besoins diffèrent en fonction des caractéristiques individuelles comme l'âge, la capacité physique, le motif de déplacement, etc. C'est le cas par exemple du niveau d'exigence des enfants et des personnes âgées en matière de sécurité routière qui est plus élevé que pour d'autres catégories de personnes ; ou encore, les femmes qui sont plus exigeantes par rapport au besoin de sécurité mentale (risque d'agression) que les hommes. En outre, comme l'indiquent Courel et Deguitre (2020), l'ordre d'importance des besoins et leurs degrés d'exigence ne sont pas constants dans la vie d'une même personne. Ils sont susceptibles d'évoluer avec l'âge, la période de la vie, le statut social et avec le changement d'activité de l'individu. Par exemple, une personne qui a vécu une agression dans l'espace public ou un accident de voiture, aura probablement au moins pendant un certain temps un besoin de sécurité plus élevé.

Nous proposons maintenant de déterminer les conditions de l'environnement urbain qui répondent le plus aux besoins des piétons et facilitent la marche.

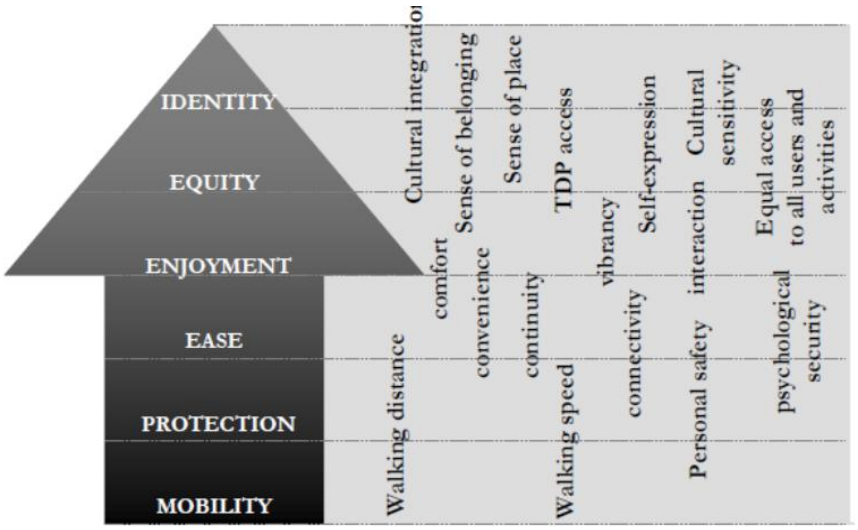

Figure 5. Hiérarchie des besoins de la mobilité pédestre
Source, Mateo-Babiano et Leda (2007, p. 1921)

3-2- Un environnement urbain adapté aux piétons

« *Les éléments de l'environnement urbain peuvent alternativement faciliter ou entraver le déplacement, selon le contexte et l'objectif de déplacement et, dès lors, inciter à emprunter un parcours plutôt qu'un autre.* » (Victor, 2016, p.82). Différentes recherches autour de la marche à pied se sont attachées à mettre en évidence les conditions de l'environnement urbain qui satisfont les besoins des piétons.

Les travaux de Methorst et Monterde-i-Bort (2010), dans le cadre du projet européen COST 358, s'appuient sur une approche qualitative d'évaluation de l'environnement qui les amène à envisager cinq qualités de l'environnement urbain permettant aux individus de privilégier la pratique de la marche. (1) La **connectivité**[1]: c'est l'existence d'un réseau de rues reliées aux principales origines et destinations d'un déplacement, ainsi que l'étendue des liens entre les différentes rues du réseau. (2) La **visibilité**[2]: les espaces publics doivent être sécurisés et attrayants pour les piétons, en matière de visibilité et de lisibilité des informations. (3) Le **confort**[3]: c'est lorsque l'environnement urbain est adapté aux compétences et aux capacités de tous les types de piétons (enfants, personnes âgées,

[1] Connected

[2] Conspicus

[3] Comfortable

handicapées, etc.). (4) La **commodité**[1] : c'est ce qui permet à la marche de concurrencer les autres modes de transport en matière d'efficacité (temps, argent et espace). (5) La **convivialité**[2] : elle permet une marche agréable en matière d'interaction avec les personnes, l'environnement bâti et naturel, et les autres personnes. Concernant ces qualités, nous constatons qu'à part la connectivité, qui dépend beaucoup moins de la personne ou du motif de déplacement, les autres qualités sont plutôt perceptuelles et subjectives. Pourtant, il faut considérer que la connectivité contient elle aussi une petite part de subjectivité, car il existe aussi une connectivité représentée. Par contre, les qualités mises en avant par d'autres travaux (Victor, 2016 ; Alfonzo, 2005) nous semblent plus fonctionnelles, bien que pour la plupart très subjectives. Selon ces auteurs, les conditions que le piéton cherche à satisfaire lors de la planification et de l'exécution d'un trajet sont : la **faisabilité et l'accessibilité** qui déterminent si le déplacement pédestre est réalisable. La **faisabilité** dépend de l'intervalle de temps que la personne doit se donner (en rapport à une vitesse adaptée à sa condition physique) afin de se rendre à une destination. L'**accessibilité,** selon ces auteurs, est ce qui permet au piéton d'assurer son déplacement et d'être en mesure d'accéder à sa destination en l'absence de barrières réelles ou perçues. Il s'agit donc d'un besoin. Ainsi, dans le processus de choix du trajet, le piéton doit être rassuré sur le fait qu'il peut atteindre sa destination. Par exemple, une personne en fauteuil roulant ou handicapée doit pouvoir atteindre sa destination. L'**utilité (l'attractivité) des lieux** est la capacité de l'environnement à répondre aux besoins quotidiens des piétons en matière de variété et de qualité des services proposés (shopping, alimentation, divertissement, etc.). La **sécurité** du milieu concernant la circulation permet d'assurer la **sûreté** de la personne par rapport aux autres personnes (la criminalité et l'agression). Le **confort environnemental et physique** est associé à une certaine quête du plaisir procuré par l'expérience sensorielle de la rue. Ceci dépend de divers stimuli perçus de l'environnement. Ainsi, le **plaisir des sens** résulte de l'expérience sensorielle de la rue par les fonctions sensorielles de l'odorat, de l'audition, du toucher et de la vision. L'individu tolère un niveau modéré de complexité[3] issu de la variété de stimuli sensoriels de l'environnement de la marche. Enfin, le **sentiment d'appartenance** et d'appropriation sociale et culturelle du milieu est la dernière condition à satisfaire.

[1] Commodité

[2] Convivial

[3] À préciser qu'à partir d'un certain point d'intensité, la complexité peut réduire le plaisir.

Pour une meilleure prise en compte des besoins des piétons, certaines études (Jonietz, 2010 ; Ausserer et *al*., 2010) se sont concentrées plus particulièrement sur l'évaluation des conditions du réseau de voirie propices aux exigences de la marche. À ce propos, Ausserer et *al*. (2010) ont souligné la nécessité du respect de quatre conditions à la fois fonctionnelles et perceptives pour assurer la pratique de la marche dans un réseau piétonnier : (1) un réseau piétonnier doit être **sécurisé,** minimisant ainsi les conflits entre les piétons et les autres usagers de la route (vélo, voitures, bus, etc.). (2) Du fait que les piétons sont sensibles aux détours, les réseaux de voirie devraient être **directs/pénétrables**, en tenant compte du chemin le plus court. (3) Un réseau bien **agencé** doit fournir des éléments d'aménagement cohérents pour les piétons, par exemple des trottoirs continus, suffisamment larges et bien entretenus, qui permettent de marcher en douceur et sans conflits. (4) Les réseaux piétonniers doivent être **attractifs** et diversifiés pour rendre la marche plus agréable, ce qui renvoie à l'aspect fonctionnel des milieux urbains tels que la présence d'espaces verts, l'existence d'espace de jeu pour les enfants ainsi que d'endroits pour s'asseoir et se reposer pour les adultes, notamment les personnes âgées, etc. Pareillement, dans une revue de la littérature sur 51 articles réalisée par Jonietz (2010), les variables selon lesquelles un réseau piétonnier est supposé favoriser la marche sont le sentiment de **sécurité** (concernant la circulation et les agressions), les conditions de **trafic** (le volume et la vitesse des voitures), l'aspect **esthétique,** la présence de **trottoirs,** le largueur des territoires, l'**aménagement** de l'espace public (l'éclairage, la végétation, le mobilier urbain).

Par ailleurs, nous tenons à souligner que comme plusieurs de ces qualités mentionnées plus haut sont subjectives, il n'est pas évident de les mesurer. En outre, comme l'ont précisé Courel et Deguitre (2020), certaines conditions de l'environnement sont abstraites. C'est par exemple le cas du confort, qui est une notion relative. Elle est donc abstraite et dépendante des perceptions individuelles.

Dans la section suivante, nous exposons comment, à partir de ces conditions exigeantes, les experts évaluent l'adéquation à la marche d'un environnement urbain par le concept de la marchabilité.

3-3- La marchabilité de l'environnement urbain

L'évaluation de l'environnement urbain comme étant adéquat à la marche est devenue un centre d'intérêt dans nombre de recherches à travers le monde. À ce propos, au tournant des

années 2000, le terme de « *walkability* » est apparu dans les études anglophones (Southworth, 2005 ; Alfonzo, 2005 ; Raulin et *al*., 2016). Ce terme renvoie au « *pedestrian friendly* », « *walk friendly* » ou encore « *walkable spaces* » (Frank *et al.*, 2009). Mais l'équivalent français, employé pour le terme de « *walkability* », est la marchabilité. Certains travaux (Noriza et *al*., 2013 ; Raulin et *al*., 2016) considèrent la marchabilité comme un concept fondamental dans la conception urbaine durable. Selon Raulin et *al*. (2016), ce concept s'inscrit dans un contexte de prise en compte à la fois du développement durable et de la santé publique. Par ailleurs, beaucoup d'autres l'ont considéré comme une qualité qui permet de mesurer l'adaptation de l'environnement urbain à la marche. La marchabilité correspond donc au potentiel piétonnier d'un milieu à faciliter les déplacements utilitaires à pieds (travail, école, achats de proximité, etc.) (Reyburn, 2010 ; INSPQ[1], 2013). Il est possible d'évaluer ce potentiel à l'aide de certaines mesures quantitatives et qualitatives (Roussel, 2016). Ainsi, selon cette définition, « marchable » est un adjectif qualificatif de l'environnement urbain qui révèle sa propension à être parcouru à pied. En accord avec cette idée, Noriza et *al*. (2013) ont également considéré la marchabilité comme étant une notion qui exprime le degré d'adaptation d'une zone à la pratique de la marche. Ils ont ensuite précisé qu'elle tient compte de la qualité d'un aménagement urbain convenable pour les piétons (les largeurs des trottoirs, la qualité des pavés, etc.), des conditions de réseaux de voirie (la grille de réseau par exemple), des modes d'occupation des sols (la densité et la diversité d'usages), de la sécurité des piétons par rapport aux voitures, etc.

Ainsi, afin d'évaluer la capacité d'un espace urbain adapté aux besoins des piétons et à la pratique de la marche, certaines études sur la marchabilité ont proposé différentes mesures objectives liées aux caractéristiques physiques de l'environnement construit (Ewing et Cervero, 2001 ; Cervero et Duncan, 2003 ; Cervero et *al*., 2009 ; Frank *et al.*, 2009). De manière générale, les études initiales sur le lien entre l'environnement construit[2] et le comportement de déplacement ont révélé une grande importance des facteurs liés à l'utilisation du sol et aux modes de déplacement pratiqués. Les premiers chercheurs à s'intéresser à ce sujet sont Newman et Kenworthy (1989) qui analysent une cinquantaine de villes à travers le monde. Ils dévoilent que dans un premier temps, une faible densité d'usage

[1] Institut national de santé publique du Québec

[2] Précisons que par « environnement construit », nous entendons l'environnement urbain perçu et vécu à travers le bâti, l'occupation des sols, le réseau de voirie, les activités et tous les éléments physiques et matériels de l'espace urbain.

du sol est fortement corrélée avec l'utilisation de la voiture et par conséquent une consommation élevée d'énergie fossile. Dans un deuxième temps, une densité basse contribue à la marginalisation de la marche à pied. Ces auteurs argumentent qu'une faible densité en matière d'occupation des sols provoque une augmentation des distances entre les origines et les destinations des déplacements. De ce fait, la distance entre le domicile et les commerces ou le lieu de travail est la raison pour laquelle ces villes sont devenues dépendantes à la voiture.

Les travaux postérieurs montrent que le point de vue de la densité qu'ont choisi Newman et Kenworthy n'est pas suffisant pour expliquer la relation entre l'environnement bâti et les comportements de mobilité. D'autres études, comme celle de Cervero et Kockelman (1997), élargissent donc les paramètres précédemment appliqués par Newman et Kenworthy, en prenant en compte d'autres variables telles que la diversité et le design de l'environnement construit. Ils accordent une attention particulière à la marche et aux conditions propices à ce mode de déplacement. Ces auteurs, après avoir étudié nombre de variables de l'environnement construit dans 50 quartiers de San Francisco, inventent le terme de « **Three Ds »**[1], lequel désigne les trois principaux attributs (variables) de l'environnement bâti qui influencent la mobilité urbaine, et plus particulièrement la marche : la **densité** de **la** population, de l'emploi ou de l'occupation des sols, la **diversité** de l'usage du sol et le **design** du réseau de voirie (la qualité d'aménagement du réseau, la taille et la forme des îlots, la connectivité du réseau, etc.). Par ailleurs, Ewing et Cervero (2001), Cervero et Duncan (2003), Cervero et *al*. (2009), Ewing et *al*. (2009) ajoutent d'autres variables à ces différents paramètres : l'accessibilité aux services et aux transports en commun (la proximité et la facilité d'accès à pied à un grand nombre de services de base comme l'école, les commerces, etc.), la gestion de l'offre et de la demande de déplacement motorisé (par exemple le management de l'offre et du coût de stationnement, la limitation de l'usage de la voiture, les taxations, etc.). Nous constatons que certains de ces paramètres tels que la densité, la diversité et l'accessibilité aux services, sont directement liés aux usages du sol, autrement dit l'aspect fonctionnelle de l'environnement urbain. Alors que d'autres, comme le design, sont plutôt liés aux aspects physiques, esthétique ou au réseau de voirie. Quoi qu'il en soit, comme l'indique le VTPI[2] (2005), ces mesures prennent en considération un ensemble de caractéristiques

[1] « 3 Ds layout »

[2] Victoria Transport Policy Institute

objectives de l'environnement construit qui peuvent être évaluées à différentes échelles, du trottoirs à la ville, en passant par le quartier.

Néanmoins, dans le but d'évaluer la marchabilité du milieu urbain, la plupart des travaux (Litman, 2004 ; Ewing et Handy, 2009 ; Ewing et Clemente, 2013 ; Singh, 2016 ; Duany et Plater-Zyberk, 2000) prennent également en considération des mesures subjectives. Par exemple, Ewing et Handy (2009) ont évalué, en plus des qualités objectives, certaines qualités subjectives de l'environnement physique qui sont liées aux sentiments et aux perceptions des individus tels que le sentiment de confort, le sentiment de sécurité et de sûreté, l'attractivité, l'aspect esthétique du milieu, etc.

Ainsi, lors du choix d'itinéraire, l'individu cherche le trajet qu'il évalue comme étant le plus conforme à ses besoins physiques et mentaux, en passant par des milieux urbains qu'il évalue comme favorables à la marche. Les piétons planifient leurs itinéraires en fonction de besoins à satisfaire, mais aussi d'attributs de l'environnement liés à un ensemble de critères environnementaux (Victor, 2016). Nous partons donc du postulat que la marchabilité d'un milieu urbain entre dans les préférences de choix d'itinéraire des piétons. Ainsi, plus un trajet est perçu comme approprié à la marche, plus il est probable que l'individu décide de le choisir.

3-2-1- De la ville marchable à la ville marchée

L'amélioration de l'environnement bâti (qui repose sur les exigences du déplacement à pied) ne pousse pas les gens à marcher davantage (Shokoohi et *al*., 2011). En effet, une meilleure marchabilité ne génère pas forcément plus de marche dans un quartier (Kang, 2015). Ainsi, une ville marchable n'est pas forcément une ville « marchée ». En effet, nous pensons que, premièrement, la marchabilité est une qualité du milieu qui relève de l'environnement urbain, mais que la décision de marcher relève de la personne (qui est en situation, situation dont elle se fait une représentation). Ainsi, il est possible qu'une ville soit considérée comme marchable selon les experts, mais qu'elle ne soit pas considérée comme marchable par les usagers (les piétons). Ceci renvoie au décalage qui peut exister entre l'espace conçu et l'espace perçu mentionnés par Lefebvre (1974)[1]. Deuxièmement, le postulat selon lequel l'amélioration de la marchabilité des villes ou des quartiers influe forcément sur la pratique de la marche, repose sur une approche déterministe de l'environnement. Comme le

[1] Nous avons évoqué les différentes appréhensions de l'espace dans la sous-section 1-2-1.

précise Lang (1987), cette approche considère l'environnement urbain comme une source de stimulation des individus et le changement des caractéristiques du milieu comme affectant les comportements des individus. Le milieu est ainsi pensé comme un contexte qui conditionne directement le comportement humain et dans lequel l'individu a tendance à s'adapter aux caractéristiques physiques de l'environnement (Dias, 2016). Ainsi cette approche ne prend pas en compte les spécificités individuelles, sociales et culturelles des personnes. C'est pourquoi Lang (1987) souligne l'importance du rôle des caractéristiques individuelles, culturelles, sociales et idéologiques des personnes dans leurs comportements dans l'environnement urbain. Il propose donc l'approche « *possibilistique*[1] », supposant que l'environnement construit possède le potentiel pour influencer le comportement humain. Néanmoins, cette approche prend aussi en considération le rôle des spécificités individuelles, des besoins et des motivations propres à chaque individu, ainsi que des représentations. En effet, ce sont les représentations des stimuli physiques qui déterminent les comportements des personnes et non la dimension physique de l'environnement elle-même (Dias, 2016).

En outre, les circonstances du déplacement, telles que la situation météorologique (l'ensoleillement, la température très élevée ou très basse, du vent, le la pluie, etc.), la mauvaise qualité de l'air et les nuisances sonores, sont associée à l'inconfort ressenti lors de la marche (Zekri, 2010 ; Noriza et *al*., 2013 ; Roussel, 2016). Comme le confirme Roussel (2016), ses situations représentent un frein à l'envie de se déplacer à pied dans l'espace urbain, surtout pour des usagers qui sont particulièrement sensibles (les personnes âgées, les enfants, etc.).

Or, comme nous l'avons décrit dans le premier chapitre, premièrement, la façon dont les individus perçoivent l'espace urbain est souvent en distorsion avec les réalités objectives de l'espace, ce qui les conduit à reconstruire mentalement une représentation de l'espace réel. Deuxièmement, la représentation de l'espace repose sur les caractéristiques individuelles des personnes, leurs liens sociaux ainsi que sur les caractéristiques des groupes sociaux auxquels ils appartiennent. Ainsi, puisque l'environnement est traité par l'individu en fonction de ses spécificités individuelles et sociales, la relation individu-milieu doit être considérée comme le résultat du croisement des caractéristiques du milieu et de celles de l'individu (Dias, 2016). La relation individu-milieu repose donc sur l'approche interactionnelle selon laquelle cette

[1] Traduit du terme « *possibilistic* ».

relation est une interaction réciproque, qui n'est réduite ni aux caractéristiques de l'un, ni à celles de l'autre (ibid).

Ainsi, la marche est un phénomène complexe qui, en plus des facteurs liés à l'environnement construit, est également influencé par un sous-ensemble de caractéristiques personnelles des individus, leurs préférences et motivations individuelles (Victor, 2016 ; Ewing et Cervero, 2001 ; Kang, 2015 et Lamiquiz et López-Dominguez 2015). Selon les spécificités individuelles, le milieu n'a pas les mêmes conséquences sur les individus (Dias, 2016). C'est pour cette raison que différents groupes de piétons ont des perceptions différentes de la marchabilité d'un environnement construit. Cela repose sur deux aspects : soit les caractéristiques personnelles des individus suscitent des exigences variées vis-à-vis de la marche, soit ces caractéristiques affectent leurs perceptions de l'environnement construit et l'évaluation de la marchabilité de ce dernier. Moura et *al*. (2017) ont montré qu'il existe une différenciation significative de l'évaluation de la marchabilité en fonction des caractéristiques des groupes de piétons : les personnes âgées et les individus à mobilité réduite ont des perceptions beaucoup plus négatives de la marchabilité d'un milieu urbain comparées à celles des adultes en bonne santé. De même, concernant les caractéristiques démographiques des piétons, Gallagher et *al*. (2010) ont observé que les aspects esthétiques tels que les espaces verts et la présence de monuments historiques le long d'une voie ont plutôt des effets positifs sur les marcheurs âgés dans le contexte de Détroit au Michigan. Ou encore, les monuments historiques n'entraînent pas les mêmes effets chez les résidents que chez les touristes (Dias, 2016). Les différents groupes de personnes n'ont pas la même sensibilité aux éléments physiques de l'espace. Raulin et *al*. (2016) citant Michael et *al*. (2006) précise que le design urbain (les micro contextes de la morphologie urbaine) a une influence considérable sur le niveau et l'intensité des déplacements pédestres des personnes âgées, alors que pour les enfants et les adolescents, les destinations et les lieux de flânerie sont davantage importants. Les personnes qui perçoivent un quartier comme approprié à la marche ont plus de probabilité de marcher comparées à celles qui perçoivent leur quartier comme non adapté à la marche (Gebela et *al*., 2009, 2011). Ces auteurs affirment qu'en revanche, une fausse perception de la marchabilité de l'environnement construit influence significativement et de manière négative la marche des citadins. En effet, si la perception des individus de la marchabilité d'un milieu urbain est négative, ceci peut entraîner la diminution de la marche. Ces auteurs mettent en exergue que les adultes de statut socio-économique inférieur, ceux qui ont des enfants dans leurs ménages, ou les personnes qui sont en surpoids sont plus susceptibles d'évaluer un

quartier qui est hautement adapté à la marche comme convenant peu à la marche. Pour argumenter ce constat, nous nous référons à Victor (2016), qui explique que le surpoids des personnes et le poids supplémentaire lié au port d'un enfant nécessitent une consommation d'énergie additionnelle. De plus, cela diminue la tolérance de ces personnes à l'effort physique pour marcher, ce qui modifie leur perception de la marchabilité de l'environnement et par conséquent leur pratique de la marche.

Ainsi, après avoir pris en considération que la marchabilité n'est pas une notion absolue et que la perception de la marchabilité d'un milieu peut dépendre de différents paramètres, nous proposons néanmoins d'appréhender par la suite les attributs d'un environnement urbain adapté à la marche. Dans la suite de cette section, nous développons donc, à partir de la revue de la littérature, les principaux attributs de l'environnement construit qui contribuent à la marchabilité de l'environnement urbain : la densité de l'environnement construit, la diversité de l'usage du sol, l'accessibilité aux services de base, le design de l'environnement urbain et la structure de la voirie (la taille et la forme des îlots, la connectivité du réseau de voirie et la qualité de l'aménagement de l'espace public).

3-2-2- La densité de l'environnement construit

La densité est une dimension qui est supposée jouer un rôle important sur le comportement de mobilité urbaine des individus. De nombreux travaux de recherche permettent de démontrer l'existence d'un lien fort entre la densité et la pratique de la marche (Cervero et Kockelman, 1997 ; Pouyanne, 2004 ; Cervero et *al.*, 2009 ; Ewing et Cervero, 2001, 2010). Avant de s'interroger sur ce lien, nous tenons à distinguer la compacité et la densité. Comme le souligne Pouyanne (2004), la compacité est un concept, mais la densité est un indicateur permettant de déterminer l'intensité de l'occupation de l'espace par l'homme et ses activités. En effet, la ville compacte est un concept de l'urbanisme qui reprend les attributs de la « ville pédestre » où les distances à parcourir sont relativement courtes afin de ne pas inciter aux déplacements en voiture et de faire en sorte que la marche soit le principal mode de déplacement (Dupuy, 1995 ; Newman et Kenworthy, 1998 ; Pouyanne, 2004). Comme le souligne Pouyanne (2004), la ville compacte, en plus d'être dense, se définit par d'autres paramètres tel qu'un degré élevé de diversité d'usages du sol. Ainsi, pour définir ce que nous entendons par densité, nous nous appuyons sur certains travaux (Cervero et *al.*, 2009 ; Ewing et Cervero, 2010 ; Lamiquiz et López-Dominguez, 2015) qui la considèrent comme un facteur d'analyse objective et quantitative de l'environnement construit qui correspond au nombre

d’activités globales, au nombre d’individus composants la population, aux unités d’habitation, ou à l’emploi rapporté à une superficie.

Dans le Dictionnaire de la géographie et de l’espace des sociétés, Lévy et Lussault (2013) abordent le concept d’urbanité. Dans cette définition, la densité et la diversité sont décrites comme des notions beaucoup plus complexes. En effet, l’urbanité correspond au « *caractère proprement urbain d’un espace* » (p. 1053). Elle procède de la combinaison multidimensionnelle de la densité et de la diversité, « *mais aussi de la configuration spatiale* » de ce couplage (Lévy et Lussault, 2013, p. 1053). Plus précisément ces auteurs insistent sur le fait que l’urbanité est un phénomène social, dans lequel la densité et la diversité ne se réduisent pas uniquement aux réalités matérielles et fonctionnelles, comme la mixité des fonctions (résidentielles, commerciales, etc.). Ainsi, l'urbanité s'appuie également sur la diversité des réalités sociales telles que les idéologies, les normes et les valeurs collectives et individuelles. Il existe donc un gradient de l’urbanité dans laquelle plus la densité et la diversité d’une situation urbaine sont fortes, et leurs interactions importantes, plus l’urbanité d’une situation urbaine donnée est élevée. Ainsi, l’urbanité est à la fois le résultat du fonctionnement de l’organisation urbaine et un opérateur de l’organisation et de son fonctionnement. De même, cette approche défend l’idée que la diversité fonctionnelle et la densité favorisent la diversité des faits sociaux et la coprésence dans l'espace urbain.

En ce qui concerne la relation entre la densité et le déplacement, une très grande majorité des travaux, que nous abordons maintenant, se concentrent uniquement sur la densité fonctionnelle. Celle-ci, notamment la densité résidentielle et la densité de l’emploi, peuvent diminuer les déplacements motorisés et les conséquences liées à ce mode de déplacement telles que la pollution de l’air, la nécessité de stationner, etc. (Newman et Kenworthy, 1998 ; Ewing et Cervero, 2001). En général, une plus forte densité s’avère être associée à plus de déplacements à pied (Ewing et Cervero, 2001 ; Noriza et *al*., 2013 ; Kang, 2015 ; Lerman et *al*., 2016 ; Courel et Deguitre, 2020). Kang (2015) confirme également que la densité de l’emploi est positivement associée à une plus grande marche à pied dans les milieux urbains. En revanche, selon cet auteur, la densité de la population (de logement) génère l’effet contraire. Il argumente que les piétons préfèrent plutôt marcher près de leur lieu de travail que dans des quartiers résidentiels dans lesquels il n'existe pas d’autres activités. C’est pour cette raison que le taux de déplacements dans les quartiers résidentiels où la densité de population est forte n’est pas forcément élevé.

Afin de justifier la raison pour laquelle la densité (fonctionnelle) est positivement liée au taux de pratique de déplacement pédestre, Stead et Marshall (2001) et Courel et Deguitre (2020) pointent la distance. Selon eux, une densité plus élevée donne lieu à une concentration spatiale des origines et des destinations de déplacements dans une superficie donnée. De plus, cette concentration d'opportunités dans une superficie restreinte amène une diminution des distances à parcourir, ce qui permet d'accéder à une gamme de services relativement plus large. De la même façon, certains travaux (Ewing et Cervero, 2001, 2010 ; Courel et Deguitre, 2020) ajoutent que la densité réduisant les distances, elle amène à favoriser l'accès aux services de transport en commun. Cependant, Ewing et Cervero (2010) réalisent une méta-analyse[1] sur le lien entre la pratique du déplacement à pied et les attributs de l'environnement construit, tels que la densité, la diversité, etc., et leurs résultats diffèrent. Ils précisent que conformément aux travaux précédents, la marche est très fortement liée à la diversité de l'utilisation du sol, à la connectivité du réseau de voirie et au nombre de destinations accessibles par la marche, mais beaucoup moins à la densité.

En ce qui concerne le lien entre la densité et le choix d'itinéraire des piétons, l'individu effectue probablement son trajet en choisissant un itinéraire qui traverse des milieux plus denses du fait que la densité, par la concentration des activités, peut diminuer les distances physiques et temporelles entre les origines et les destinations du trajet lors de la marche.

3-2-3- La diversité des usages du sol

Comme l'a souligné Pouyanne (2004), les densités de population, d'activité et d'emploi ne sont pas suffisantes pour influencer le comportement de mobilité des individus. Il faut également prendre en compte la diversité des activités et les usages du sol dans l'espace urbain (Cervero et Kockelman, 1997 ; Ewing et Cervero, 2010 ; Ewing et Cervero, 2001 ; Lévy, 2004; Noriza et *al*., 2013; Stead et Marshall, 2001). La diversité de l'usage du sol (ou « mixité fonctionnelle ») est un indicateur qui désigne le nombre d'utilisations des sols en matières de variété, dans une superficie donnée (Ewing et Cervero, 2010). La diversité engendre le regroupement de fonctions diverses dans une superficie donnée. Un milieu urbain dense n'a pas forcément de diversité fonctionnelle. Par exemple, il est possible que la densité de la population ou les unités d'habitation (les logements) dans un milieu soient très élevées,

[1] Il s'agit d'une analyse et d'une synthèse des travaux publiés sur le lien entre l'environnement construit et le déplacement pédestre. Ces travaux sont ceux publiés jusqu'au 2009.

mais cela se fait au détriment des autres activités. Ainsi, ce type de quartier est dense mais il n'est pas multifonctionnel. Ses habitants sont donc obligés d'aller travailler ou de faire leurs courses dans d'autres quartiers. C'est aussi le cas pour les quartiers d'affaires, lesquels concentrent des emplois mais pas suffisamment de logements, ce qui provoque des déplacements quotidiens à l'extérieur de ces quartiers, même parfois à l'échelle métropolitaine. C'est la raison pour laquelle Cervero (1989) insiste sur le fait que si la densité d'emploi est plus élevée que la densité résidentielle, la proportion de déplacements à pied diminue. Il suggère donc d'équilibrer le ratio des habitations et des emplois. Concernant les quartiers résidentiels, Cervero et Duncan (2003) suggèrent de compléter la présence de commerces de détail avec d'autres usages du sol (par exemple des bureaux), ce qui permet de diversifier ces quartiers et d'inciter à se déplacer à pied. Un quartier dense mais monofonctionnel n'est pas autonome puisqu'il est dépendant d'autres quartiers. C'est pourquoi il est important que les occupations du sol soient diversifiées mais aussi équilibrées (en matière par exemple de nombre d'emplois par rapport au nombre de logements (Courel et Deguitre, 2020).

La diversité fonctionnelle des usages du sol est plus favorable à l'augmentation de la pratique de la marche par rapport à la monofonctionnalité du sol (Cervero et Kockelman, 1997 ; Ewing et Cervero, 2010 ; Ewing et Cervero, 2001 ; Lévy, 2004 ; Noriza et *al*., 2013 ; Stead et Marshall, 2001). Dans un milieu urbain multifonctionnel, une concentration spatiale de diverses aménités sur une superficie restreinte permet de rapprocher les activités les unes des autres. Par conséquent, les distances entre fonctions deviennent plus courtes et elles peuvent être effectuées à pied ou à vélo (Raulin et *al*.,2016 ; Courel et Deguitre, 2020 ; Raulin et *al*., 2016). Après avoir étudié le concept de la marchabilité autour de destinations commerciales de trois quartiers résidentiels de la région métropolitaine de Montréal, ces auteurs concluent que pour qu'un quartier soit propice à la marche, la diversité fonctionnelle y est primordiale. En revanche, Courel et Deguitre (2020) mettent en doute l'existence du lien entre la diversité et la densité d'occupations des sols avec la pratique de la marche à pied. Ils affirment que le taux élevé de densité et la diversité ne signifient pas forcément que la pratique du déplacement à pied est plus élevée dans ces milieux. Un milieu urbain théoriquement marchable n'est, en pratique, pas forcément plus marchable, puisque premièrement, les différents secteurs d'emploi n'attirent pas les mêmes populations, et que le contexte économique, le prix de l'immobilier et des loyers, ou le contexte social, peuvent pousser les gens à se localiser dans un autre quartier ou attirer les travailleurs d'autres

quartiers. Deuxièmement, la pratique de la marche peut dépendre également de certaines autres conditions comme l'accessibilité aux services, le design urbain du réseau de voirie, les stratégies vis-à-vis de la restriction de l'usage de la voiture pour qu'elle devienne moins compétitive que la marche (coût de parking, aménagements urbains, etc.), etc. Ces aspects sont abordés dans les sous-sections 4.3 et 4.4. Nous ajoutons aussi qu'il est possible que la compétitivité entre les quartiers pousse les gens à utiliser plutôt les services d'autres quartiers que les leurs.

L'effet de la diversité d'occupations des sols sur la marchabilité est également à nuancer selon le type d'activité. Kang (2015) fait une analyse plus détaillée à ce sujet, à Séoul. Il étudie l'influence de la diversité d'utilisations du sol (résidentielles, commerciales, administratives et industrielles) sur le déplacement à pied. Il conclut que chacun de ces types d'activités produit des effets distincts sur la répartition spatiale des piétons. Par exemple, une plus grande accessibilité aux usages commerciaux est associée à un plus grand volume de piétons en semaine et le samedi. L'effet de la diversité des usages résidentiels et administratifs est plus faible que celui des usages commerciaux, tandis que la proximité des fonctions à vocation industrielle est négativement liée à la marche. En somme, il confirme l'effet positif de la mixité d'occupation des sols sur la pratique de la marche à pied.

Pour conclure, trois conséquences peuvent être tirées du constat selon lequel plus l'occupation des sols est diversifiée et mixte, plus la probabilité qu'une origine et une destination soient proches devient élevée. Le premier constat est que, dès lors qu'elle est diversifiée et mixte, l'occupation des sols offre une proximité entre les lieux fréquentés au quotidien (domicile, travail, services, loisirs) et donc une diminution des distances entre les différentes origines et destinations du déplacement. Le deuxième constat est que l'occupation des sols permet à l'individu d'enchaîner différents déplacements pédestres ayant des motifs variés, tel qu'aller au travail, faire des courses, aller au cinéma, aller au restaurant etc. Ce qui, comme le dit Victor (2016), dans le cadre d'une marche (même utilitaire) et lorsque le budget-temps est moins contraint, laisse la possibilité d'effectuer quelques petits détours pour faire des achats utilitaires. Le troisième constat est que la diversité fonctionnelle peut entraîner une ambiance urbaine plus animée dans les milieux dont l'occupation des sols est diversifiée et mixte, ce qui, selon nous, augmente fortement la possibilité que l'individu organise son trajet de manière à passer par ces quartiers lorsqu'il choisit son itinéraire.

3-2-4- L’accessibilité aux services de base

La densité de l’environnement construit et la diversité fonctionnelle permettent l’accessibilité aux services de bases. En effet, l’accessibilité aux services de base est un autre facteur d’analyse de l’environnement construit qui permet de mesurer la marchabilité des milieux urbains. Comme l’expliquent Handy (1993) et Ewing et Cervero (2001), l’accessibilité aux services de base désigne à la fois la proximité et la facilité d'accès à pied aux aménités et services de base comme les commerce, l’école, les stations de transport en commun, etc., depuis des lieux de résidence ou des lieux de travail. Il est donc possible de la mesurer par (1) la densité du maillage du réseau de transport en commun (le nombre de stations ou la longueur des lignes de bus, de tramway, de métro, etc. par kilomètre carré d'une zone donnée), ou bien (2) par la distance des lieux de résidence par rapport aux arrêts de transports en commun (Ewing et Cervero, 2001 ; Malasek, 2010). Pour Malasek (2010), la distance idéale entre le lieu de résidence et (1) un arrêt de bus est de 150 mètres, (2) un arrêt de tramway : 200 mètres et (3) une station de métro : 300 mètres. En moyenne, les piétons ont une tolérance de 12-13 minutes pour rejoindre les services de base entièrement à pied, mais seulement jusqu’à six minutes lorsqu’ils complètent la marche avec d’autres moyens de transport tels que la voiture ou les transports en commun (Victor, 2016).

En effet, l’accessibilité à pied aux services de base est évoquée pour la première fois dans le travail de Perry, dans un article publié en 1929 intitulé: « The neighborhood unit ». Il y élabore le concept d’ « unité de voisinage » à partir de la « Garden City » théorie d’Howard avec pour objectif de proposer une taille « idéale » pour les quartiers résidentiels. Son objectif est d’améliorer l'accessibilité à pied des résidents aux services publics de base et de diminuer l’usage de la voiture afin de résoudre des problèmes comme la congestion du trafic et l'insécurité des enfants qui vont à pied à l'école. Ainsi, son concept est destiné à estimer une population (1000 familles ou 5000 habitants) et également à déterminer une superficie « idéale » et pratique pour les quartiers résidentiels permettant d’accéder facilement et en toute sécurité aux services de base (notamment l’école primaire) par le déplacement à pied. Selon ce concept, le niveau d’accessibilité d’un quartier est mesuré à partir d’une distance (euclidienne) de 400 mètres de marche (équivalent à 5 minutes à une vitesse moyenne de 3.2 km par heure) entre la maison et un pôle d’équipements et de services dont l’usage est quotidien (tels que l’école primaire, les espaces de jeu des enfants, les équipements sportifs et des commerces de proximité). Il a donc estimé le diamètre d’une unité de voisinage à environ 800 mètres, diamètre dans lequel les axes principaux de trafic motorisé sont exclus. En effet,

ce concept prend en compte à la fois la distance optimale pour la marche, la diminution de la circulation des voitures à l'intérieur des quartiers, ainsi que la diversité des occupations des sols (notamment les services de base). Ce concept a pour objectif d'assurer la sécurité routière des habitants (particulièrement celle des enfants), d'augmenter la possibilité de la pratique de la marche dans ces quartiers, et de renforcer les interactions sociales. Cependant, nous pensons que ce concept se concentre principalement sur les déplacements de courte portée et sur des trajets praticables à l'intérieur des quartiers. En revanche, cet auteur ne se préoccupe pas des déplacements vers l'extérieur des quartiers (comme pour se rendre sur son lieu de travail), ni du problème de trafic à l'échelle de la ville. Depuis, plusieurs travaux de recherche développent cette idée et proposent des modèles et des méthodes pour calculer la distance par rapport aux services de base dans différents quartiers de différentes villes du monde. Certains, comme Ewing et Cervero (2001), évaluent l'accessibilité aux transports en commun en mesurant la densité des arrêts et les lignes de transport public par unité de surface, ainsi que la distance des lieux de résidences aux arrêts de transports en commun.

Les quatre indices couramment utilisés dans la littérature pour mesurer la marchabilité des quartiers sont classés comme suit par Manaugh et El-Geneidy (2011) :

- le « ***walkability index*** » qui évalue un ensemble de facteurs : (1) la densité des intersections (ayant au moins trois segments) du réseau de voirie (par km²) ; (2) la densité résidentielle (nombre de ménages par km²) ; (3) la diversité des usages du sol et la densité résidentielle (le nombre d'habitants et de logements par km²) ; (4) et la part du commerce de proximité par rapport à tous types d'activités de commerces. Ensuite, par la méthode Z-Score[1], l'indice est obtenu à partir de la somme de ces facteurs en donnant à la densité d'intersections du réseau un poids deux fois plus important qu'aux trois autres facteurs.

- le « ***Walk opportunities index*** **»** évalue la proximité des services du quotidien accessibles à pied, notamment les commerces. La particularité de cet indice est qu'il classifie les services du quotidien en fonction d'un ensemble de critères tels que la distance, la taille et l'importance dans la vie quotidienne des

[1] Le Z-score (score standard) exprime la distance par rapport à la valeur moyenne, exprimée en écart-type. En effet, il montre la proportion d'écarts-types qui se trouve au-dessus ou en dessous de la valeur moyenne. Il se calcule ainsi : (la valeur de la population - la valeur moyenne) divisé par l'écart-type de la population. Nous tenons à préciser que plus cette valeur est proche de zéro, moins les données sont dispersées. Elles seront donc plus proche de la moyenne.

familles. Par exemple, les destinations locales comme les bureaux de poste, les pharmacies et les magasins d'alimentation se classent plus haut que le sport ou les boîtes de nuit.

- l'indice de « ***PedShed connectivity*** » repose sur le concept d'« unité de voisinage » de Perry (1929) et définit la superficie couverte par 5 minutes de marche depuis le lieu de résidence (autrement dit l'origine des déplacements). Il mesure cette durée de déplacement à pied sur le réseau de voirie et non par rapport à la distance euclidienne. Ainsi, cet indice détermine la zone accessible autour des lieux d'habitation via le réseau de voirie, dans un rayon de 400 mètres.

- le « ***Walkscore*** » évalue la proximité métrique des différents services de base accessibles à pied à l'échelle du quartier. Contrairement aux autres indices, il a la particularité de se calculer sans prendre en considération uniquement une distance prédéterminée. Ainsi, plus une résidence est située à proximité des services, plus le *Walkscore* de celle-ci est élevé. Cependant, il ne classifie pas les services relativement à leur niveau d'importance ou à d'autres paramètres. Certains sites internet comme « http://www.*walkscore*.com » sont mis à la disposition du public afin de permettre de calculer la marchabilité des quartiers des villes aux USA, au Canada et en Australie. Ce site évalue pour tous les quartiers les services (tels que les commerces de proximité, les écoles, les cafés et restaurants, les loisirs : parcs, salles de sport ; les divertissements : salles de cinéma, théâtres) accessibles dans un rayon de moins de 10 minutes à pied à partir du lieu de résidence. Ainsi, l'indice *walkscore* attribue un score à chaque emplacement résidentiel en fonction de la distance (à vol d'oiseau) de ce dernier et la diversité des services. Des usages à des fins commerciales de cet indice ont été observés (Victor, 2016), notamment dans le marché de l'immobilier. Cet indice, qui prend en compte la distance euclidienne, a comme inconvénient d'être très peu réaliste. C'est pour cette raison, et afin de prendre en compte la forme et les spécificités du réseau de voirie, que le projet « ***Walkshed*** », à Philadelphie et New York, propose le site internet http://www.Walkshed.org. Ce site permet, d'une part, de prendre en considération la structure du réseau de voirie et donc les coupures urbaines (autoroutes, lignes ferroviaires, etc.) et, d'autre part, de donner la possibilité d'accorder des priorités à chaque facteur (Victor, 2016).

Il est avéré dans plusieurs études (Ewing et Cervero, 2001 ; Noriza et *al.*, 2013) que l'accessibilité aux services de base et aux transports en commun contribue à l'augmentation de la marchabilité (le potentiel de la marche à pied) des milieux urbains et donc de la pratique de la marche dans ces milieux. Nous pensons que l'accessibilité aux services de base peut également être envisagée en tant que facteur qui entre dans les critères du choix d'itinéraire des piétons.

3-2-5- Le design de l'environnement urbain et le réseau de voirie

Un autre critère permettant d'évaluer l'adéquation d'un milieu à la marche est le design urbain. Pour que, au-delà des facteurs comme la densité, la diversité et l'accessibilité aux services, un environnement urbain soit qualifié de favorable au déplacement à pied, il doit disposer d'une qualité de design offrant les conditions que les piétons attendent en matière de sécurité, de confort, de plaisir, d'attractivité, etc. (Ewing et Handy, 2009). Différentes études (Cervero et Kockelman, 1997 ; Hillier, 1996 ; Hillier et *al.*, 1993 ; Parks et Schofer, 2006 ; Duany et Plater-Zyberk, 2000 ; Cervero, 2003 ; Frank et *al.*, 2005 ; Ewing et Handy, 2009) montrent qu'en plus de la densité et de la diversité des fonctions urbaines, le design, et notamment le design du réseau de voirie, est également associé à la part modale de la marche dans les milieux urbains. De manière générale, le design urbain, comme le disent Courel et Deguitre (2020), correspond à l'espace « visible » de la forme urbaine à l'échelle micro (le quartier ou la rue), et ce au travers du bâti, de la voirie et de leur agencement dans l'espace. Nous ajoutons que les individus, selon leurs moyens de déplacement et leurs caractéristiques individuelles, parviennent à percevoir les parties visibles de l'espace. Cela peut donc être relativement différent d'un individu à l'autre. En effet, le design s'appuie sur le poids de la dimension physique dans l'élaboration des représentations des individus (Dias, 2016). Dès lors, le design du réseau de voirie correspond aux éléments physiques et visibles de l'environnement construit, lequel inclut la structure du réseau de voirie (la taille et la forme des îlots), la largeur des rues, la forme et la densité des intersections, l'aménagement de l'espace public, les parties visibles et extérieures des bâtiments (hauteur, taille, forme, couleurs, les fenêtres, l'entrée, les vitrines, etc.).

En outre, Marshall (2006) attire notre attention sur le fait que nous ne pouvons pas accorder les mêmes exigences d'organisation du réseau de voirie à la circulation des voitures qu'aux piétons, alors que le design du réseau de voirie se préoccupe avant tout des besoins du trafic automobile. C'est la raison pour laquelle l'analyse du réseau de voirie, en lien avec le

déplacement pédestre, est l'objectif de certaines recherches. Une grande partie de ces études (Cervero et kocklman, 1997 ; Ewing, 1999 ; Stead et Marshall, 2001 ; Cervero, 2003 ; Ewing et Cervero, 2010) se focalisent sur la relation entre certaines caractéristiques du réseau de voirie et la pratique de la marche dans les milieux urbains. Afin de décrire le design du réseau de voirie d'une zone urbaine, Stead et Marshall (2001) distinguent deux façons de procéder : premièrement, des descriptions qualitatives par rapport à l'ensemble de la configuration du réseau de voirie, qui permettent une impression intuitive de sa forme, comme par exemple le tracé orthogonal des rues, la structure radiale, etc. Deuxièmement, il est possible de décrire le réseau de voirie par les propriétés de ses composants quantitatifs, lesquels permettent une comparaison systématique de différents réseaux de voirie comme par exemple la composition du réseau en fonction de la densité d'intersections.

Afin d'évaluer le design urbain, beaucoup d'autres études (Cervero et kocklman,1997 ; Ewing, 1999 ; Cervero, 2003 ; Ewing et Cervero, 2010 ; Russel, 2017 ; Courel et Deguitre, 2020) utilisent les principaux indicateurs suivants qui comprennent à la fois des mesures qualitatives et quantitatives : le modèle prédominant du tracé des rues (le fait qu'elles soient de forme organique, en forme de grille régulière, de grille curviligne ou etc.), le nombre d'intersections par mètre carré (connectivité), le nombre de culs-de-sac par mètre carré, la longueur moyenne des îlots urbains, la part de blocs avec trottoirs, l'aménagement pour les piétons (plantations, éclairage, mobilier, traversées piétonnes, etc.), la largeur moyenne et l'encombrement des trottoirs.

Dans la suite de notre exposé, nous développons certains facteurs de design qui sont supposés avoir un effet sur le comportement de la marche et qui ont été les plus évalués dans les travaux précédents. Nous les classons de la façon suivante : (1) le modèle prédominant du tracé des rues et la taille et la forme des îlots urbains, (2) la connectivité du réseau de voirie (l'intensité des intersections), (3) la configuration topologique des rues, (4) la qualité d'aménagement de l'espace publique.

3-2-5-1- Le modèle prédominant du tracé de rues et la taille des îlots urbains

Considérons d'abord le cas du modèle prédominant du tracé des rues en tant qu'un des éléments importants par lequel se caractérise le design du réseau de voirie. Le réseau de voirie en forme de grille régulière est, selon Ewing (1999), un élément hautement souhaitable pour

les piétons[1]. Les études précédentes (Cervero et kocklman, 1997 ; Cervero et Duncan, 2003 ; Parks et Schofer, 2006 ; Cervero et *al.*, 2009 ; Singh, 2016) expriment que les réseaux de voirie qui possèdent une grille régulière et disposent d'îlots petits ont l'avantage de permettre des trajets relativement directs, tandis que les rues curvilignes (sinueuses), qui forment des îlots, aux côtés longs, rallongent les itinéraires piétonniers et exigent des détours.

Concernant l'influence de la longueur et de la largeur des îlots urbains sur la marche à pied, Singh (2016) précise que dans les configurations dans lesquelles les îlots urbains sont plus petits, les distances perçues sont plus courtes. Par conséquent, cela les rend plus adaptés à la marche, ce qui peut augmenter la fréquentation des piétons dans ces rues. Alors qu'au contraire, les réseaux de voiries constitués d'impasses et de boucles (comme c'est le cas de beaucoup de quartiers périurbains) allongent les distances (Cervero, 1997).

En effet, comme le précisent Courel et Deguitre (2020), la taille des îlots est fortement liée à l'organisation de la voirie et il n'est pas évident de distinguer si c'est la voirie qui définit la taille et la forme de l'îlot ou si c'est plutôt l'inverse. En accord avec ce constat, nous pensons qu'il est important de prendre en compte les deux indicateurs que sont le tracé du réseau de rues et celui de la longueur et de la largeur des îlots, mais de façon simultanée, dans la mesure où nous considérons que ces indicateurs constituent une combinaison. C'est pourquoi il ne faut pas les étudier séparément. En effet, il est possible que la forme du réseau de voirie soit régulier, mais que les îlots urbains soient grands et longs, comme c'est le cas dans certaines villes modernes notamment au Amérique du nord. Inversement, il est également possible que les îlots urbains soient petits, mais que le tracé des rues ne soit pas régulier, comme c'est le cas dans beaucoup de villes anciennes qui possèdent un tracé de rues organique et irrégulier. Comme le précisent Courel et Deguitre (2020), dans certaines villes historiques possédant une configuration de réseau de voirie organique avec un réseau de rues étroites et sinueuses, les distances sont plus longues. Nous ajoutons que dans cette configuration, les distances perçues peuvent également sembler plus longues que celles de grilles de rues régulières. En revanche, Duany et Plater-Zyberk (2000) nuance cette idée en disant qu'en général, dans les réseaux de voirie traditionnels (historiques) composés de petits îlots urbains et d'une grille de rues organique, la distance à parcourir est réduite du fait que les voies sont très reliées et se croisent souvent, ce qui peut donc favoriser la pratique du déplacement à pied.

[1] Mais, à notre avis, cette idée est à nuancer car un touriste en balade peut préférer les petites rues sinueuses, notamment dans les centre historique des villes.

Ainsi, généralement, les réseaux de voirie en forme de grille et ayant des îlots plus petits permettent l'accessibilité et la connectivité pour les déplacements à pied. Pourtant, précisons que s'ils ne présentent pas des qualités visuelles convenables, ils peuvent sembler peu stimulants pour les piétons. C'est la raison pour laquelle certains touristes qui flânent préfèrent les petites rues sinueuses, notamment dans les centres historiques des villes. Par contre, un autre impact important du réseau de voirie est le lien qui existe entre le modèle prédominant de tracé de rues et la taille des îlots urbains avec la sécurité routière. Courel et Deguitre (2020) confirment, dans un premier temps, que lorsque les tracés de rues sont réguliers, l'accessibilité est élevée puisque ces tracés offrent plusieurs itinéraires alternatifs pour chaque paire d'origine-destination. Dans un second temps, ils nuancent cette idée en soulignant que cette accessibilité est forte, autant pour les piétons que pour les automobiles, ce qui peut donc avoir des conséquences sur la sécurité des piétons. Certaines études (Wei et Lovegrove, 2012 ; Guo et *al*., 2017) se penchent sur le lien qui existe entre le modèle de tracé des rues et la sécurité des piétons en rapport avec la circulation des voitures. Wei et Lovegrove (2012) confirment que la configuration de grille (quadrillée) n'est pas favorable à la sécurité des cyclistes et des piétons. Ils argumentent que l'inter-connectivité élevée de ce type de réseau favorise également une bonne accessibilité des véhicules et donc l'augmentation du volume du trafic et de la vitesse des véhicules, au détriment de la sécurité des piétons. C'est pour cette raison que certains aménageurs suivent des schémas de cul-de-sac pour réduire la vitesse des voitures et le volume du trafic dans les quartiers résidentiels (Courel et Deguitre, 2020). En effet, dans cette conception, premièrement, de manière générale et en matière de quantité, les accidents de voiture sont moins fréquents que dans les tracés de rues quadrillé. Deuxièmement, cette conception est associée à une gravité moindre d'accidents entre piétons et véhicules (Wei et Lovegrove, 2012). Le travail de Guo et *al*. (2017), dont l'objectif est de vérifier l'existence d'un lien entre la sécurité (risque d'accident) des piétons et les différents modèles de tracé de rues sur 131 zones de Hong Kong, confirme ces constats. Ils soulignent une relation significativement positive entre le modèle du tracé de rues et le taux d'accidents des piétons : un tracé de rues irrégulier est plus sécurisé en matière de nombre d'accidents des piétons ainsi qu'en matière de gravité d'accidents. Cela est dû à la présence de courbes qui amènent à une diminution de la vitesse des voitures ainsi qu'à celle du volume de trafic. En revanche, ces modèles ont l'inconvénient d'être moins accessibles pour tous les autres modes de déplacement y compris la marche, le vélo et le transport public. Cependant, nous nous interrogeons sur ces résultats, car il n'est pas précisé si le volume des piétons est pris en considération ou non, c'est-à-dire que nous ne savons pas si les accidents

ont été moins nombreux parce que le volume des piétons dans certains de ces modèles était moindre.

3-2-5-2- La connectivité du réseau de voirie (l'intensité des intersections)

L'indice de la connectivité est l'un des autres paramètres importants pour évaluer le design du réseau de voirie. Elle renvoie aux caractéristiques topologiques et physiques du réseau. De nombreux travaux de recherche (Cervero et Kockelman, 1997 ; Raulin et *al*., 2016 ; Ewing, 1999 ; Frank et *al*., 2005 ; Frank et *al*., 2009 ; Noriza et *al*., 2013 ; Koohsari et *al*., 2014, 2016) tentent de comprendre l'effet de cette mesure sur le déplacement des individus, notamment sur le comportement de la marche. La mesure de la connectivité correspond à la densité d'intersections ayant au moins trois segments ou plus dans un réseau de voirie d'une superficie donnée (Koohsari et *al*., 2014 ; Raulin et *al*., 2016). Il existe des associations positives entre la connectivité des rues (la densité d'intersections) avec la pratique de la marche, en particulier une augmentation de la fréquence de la marche vers les stations de transport en commun (Koohsari et *al*., 2016 ; Frank et *al*., 2009). Ceci est aussi ce que Ewing (1999) met en évidence. Il considère le réseau de voirie en forme de quadrillage et ayant une densité d'intersections élevée comme un élément hautement souhaitable pour les piétons. Selon lui, ce type de grille de rues offre des trajets plus rectilignes et donc une meilleure accessibilité pour tous les moyens de déplacement, comparé au type organique et irrégulier de grille de rues. Le travail de Genre-Grandpierre (2001) confirme cette argumentation. Pourtant, il souligne le rôle d'un ensemble complexe de facteurs liés au réseau de voirie et qui peuvent affecter le déplacement à pied dans les milieux urbains. Il étudie l'influence de la configuration des réseaux de voiries sur l'allongement des trajets et l'efficacité du déplacement à pied et à vélo[1]. Il définit le facteur d'allongement des trajets comme le rapport entre la distance (métrique et en temps) la plus courte réellement parcourable sur le réseau de voirie pour joindre une origine et une destination, et la distance euclidienne correspondante. D'après lui, ce facteur d'allongement est globalement lié à la densité du réseau, mais il dépend également de la morphologie et de la topologie du réseau de voirie, ainsi que de la présence de coupures urbaines (les montagnes, les rivières, les boulevards ou les lignes de chemin de fer). Il explique qu'une grille irrégulière de rues composée de rues tortueuses et d'une faible densité d'intersections impose des « sur-allongements » du trajet et donc une

[1] Il analyse les réseaux de voirie de Besançon, Lille, Tourcoing et ceux de plusieurs milieux périurbains.

diminution de l'efficacité du réseau. C'est la raison pour laquelle Duany et Plater-Zyberk (2000) explique que généralement, les réseaux de voirie historiques qui possèdent une grille de rues organiques et de petits îlots urbains peuvent favoriser la pratique du déplacement à pied, du fait que les voies sont très reliées et se croisent souvent.

En général, la connectivité du réseau de voirie peut influer sur le comportement de déplacement de manières différentes. Premièrement, lorsqu'elle est liée à l'aspect perceptuel des piétons, elle forme la « *directness* » (continuité), offrant ainsi des options d'itinéraires vers des destinations visuellement plus directes (Frank et *al*., 2009 ; Koohsari et *al*., 2014). Deuxièmement, d'un point de vue fonctionnel, la connectivité du réseau de voirie entraîne une meilleure perméabilité du tissu urbain, c'est-à-dire une plus grande accessibilité des piétons dans un milieu urbain, en raison du nombre d'itinéraires alternatifs qui permet des connexions entre deux points du réseau (Piombini, 2006 ; Koohsari et *al*., 2014 ; Koohsari et *al*., 2016 ; Raulin et *al*., 2016). Troisièmement, cette variété d'options amène à minimiser la longueur métrique des distances et offre des trajet plus directs (Crane, 2000 ; Stead et Marshall, 2001 ; Koohsari et *al*., 2014). Quatrièmement, dans certains cas, la connectivité peut avoir un effet sur le risque d'accident, comme l'ont, par exemple, constaté Marshall et Garrick (2009) : le risque d'accident mortel ou grave augmente lorsque la densité d'intersections est très faible, et la sécurité des piétons s'améliore avec l'augmentation de la densité d'intersection. Cela s'explique par la diminution de la vitesse des véhicules dont la cause est la densité plus élevée d'intersections. Néanmoins, nous pensons que certains de ces constats sont à nuancer. Par exemple pour ce qui est du lien entre la connectivité (la densité d'intersections) et le risque d'accident routier : il n'est pas clair que le seul facteur qui joue un rôle est la densité ou s'il faut prendre en compte d'autres facteurs comme la manière dont ces intersections sont aménagées, la localisation de ces quartiers par rapport à l'ensemble de la ville, la densité de la population et des lieux de travail, la fréquence de la marche dans ces milieux, etc. De plus, les travaux comme ceux de Cervero et Duncan, 2003 et ceux de Frank et *al*., 2007 mettent en évidence une influence incohérente entre les variables telles que la taille des îlots urbains ou la densité avec le pratique de la marche. Par exemple, Cervero et Duncan (2003), dans leur étude de la région de la baie de San Francisco, concluent d'abord que les éléments de micro-conception des quartiers, tels que les configurations des intersections et la taille des îlots urbains, influencent assez peu la marche. Ensuite, ils confirment l'effet significatif de la diversité de l'utilisation des sols sur la pratique de la marche. Néanmoins ils précisent que l'effet statistique de la diversité est plus fort dans les lieux de départ. En effet, la diversité des

activités dans un rayon d'un *mile* autour de la résidence (origine des déplacements) s'est avérée beaucoup plus importante comparée à la diversité de l'utilisation des sols dans un rayon d'un mile autour des lieux de travail.

3-2-5-3- La configuration du réseau de rues

Comme le précise Koohsari et *al*. (2014), la mesure de la connectivité du réseau de voirie ne tient compte ni de sa structure globale ni des « propriétés relationnelles » du réseau. Il considère en effet que la connectivité[1] du réseau de voirie (étant un facteur purement quantitatif) néglige la manière dont les rues sont reliées entre elles. Ainsi, elle ne permet pas non plus d'établir des relations hiérarchiques entre les rues d'un réseau de voirie. Par ailleurs, il est possible que deux quartiers aient des valeurs de densité d'intersections de rues (la connectivité) similaires, tout en ayant des dispositions de rues très différentes. C'est pour cette raison que Koohsari et *al*. (2014, 2016) appliquent également des mesures configurationelles de design du réseau de voirie dans leurs études. Ils évaluent donc l'influence à la fois de la densité d'intersections et de la configuration topologique[2] des rues sur la fréquence de la marche pour accéder aux transports en commun. Finalement, ils constatent que ces deux qualités de design de réseau de voirie sont associées de manière significativement positive à la fréquence de la marche pour accéder aux transports en commun. Ceci est en accord avec le travail de Lamiquiz et López-Dominguez (2015) qui montrent la pertinence statistique de la mesure de la configuration topologique du réseau de voirie et de la fréquence (en pourcentage) de la marche dans la zone métropolitaine de Madrid. Ceci les amène à préciser que l'influence de ce facteur sur la pratique de la marche est plus importante que celle des variables largement utilisées telles que la densité et la diversité d'occupations du sol. Selon ces auteurs, des réseaux de voirie à haut niveau d'accessibilité configurationnelle répondent au moins à trois des cinq besoins[3] des piétons déjà décrits par Lamiquiz et López-Dominguez (2015) qui sont : la distance, la sécurité et l'attractivité. De manière similaire, Lerman et *al*.

[1] Nous rappelons que la connectivité de réseau de voirie s'obtient par le calcul de la densité du nombre d'intersections dans une superficie donnée.

[2] Nous précisons qu'en ce qui concerne la mesure de la configuration topologique du réseau de voirie, toutes les études citées ici s'appuient sur théorie de la Syntaxe spatiale. La configuration topologique du réseau de voirie a été évaluée à partir du calcul de la mesure de l'intégration. Elle correspond aux interrelations entre les rues et la proximité topologique de l'ensemble des rues dans un réseau de voirie. Nous allons décrire cette mesure ultérieurement dans le chapitre IV, sous-section 4-3-4-2.

[3] Selon eux, les deux autres besoins sont : le confort et la sûreté (le sentiment de sécurité en rapport à l'agression et à la violence).

(2016) montrent l'existence d'une liaison étroite entre le déplacement des piétons et la dimension spatiale de l'environnement urbain reposant sur la configuration topologique du réseau de voirie dans les différentes zones urbaines de la ville de Tel-Aviv. Ces conclusions partagent l'idée de Hillier (1996) et Hillier et *al*. (1993), selon laquelle la configuration topologique du réseau de voirie permet de déterminer la répartition des flux de piétons sur le réseau de voirie, de sorte que les rues les plus intégrées à l'ensemble du réseau de voirie sont potentiellement celles qui sont les plus parcourues.

En outre, d'autres études ont été menées pour révéler les relations entre les choix des piétons en matière d'itinéraires et la complexité ou la simplicité du trajet. Ainsi, Bailly (1977) est un des premiers chercheurs à avoir abordé la question de l'influence de la simplicité du trajet entre l'origine et la destination sur le choix d'itinéraire des piétons. Les résultats d'une enquête sur les cartes mentales réalisées dans le cadre d'une recherche menée par Marchand à Saint-Maur sur 216 utilisateurs du métro (des piétons qui cherchent à joindre les stations de métro) permettent de définir les lois du comportement piétonnier selon lesquelles les piétons suivent le chemin le plus simple, même si la distance métrique n'est pas la plus courte. Les piétons se dirigent vers le premier grand axe qu'ils peuvent suivre jusqu'à la station de métro. Leur préférence va donc aux itinéraires les plus simples lesquels minimisent le nombre de choix, ce qui les amènent à aller sur de plus grands axes. Selon Bailly (1977), c'est la raison pour laquelle un trafic automobile important et l'encombrement ne modifient pas leur choix. La simplicité de l'itinéraire est toujours un critère important pour les piétons. Victor (2016) argumente que c'est la préférence de la linéarité d'itinéraire et la tendance à privilégier des itinéraires plus rectilignes qui conduit les piétons à une volonté de minimisation de la complexité des parcours et donc la minimisation des changements de direction, d'où les tendances à privilégier des itinéraires plus rectilignes.

Afin d'étudier les critères appliqués lors de la prise de décision du choix d'itinéraire des personnes sur un campus universitaire de l'Ouest des États-Unis, Golledge (1995) demande d'abord aux participants qui ont une connaissance préalable de ce campus d'y choisir et d'y effectuer un trajet entre deux paires d'origines et de destinations prédéterminées. Ensuite, il leur demande d'indiquer les raisons de leurs choix. Les réponses des participants montrent que le choix d'itinéraire le plus simple, qui mène le plus directement possible à la destination et ayant le moins de changements de direction possible est le premier critère de choix. En revanche, le critère le moins cité est celui de l'itinéraire le plus court.

Toujours dans le but d'étudier les critères de choix d'itinéraires de déplacement pédestre, dans une autre étude similaire mais plus précise réalisée par Hölscher *et al.* (2011), il est demandé aux 12 participants de planifier un itinéraire dans un milieu déjà familier, c'est-à-dire le centre-ville de Fribourg (une partie médiévale de la ville avec de nombreuses petites ruelles). Cet itinéraire doit être planifié pour une paire de points de départ et d'arrivée prédéterminés, de manière à ce que les itinéraires potentiels puissent permettre plusieurs choix d'itinéraires non triviaux permettant de couvrir une partie importante du centre-ville de Fribourg en diagonale par rapport à la grille de rues principales. Les participants doivent planifier les itinéraires pour trois conditions différentes : (1) planifier un itinéraire pédestre pendant le déplacement, d'un point de vue **égocentré**, (2) planifier l'itinéraire **avant le déplacement** pédestre et pour eux-mêmes, (3) planifier un itinéraire pour une **autre personne** qui ne connaît pas la ville. Dans ce cas, la prise de décision est aidée (assistée[1]) et l'enquêté joue le rôle de moniteur. Cela implique de considérer que ces deux dernières conditions expérimentales suivent une perspective allocentrée. Les résultats montrent que les itinéraires planifiés de manière **égocentrée**, (donc pour soi-même) et lors du déplacement sont **plus courts** comparés aux deux autres conditions impliquant une planification (pour soi ou pour autrui). En revanche, cette expérience met en évidence que les itinéraires planifiés pour autrui sont **plus simples** que les itinéraires planifiés pour soi-même. Il convient de préciser que selon ces auteurs, la **simplicité** d'un itinéraire correspond à un trajet ayant moins de changements de direction et de rues, menant directement vers le but en évitant le plus de déviations possibles. Ajoutons à cela que les enquêtes directes et verbales des participants au sujet de la justification de leurs choix mettent en évidence l'importance de la variété des critères de choix et le fait qu'ils ne se limitent pas à la longueur du trajet. Par ailleurs, il faut prendre en compte les préférences personnelles comme la simplicité, l'attractivité, la familiarité du trajet, l'orientation générale de la direction vers la destination.

Ainsi, nous constatons que la simplicité de la configuration de réseau de voirie ainsi que la simplicité du trajet influencent le choix d'itinéraire. Ce choix repose sur la préférence des piétons pour des parcours plus rectilignes, ayant le moins de changements de direction.

[1] Comme nous l'avons expliqué dans la sous-section 1-3.

3-2-5-4- La qualité d'aménagement de l'espace public

Un des indices permettant de mesurer la qualité du design urbain est la présence d'aménagement urbain adapté à la marche (Victor, 2016). La revue de littérature nous permet de dégager l'idée selon laquelle, de manière générale, une meilleure qualité d'aménagement du milieu urbain, propice aux besoins des piétons, est un élément important pour privilégier la marche dans l'espace public. En effet, un aménagement qualitatif peut influencer le déplacement pédestre par le confort qu'il procure aux individus, et ce à plusieurs niveaux : la sécurité physique, le confort matériel, le confort visuel et le confort social. Nous abordons maintenant ces points.

La sécurité physique[1] et le confort matériel des piétons

La qualité du design urbain est la présence d'aménagement urbain propice à la marche, qui peut influencer les perceptions du confort physique et le sentiment de sécurité des piétons (Victor, 2016). En effet, le sentiment de sécurité repose sur l'aspect fonctionnel de l'environnement construit en lien avec le déplacement des personnes. Dans la plupart des études, l'aménagement de l'espace public et du réseau de voirie comporte des conditions physiques tel que le revêtement du sol, l'éclairage, la présence d'arbres et de plantations, les feux de signalisation, les aménagements destinés à ralentir la circulation des véhicules, la continuité des chemins, la sécurité des traversées, l'absence d'obstacles physiques, l'aménagement adapté aux attentes des personnes âgées, des handicapés et des enfants (Cervero et kocklman, 1997 ; Basbas et *al*., 2010 ; Noriza et *al*., 2013 ; Victor, 2016 ; Raulin et *al*., 2016). Ces conditions physiques de l'espace public doivent répondre aux besoins primaires des individus, afin d'assurer leur sécurité physique et leur confort matériel (Roussel, 2016).

Par exemple, comme le souligne Victor (2016), la présence d'intersections non adaptées au déplacement à pied (à cause de la vitesse élevée des voitures, la durée du feu rouge, le volume du trafic, etc.), met en question la continuité du trajet. Nous pensons que la discontinuité du trajet modifie le comportement des piétons, qui changent alors de trajet. Parfois, il est même possible qu'en cas de présence de certaines barrières (blocages), l'individu décide de changer de mode de déplacement. Les barrières physiques, selon Victor (2016), peuvent amener à des

[1] Ici, la sécurité physique définit le fait de marcher sans avoir de risque d'accident de la circulation, de tomber ou de glisser, etc.

contraintes de temps de trajet et également de sécurité de la personne par rapport aux voitures. Elles peuvent également former des barrières psychologiques pour la marche. De ce fait, l'absence de certaines de ces qualités rend la marche physiquement ou psychologiquement impraticable, ce qui peut par conséquent diminuer la pratique de la marche (Basbas et *al*., 2010 ; Courel et Deguitre, 2020). Par exemple, la largeur des chemins empruntés par les piétons, plus particulièrement celle des trottoirs et des traversées doit correspondre au volume de piétons. Ceci peut apporter de la fluidité au déplacement des piétons, du confort physique (sans ralentir la vitesse) et du confort mental (en assurant une distance physique par rapport aux autres). À l'opposé, l'encombrement des piétons sur l'espace publique suscite un mouvement plus lent et moins agréable pour les piétons, entraînant, à terme, la diminution du volume des piétons (Basbas et *al*., 2010 ; Lerman et *al*., 2016 ; Russel, 2017). À ce propos, la thèse de Russel (2017) montre qu'à Paris la densité de personnes sur le territoire est perçue comme répulsive et est un frein à la marche en ville. Effectivement, l'inconfort ressenti dans cette situation est généré par un sentiment de perte de contrôle. Ou bien, dans les rues dans lesquelles une grande partie des façades sont occupées par le stationnement, donnant une priorité plus élevée aux automobilistes, l'accès des piétons aux bâtiments devient plus difficile, ce qui oblige ces derniers à traverser le parc de stationnement (Park et Schofer, 2006 ; Noriza et *al*., 2013). Selon nous, ceci diminue le confort physique des individus. Par contre, la présence de la végétation fournissant de l'ombre, ou l'installation de mobilier urbain tel que des bancs, des rampes, la qualité des pavés des trottoirs, etc. accroissent jusqu'à un certain point le confort physique des piétons (Courel et Deguitre, 2020).

De même, les espaces peu éclairés peuvent contribuer à l'émergence de la peur et du sentiment d'insécurité, ce qui peut diminuer la pratique de la marche notamment chez les femmes (Courel et Deguitre, 2020). Le résultat d'une enquête menée auprès de marcheurs à Paris dans le cadre de la thèse de Russel (2017) montre que les femmes, en proportion plus importante que les hommes, ressentent une gêne lorsqu'elles marchent dans un espace public qui manque d'éclairage.

Il est donc possible de supposer que la qualité de l'aménagement de la voirie peut influencer le confort physique et psychologique, ainsi que le sentiment de sécurité des piétons à deux niveaux : premièrement, l'éclairage assure le sentiment de sécurité et diminue la peur de l'agression (augmentant ainsi leur confort psychologique) et également leur confort physique. Deuxièmement, les conditions comme l'aménagement des intersections et des traversées, les aménagements pour la diminution de la vitesse des voitures, la qualité de la

chaussée, etc. diminuent le risque d'accidents de voiture d'une part et la chute des piétons d'autre part. De plus, ces conditions de l'aménagement de voirie assurent la continuité du trajet (donc le confort physique) alors que, au contraire, l'aménagement non adéquat du milieu urbain peut générer de l'insécurité en matière d'accidents et d'agressions. Comme le constatent Courel et Deguitre (2020), ceci amène les individus à rejeter un trajet ou un quartier. En revanche, Cervero et Duncan (2003) mettent en doute que l'aménagement des espaces publics ait une influence sur la fréquence de la pratique de la marche. Ils pensent que cet effet est moindre comparé à des facteurs comme la densité (de l'emploi) et la diversité d'usage du sol.

Le confort visuel des piétons

La qualité du design de l'espace public influence directement et indirectement les perceptions et les sensibilités des personnes pendant la marche (Victor, 2016 ; Blečić et *al*., 2020). En effet, l'apparence de l'environnement construit et son aspect esthétique peuvent rendre un espace agréable pour la marche. Un trajet sera alors représenté positivement (Courel et Deguitre, 2020). Ceci correspond au confort visuel ou esthétique des piétons. De même, nous supposons que la qualité du design de l'espace public peut contribuer à influencer le choix d'itinéraire de l'individu. Cependant, il faut tenir compte du fait que la compréhension du confort esthétique du milieu urbain est dépendante des perceptions et des représentations individuelles et sociales des piétons (Roussel, 2016). Une personne pressée, par exemple, qui cherche à rejoindre son travail ou son lieu de rendez-vous, accorde moins d'importance au design du lieu et à ce qui l'entoure comparée à un piéton qui a un budget-temps plus souple (Handy et *al*., 2006 ; Victor, 2016). Lorsque la personne est pressée, elle veut marcher rapidement, sans être ralentie par les autres piétons. Ainsi, il est possible qu'elle choisisse un itinéraire moins attrayant mais plus court ou moins densément utilisé par les piétons (Ausserer et *al*., 2010). En revanche, lorsqu'elle peut consacrer du temps à la marche, elle prend un trajet qui lui semble plus esthétique et plus agréable, contribuant à son confort et à son bien-être (Victor, 2016).

Ainsi, la qualité subjective de l'aménagement de l'espace public peut contribuer à une perception plus positive de l'environnement chez les piétons et influencer leurs comportement (Noriza et *al*., 2013). De même, pour qu'un milieu urbain soit favorable à la marche, il faut prendre en compte certaines qualités subjectives du design qui se rapporte à l'aspect esthétique de l'environnement construit. Ewing et *al*. (2005) et Ewing et Handy (2009)

distinguent une série d'indicateurs permettant d'évaluer les qualités environnementales de la rue qui sont liées au design urbain et qui font appel au ressenti de l'individu lors de ses déplacements à pied. Ces indicateurs contribuent aux représentations mentales des piétons afin de juger de l'adaptabilité d'un milieu urbain à la marche.

Un des qualités perceptuelles et subjectives de l'environnement construit est l'**imageabilité**[1] de l'espace urbain, par laquelle l'environnement urbain devient distinct, reconnaissable et mémorisable par les individus (Lynch, 1960 ; Ewing et *al*., 2005 ; Ewing et Clemente, 2013 ; Singh, 2016). Par exemple, les points de repère constituent cette qualité dans le milieu urbain. Selon Lynch (1960), ceux-ci jouent également un rôle clé dans les cartes mentales des personnes et contribue ainsi à augmenter la lisibilité d'un lieu. En revanche, Ewing et Clemente (2013, p.5) soulignent que « *ce n'est probablement pas un élément en soi qui rend une rue imaginable, mais plutôt la combinaison de plusieurs* ». Ainsi, « *un lieu a une grande imageabilité lorsque des éléments physiques spécifiques et leurs dispositions attirent l'attention, évoquent des sentiments et créent une impression durable* » Singh (2016, p. 646). Selon les observations et les études empiriques de Ewing et *al*. (2005) et Ewing et Handy (2009), les caractéristiques qui contribuent à l'imageabilité du milieu urbain sont (par ordre d'importance) : le nombre de personnes dans la rue, la proportion du nombre de bâtiments historiques, le nombre de cours, de places et de parcs, la présence de restaurants en plein air, le niveau sonore, le nombre d'éléments paysagers importants et le nombre de bâtiments remarquables au niveau architectural ou esthétique. Ces derniers correspondent aux points de repères qui donnent le sentiment de pouvoir se positionner dans l'espace, et qui sont donc susceptibles d'influencer le comportement de la marche. Comme le dit Dias (2016), lorsque certaines informations spatiales de l'environnement urbain sont perçues de manière plus aisée par les personnes, elles deviennent une image forte de l'espace urbain, elles sont lisibles et partagées par l'ensemble des individus. Ainsi, cette qualité offre un sentiment de bien-être physique et psychologique dans l'espace public. C'est pour cette raison que Cullen (1961) et Gehl (1980) considèrent que l'imageabilité de l'espace urbain est liée au **sens du lieu**[2]**:** elle procure un sentiment de bien-être physique et psychologique, ce qui incite les gens à entrer dans l'espace et à y passer du temps.

[1] Imageability (en anglais)

[2] Traduis de l'expression « sense of place » en anglais.

Ainsi, l'imageabilité est le résultat de nombreuses qualités de l'aménagement urbain comme la complexité, l'enclôture/ le caractère enclos du lieu (l'enfermement visuel)[1], l'échelle humaine et la transparence (Ewing et *al*., 2005 ; Ewing et Handy, 2009). Nous abordons maintenant ces qualités.

Une autre qualité subjective du milieu urbain est appelée la **complexité** visuelle. Elle se réfère à la diversité des éléments visuels de la rue et à sa richesse visuelle tel que le nombre et le type de bâtiments, la diversité architecturale, la présence de mobilier urbain ainsi que le nombre et la diversité d'activités humaines (Ewing et *al*., 2005 ; Ewing et Handy, 2009 ; Ewing et Clemente, 2013 ; Singh, 2016 ; Victor, 2016). La complexité, selon Ewing et Clemente (2013), est liée à la variété d'éléments perceptibles auxquels la personne est exposée par unité de temps, autrement dit, la quantité et le rythme des informations perceptuelles qu'elle reçoit. Ils soulignent, afin que la personne puisse être à l'aise, la quantité d'informations par unité de temps doit être équilibrée. En effet, trop peu d'informations peut entraîner une privation sensorielle, alors que trop d'informations peuvent créer une surcharge sensorielle. Les piétons sont particulièrement plus sensibles à ce sujet parce que, premièrement, contrairement aux automobilistes, ils sont directement exposés à l'espace et que, deuxièmement, la vitesse de déplacement à pied exige un rythme plus lent de réception d'informations de l'espace. Ainsi, comme l'a mentionné Roussel (2016), les éléments perceptibles de l'espace peuvent générer l'émergence d'un sentiment de confort esthétique[2] chez les piétons. Dès lors, les façades visuellement complexes contribuent à une ambiance plus appréciée par les piétons. Elles encouragent la marche à pied et influencent la quantité et la diversité de personnes qui fréquentent les espaces urbains (Duany et Plater-Zyberk, 2000 ; Whyte, 1980 ; Ewing et Clemente, 2013). En revanche, certaines caractéristiques perceptuelles de l'environnement urbain peuvent le rendre moins agréable à la marche. Par exemple, l'installation d'un parc de stationnement n'est pas très appréciée par les piétons, car non seulement ils rendent les entrées de bâtiments moins sécurisées pour les piétons (Park et Schofer, 2006 ; Noriza et *al*., 2013), mais ils peuvent aussi influencer la qualité subjectives de l'environnement qui sera alors perçu comme moins esthétique.

[1] Traduit de l'anglais « enclosure ».

[2] Correspond à l'apparence de l'environnement construit et son aspect esthétique lequel fournit un espace urbain visuellement agréable.

L'encadrement spatial (**l'enfermement visuel**[1]) ou l'impression d'être entouré apporte un autre confort perceptif aux individus. Cette qualité est définie pour première fois par Cullen (1961), selon qui l'encadrement spatial peut susciter chez le piéton le sentiment d'être englobé par l'environnement urbain. Il s'agit d'« *une qualité perceptuelle de l'environnement construit, par laquelle l'espace de la rue est visuellement défini par les éléments physiques verticaux comme des façades de bâtiments, des murs ou des arbres* » (Singh, 2016, p. 646). Victor (2016, p.89) souligne que ces éléments verticaux peuvent « *donner l'impression d'être en intérieur (dans une salle) dans un environnement en extérieur* ». Ainsi, les éléments verticaux, notamment les bâtiments, deviennent les « murs » de la « pièce extérieure », la rue et les trottoirs deviennent le « sol » de cette pièce et, si les bâtiments sont alignés et sont à peu près de même hauteur, le ciel se projette comme un plafond invisible (Ewing et Clemente, 2013). Cela peut permettre d'avoir une vue dégagée ou restreinte dans la rue. Cela peut aussi impacter la luminosité issue de la proportion visible du ciel dans la rue, maintenir la linéarité visuelle de la rue, et guider l'orientation du déplacement vers l'avant (Ewing et Clemente, 2013) ; Victor, 2016). Cependant, nous pensons que la linéarité visuelle d'une rue peut également dépendre de sa forme, c'est-à-dire du fait qu'elle est droite ou incurvée. Soulignons que Cullen (1961) distingue l'enfermement/l'encadrement (*enclosure*) de la fermeture (*closure*). Selon lui la **fermeture** est la création d'une rupture occasionnelle de la vue sur une rue, bien que cette rupture ne bloque pas le sens de la progression lors du déplacement. À l'inverse, les informations fournies par ce découpage attirent l'œil et contribuent à aider la personne à s'orienter. Ainsi, ceci produit une réaction dynamique chez le piéton. En revanche, **l'enfermement** - l'individu étant complètement entouré (par exemple lorsqu'il est sur une place) et tourné vers l'intérieur - suscite une réaction statique vis-à-vis de l'environnement de la marche. Ainsi, la scène reste la même lorsque la personne traverse la place sans en sortir.

Les espaces dont la hauteur des éléments verticaux est proportionnellement liée à la largeur de l'espace donnent un sentiment de clôture adéquate aux individus. Aussi, ces milieux sont privilégiés pour la marche (Ewing et Handy, 2009 ; Ewing et Clemente, 2013 ; Singh, 2016 ; Duany et Plater-Zyberk, 2000). Ces espaces ont une qualité semblable à celle d'une pièce (Singh, 2015) parce que cette caractéristique du design de l'espace urbain produit une **échelle humaine** et du confort visuel vis-à-vis de l'espace. L'échelle humaine désigne un cadre bâti (l'architecture et les aménagements urbains) adapté à la taille et aux proportions des humains,

[1] Visual enclosure

ainsi qu'à la vitesse de la marche à pied. Ce cadre bâti comprend tous les éléments physiques : les bâtiments (hauteur du bâtiment, la proportion des fenêtres du premier étage), le mobilier urbain (bancs, signalétique, etc.) (Ewing et Handy, 2009 ; Ewing et Clemente, 2013 ; Singh, 2016). Le prospect est défini par le rapport de 1,5 à 2 de la hauteur des bâtiments par rapport à la largeur de l'espace. Il est considéré comme étant très agréable pour les piétons car il produit un espace qui n'est visuellement ni trop fermé ni trop large. En revanche, Duany et Plater-Zyberk (2000) a une conception plus large de l'échelle humaine de l'espace urbain, puisqu'il considère que le prospect à partir duquel les piétons cessent de percevoir qu'ils sont entourés va de 1 à 4 (de la hauteur du bâtiment à la largeur de l'espace).

Concernant les qualités subjectives de l'environnement construit, Ewing et Handy (2009), Ewing et Clemente (2013) et Singh (2016), qualifient la **transparence** de l'espace urbain comme étant un paramètre par lequel les espaces urbains deviennent plus attirants pour les marcheurs. Cette caractéristique se réfère au fait que les individus peuvent voir ou percevoir (ou pas) l'activité humaine au-delà du bord de la rue, par exemple à travers les vitrines des commerces, les fenêtres, les grilles et les haies des bâtiments résidentiels (Ewing et *al*., 2005). Concernant l'importance du confort visuel des individus en lien avec l'environnement construit, Gehl (1980, 2010) a souligné qu'au niveau des yeux, la ville est l'échelle la plus importante pour installer les aménités urbaines qui attirent le plus l'attention des piétons. Whyte (1980) pense aussi que dans les quartiers résidentiels, le placement des fenêtres de cuisine, ainsi que d'autres éléments de construction, encouragent les contacts visuels entre l'intérieur des bâtiments et l'extérieur, ce qui peut améliorer la vie sociale de la rue et donc la rendre plus praticable par les piétons. Pour notre part, nous pensons que c'est une qualité qui permet d'établir un lien entre le piéton et la vie invisible ou quasi-visible de l'intérieur de ces bâtiments. Ceci nous conduit à penser à l'effet de l'aménagement urbain sur le confort social des piétons, point ne que nous développons maintenant.

Le confort social des piétons

La qualité de l'aménagement de l'espace public peut aussi prendre des dimensions sociales. Elle améliore le bien-être des individus et le confort social dans le milieu urbain. De nombreux chercheurs, y compris Newman (1973), Whyte (1980), Jacob (1961) et Gehl (1980) produisent des études empiriques par l'observation de personnes dans des situations réelles pour déterminer comment l'environnement construit influence le sentiment de sécurité et le bien-être social des individus. Dans un premier temps, ils constatent que le traitement des

étages inférieurs des bâtiments, l'existence de vitrines de boutiques ou d'activités de service, d'ateliers, de restaurants, de bars, de cafés, mais aussi de fenêtres d'espaces privés (par exemple salon ou cuisine), etc. mettent en relation les usages du rez-de-chaussée de l'intérieur des bâtiments avec ceux du monde extérieur. Deuxièmement, cela crée une **convivialité** dans l'environnement urbain, ce qui favorise la marche à pied et la présence des individus dans l'espace public. La convivialité est une qualité qui découle de l'interaction sociale de l'individu avec d'autres personnes et l'environnement bâti. La marche peut donc devenir une activité agréable et sociale pour le piéton (Courel et Deguitre, 2020). Ceci contribue ainsi à l'émergence du sentiment de « confort social » des individus et équilibre, d'un côté, le besoin d'être avec les autres par la simple coprésence et l'interaction sociale et, de l'autre côté, le besoin d'intimité (Roussel, 2016). Ainsi, l'existence d'activités variées (diversité fonctionnelle), la coprésence et l'observation des autres personnes dans l'espace public sont considérées par Whyte (1980) comme des « amusements simples » parmi lesquels le piéton peut marcher, parler, manger, entendre, voir, etc. Ceci mène à la production d'une rue vivante, sociable et diversifiée et donc d'un espace où l'on peut s'arrêter et interagir avec les autres personnes (Courel et Deguitre, 2020).

En outre, la présence de mobilier urbain tels que des jeux de société de type plateau d'échecs, table de ping-pong, etc. peut renforcer les interactions sociales dans l'espace public (Courel et Deguitre, 2020). Nous constatons qu'en effet, la convivialité est également directement liée à la diversité d'occupation des sols dans un quartier.

D'ailleurs, Jacobs (1961), Whyte (1980) et Gehl (1980) soutiennent que l'augmentation des flux piétonniers jusqu'à un certain point améliore le sentiment de sécurité et l'attractivité de l'espace public. En effet, selon ces auteurs, l'activité humaine et la coprésence des individus ont un effet réciproque. Celles-ci contribue au sentiment de sécurité des piétons dans l'espace public. Par contre, comme le disent Whyte (1988) et Singh (2016), les « usages morts », tels que les bâtiments sans vitrines, les banques ou les bureaux avec des murs vierges qui ne communiquent pas avec l'extérieur et les passants, ne sont pas attractifs pour les piétons.

Le sentiment de sécurité dans le milieu urbain est particulièrement important pour les femmes. C'est la raison pour laquelle, dans certaines études, la question du confort social lors du déplacement dans le milieu urbain est traité sous l'angle du genre. Partout dans le monde les femmes déclarent avoir rencontré des situations jugées dangereuses dans l'espace public (pendant la marche) et dans les transports collectifs (Russel, 2017 ; Courel et Deguitre, 2020). Elles déclarent avoir peur d'être suivies dans la rue, d'être agressées physiquement ou

sexuellement, d'être harcelées ou draguées, etc. Les chercheurs iraniens Habib et Hanaei (2017) étudient le rôle du genre dans les perceptions de l'environnement urbain et le choix d'itinéraire des piétons à travers 300 questionnaires et des photographies de terrain, dans le centre historique de la ville de Mashhad[1], où la densité d'occupation des sols et sa diversité sont élevées. Ces auteurs constatent des comportements complètement différents entre les femmes et les hommes à propos du choix d'itinéraire. Environ 85% des hommes enquêtés préfèrent passer par les rues sinueuses, alors qu'au contraire, 74% des femmes préfèrent les rues directes non sinueuses, qui sont moins étroites et dont le parcours demande moins de changements de direction. Les hommes ont tendance à emprunter des itinéraires variés pour joindre leurs destinations habituelles. En revanche, les femmes préfèrent ne pas changer d'itinéraire afin d'être plus familières avec le milieu. Ces auteurs n'interprètent pas en détail ces résultats, mais nous pensons que le choix d'évitement des femmes par rapport aux ruelles organiques et étroites est lié au sentiment d'insécurité et au besoin d'anticiper de ne pas être exposées au risque d'agression. Ceci renvoie à la dimension sociale de l'environnement construit pouvant entraîner un frein à la marche en ville (Russel, 2017). Les espaces publics qui sont perçus comme dangereux sont des espaces peu fréquentés (tels que les ruelles et les espaces étroits sans activités variées), les espaces peu éclairés, mais aussi les espaces bondés dans lesquels l'agresseur peut être anonyme parmi la foule (Courel et Deguitre, 2020). Ainsi, il est possible d'envisager que la présence d'activités et la convivialité de l'environnement urbain peuvent influencer positivement le comportement de la marche, notamment chez les femmes.

Dans le but d'évaluer le lien entre le design urbain et le comportement des piétons, Singh (2016) réalise une étude empirique à Mehrauli (l'un des quartiers les plus traditionnels de New Delhi). Son travail permet de confirmer les constats précédents : les rues traditionnelles et animées ayant plusieurs entrées de bâtiments et des activités variées (telles que les stands des restaurants, les petits commerces, les cafés, les terrasses des restaurant ou des cafés), génèrent de la convivialité ainsi qu'un sentiment de sécurité chez les piétons. Ces caractéristiques du milieu urbain semblent mieux convenir à la marche. Ainsi, le confort social des individus peut entraîner un sentiment de sécurité. Appleyard (2003) confirme une corrélation forte et directe entre le sentiment de sécurité des piétons et le taux de pratique de la marche dans les espaces urbains. Cependant, Schlossberg et *al*. (2006) pensent que l'effet

[1] Une ville sainte et touristique de plus de 3 millions d'habitants.

des facteurs liés à l'utilisation du sol (la densité et la diversité) sur le comportement des piétons est plus pertinent comparé aux effets du design urbain. Enfin, nous tenons à préciser que certains de ces facteurs semblent être très liés les uns aux autres. Il est donc difficile de bien comparer les rues. Il est d'ailleurs rappelé par Cervero (2003) que ces paramètres ont tendance à fonctionner de manière associée et synergique. C'est pourquoi il est difficile de les prendre en compte de manière dissociée, l'un par rapport à l'autre. Cela renvoie à la difficulté de distinguer la contribution unique d'un facteur donné aux pratiques de déplacement pédestre, sans prendre en considération leurs relations internes. Nous reprenons l'exemple donnée par Cervero (2003) selon lequel la plupart des quartiers denses ont également des usages du sol diversifiés, une grille de rues quadrillées et une stratégie limitant les places de stationnement. De ce fait, il n'est pas évident de prendre en considération l'impact d'un seul paramètre sur la marche. De même, Courel et Deguitre (2020) confirment que ces facteurs sont indissociables et que c'est à partir de l'articulation de l'ensemble de ces variables que nous parvenons à comprendre l'influence de l'environnement urbain sur les comportements de mobilité. Ils expliquent qu'un quartier dense mais proposant un réseau de voirie destiné à l'automobile, n'encourage pas forcément la marche.

Conclusion du chapitre III

La prise de décision du choix d'un itinéraire, comme nous l'avons montré dans le deuxième chapitre, est essentiellement tributaire de la longueur du trajet et de l'évaluation que l'individu en fait. Par contre, la distance ne constitue pas le seul déterminant du choix d'un trajet.

En plus de la longueur et de la durée du trajet, le milieu urbain dans lequel l'individu réalise son déplacement doit correspondre aux exigences et aux besoins physiques et mentaux des piétons. C'est pour cette raison que ce chapitre avait pour objectif d'aborder l'influence de l'environnement construit sur le comportement des marcheurs et leur le choix de trajet. Nous avons d'abord évoqué la question des besoins physiques et mentaux des piétons envers l'environnement construit. Nous avons montré que parmi les attentes variées des piétons, leurs besoins fondamentaux sont : (1) la sécurité physique et mentale (être à l'abri des risques d'accident de voiture, de chute ou d'agression par d'autres personnes), (2) le confort physique et mental (marcher en l'absence d'obstacles physiques ou psychologiques) et (3) l'attractivité du trajet qui renvoie à l'aspect socioculturel du déplacement à pied en tant qu'activité à la fois physique et sociale.

Ensuite, nous avons pointé les conditions de l'environnement urbain qui répondent le plus aux besoins des piétons et qui facilitent la marche et la rendent plus agréable. C'est ainsi qu'afin d'évaluer un environnement urbain qui recouvre ces conditions, nous avons abordé le terme de la *marchabilité* (traduit du mot anglais *walkability*). Pour avoir une idée plus claire de ce terme utilisé abondamment dans les recherches sur les déplacements pédestres, nous avons d'abord clarifié cette notion. Nous avons expliqué qu'en général, la marchabilité est une notion qui exprime la qualité de l'environnement urbain. La marchabilité permet de mesurer le degré d'adaptabilité d'un milieu à la marche à l'aide d'un ensemble de paramètres objectifs et subjectifs.

Nous sommes partie du postulat que la marchabilité d'un milieu urbain entre consciemment ou inconsciemment dans le processus d'orientation des piétons dans l'espace urbain et dans les préférences de choix d'itinéraires des piétons. Ainsi, plus un trajet est perçu comme approprié à la marche, plus il est probable que l'individu le choisisse.

Pourtant, nous avons évoqué que l'évaluation de l'adéquation d'un environnement urbain à la marche repose, d'un côté, sur les besoins et les attentes des individus et, de l'autre côté, sur

leurs perceptions et leurs représentations de l'environnement urbain. Par conséquent, le milieu urbain ne doit pas être considéré comme un contexte qui détermine le comportement humain. Il convient plutôt de considérer que l'individu et l'environnement entretiennent une interaction dynamique et dialectique et qu'ils sont indissociables. C'est pourquoi le comportement des piétons, plus particulièrement le choix du trajet, doit être considéré comme le résultat du croisement des caractéristiques du milieu et de celles de l'individu. Ainsi, la marchabilité d'un trajet peut être perçue différemment d'un individu à l'autre, en fonction des spécificités individuelles et sociales des personnes (âge, genre, poids, etc.) ainsi qu'en fonction des conditions du déplacement tel que le motif du déplacement.

À partir de la revue de littérature, nous avons identifié les attributs principaux de l'environnement construit, lesquels contribuent à adapter l'environnement urbain à la marche. Ces attributs sont : la densité de l'environnement construit, la diversité de l'usage des sols, l'accessibilité aux services de base, le design de l'environnement urbain et le réseau de voirie (îlot, grille de réseau de voirie et sa connectivité, et la qualité de l'aménagement de l'espace public).

Bien que les résultats de certains travaux soient ambigus ou parfois contradictoires (ceci est en partie dû à la méthodologie utilisée, aux paramètres d'évaluation choisis, etc.), nous avons constaté qu'il existe des relations directes entre les comportements des piétons en matière de choix de trajets et les attributs de l'environnement construit. Ainsi ces attributs, en tant qu'éléments facilitateurs ou attrayant du déplacement à pied, incitent l'individu à privilégier un trajet plutôt qu'un autre. Nous considérons que les attributs tels que la densité, la diversité et l'accessibilité aux services de base constituent les origines et/ou les destinations des déplacements. Ils fournissent donc l'occasion et accroissent la motivation pour prendre un trajet, alors que le réseau de voirie a comme particularité première d'offrir un moyen pour se déplacer à pied. Ces attributs permettent ainsi de se déplacer et de joindre une destination, ce qui correspond au besoin le plus fondamental du piéton. La structure spatiale du réseau de voirie (sa configuration, sa connectivité, la taille et la forme des îlots), quant à elle, peut contribuer au choix d'un trajet plutôt que d'un autre. Le réseau de voirie comprend donc différents aspects fonctionnels, structurels, ainsi qu'esthétiques et sociaux pour le déplacement à pied. La contribution du réseau de voirie au choix d'itinéraire des piétons nous semble plus importante que les autres attributs de l'environnement construit, en raison du caractère multidimensionnel de son rôle dans le déplacement à pied.

Ainsi, dans la partie suivante, nous nous focalisons sur le réseau de voirie en adoptant une approche méthodologique adéquate afin de pouvoir mesurer l'influence du réseau de voirie sur les comportements individuels des piétons et sur leurs choix de trajet.

CONCLUSION DE LA PREMIÈRE PARTIE

Dans la première partie de notre thèse nous avons essayé de décrypter comment se déroule le choix d'itinéraire d'un piéton dans l'espace urbain et, de savoir, lorsque le piéton cherche un trajet, quelle relation il établit avec l'environnement urbain. Nous avons également essayé d'adopter une approche théorique afin de pouvoir analyser dans les parties suivantes l'influence du réseau de voirie sur le choix du trajet des piétons.

Dans le **premier chapitre**, avant d'aborder le processus mental d'orientation des piétons dans l'espace urbain, nous avons évoqué un ensemble de termes variés relatifs à ce sujet qui ont été employés dans la revue de la littérature. Nous avons adopté le terme de *wayfinding* qui désigne le processus dynamique et à la fois mental et comportemental (nécessitant le mouvement) d'une personne tout au long de son trajet, qui consiste à choisir un chemin qui relie son point départ à son point d'arrivée. La première étape de *wayfinding* consiste à établir une connaissance de l'espace urbain. Pourtant, cette connaissance est toujours partielle et il n'existe pas une définition absolue de l'espace urbain. Comme le montre la revue de littérature, différentes définitions de l'espace sont envisageables. L'espace dont parlons dans ce travail correspond en effet à « l'espace perçu », qui est une appréhension subjective et donc relative de « l'espace réel ». Les individus perçoivent et représentent « l'espace réel » en transformant ses composantes, ceci par un processus mental très complexe qui dépend aux caractéristiques individuelles (âge, genre, etc.), leurs liens sociaux et des caractéristiques des groupes sociaux auxquels ils appartiennent. Lors du déplacement à pied, un ensemble de différents facteurs liés à l'environnement construit et aussi les circonstances du déplacement contribuent aux représentations variées de l'espace. C'est pourquoi nous avons confirmé que, tout au long du déplacement à pied, le piéton établit une interaction continue et dynamique avec l'environnement de la marche.

À la fin, nous avons développé la question de la décision. Nous avons expliqué qu'en fonction des représentations de l'espace et des connaissances de l'environnement de la marche, le piéton passe au niveau stratégique (prendre la décision) et ensuite opérationnel (transformer ses décisions en actions). Ceux-ci tout au long du trajet et par un ensemble de sous-tâches organisées dans le temps et dans l'espace permettant de choisir parmi toutes les alternatives potentielles le chemin le plus adapté aux critères que se donne l'individu. Ainsi, le choix d'itinéraire des piétons n'est pas un processus mental isolé et uniquement individuel,

il s'agit en effet, d'une activité sociale que d'autres personnes et l'environnement urbain contribuant à influencer ce processus.

Dans le **deuxième chapitre**, nous sommes partie de l'idée qu'étudier le choix d'itinéraire des piétons dans le milieu urbain n'a pas de sens si nous ne comprenons pas les critères selon lesquels les piétons choisissent leurs trajets. C'est la raison pour laquelle, tout d'abord, nous avons fait l'état de la littérature et nous avons donc présenté les principales approches théoriques à ce sujet : (1) l'approche du **choix rationnel ;** et (2) l'approche du **choix cognitif**. L'approche du choix rationnel fait le postulat que le piéton, dans le souci de minimiser le temps et l'énergie à dépenser, sélectionne l'itinéraire le plus court (en termes de longueur physique ou/et de temps de trajet). En plus cette approche considère que c'est l'environnement urbain qui détermine le comportement des piétons et ne prend en compte le rôle des spécificités individuelles et sociales des piétons. L'approche cognitive, quant à elle, repose sur l'idée que le comportement des individus n'est pas complètement rationnel et repose également sur un ensemble de facteurs cognitifs, motivationnels individuels ou sociaux, ainsi que les caractéristiques objectives et subjectives de l'environnement. Ainsi, les critères de choix du trajet des piétons sont très complexes et même évolutifs en rapport aux sentiments instantanés des piétons et les représentations qu'ils se font de l'environnement de la marche. Ceci est donc en accord avec l'approche interactionnelle**,** selon laquelle l'individu et l'environnement établissent un échange dynamique et réciproque. Ainsi, le comportement de piéton dans l'environnement urbain est le résultat de croisement des caractéristiques du milieu et celles de l'individu.

Dès lors, la complexité de nature de la relation piéton-environnement lors de choix du trajet et la variété des critères objectifs et subjectifs que l'individu met consciemment ou inconsciemment en place nous motivent à choisir une approche théorique mixte, c'est-à-dire, à la fois **rationnel** (prenant en compte l'intérêt de l'individu à minimiser le temps et l'énergie physique ou mentale à dépenser) et **cognitive** et **interactionnelle** (permettant d'envisager l'intervention de l'environnement de la marche, ainsi que la subjectivité des piétons). C'est pourquoi, ensuite, nous avons appuyé sur la distance, en tant qu'un des déterminants importants de choix du trajet. Pourtant, afin de comprendre dans quelle mesure et comment le piéton appréhende la distance de son trajet, nous avons analysé les deux dimensions, objective et subjective, de la distance. Ainsi, la distance n'est pas seulement objective et mesurable (en termes de longueur métrique, de durée de déplacement, ou de nombre de segments de route à parcourir). Elle est aussi subjective et relative, reposant sur les évaluations et les

représentations des individus de la distance objective (réelle). C'est pourquoi la plupart du temps, la distance réelle est surestimée ou sous-estimée. Un ensemble de différents facteurs contribuent à cette estimation surévaluée ou sous-évaluée : d'un côté, les caractéristiques individuelles des piétons, leurs capacités physiques, leurs contraintes temporelles, etc. ; d'un autre côté les particularités de l'environnement construit, la configuration du réseau de voirie ; et enfin les circonstances du déplacement (conditions météorologiques, le temps et le motif de déplacement, etc.). Encore une fois, le processus d'orientation des piétons dans l'espace urbain s'avère très complexe, même lorsque nous appuyons simplement sur la rationalité de l'individu et le choix du trajet en rapport à sa longueur.

Enfin dans le **troisième chapitre,** appuyant sur l'approche théorique du choix cognitif, nous avons visé le rôle de l'environnement construit dans le choix du trajet des piétons. Nous sommes partie de l'idée que plus l'environnement de la marche est perçu et évalué comme favorable à la marche, plus il est possible qu'il soit traversé par les piétons. Nous avons donc supposé que l'évaluation de l'environnement urbain et la décision de choix du trajet reposent sur un certain nombre de besoins et des attentes que les piétons cherchent à satisfaire.

C'est pour cette raison que, dans un premier temps, nous avons attardé sur la définition des termes comme « besoin », « attente » et « exigence » abondamment utilisés dans la revue de la littérature. Dans un deuxième temps, à partir de la revue de la littérature, nous avons présenté des principaux besoins et attentes physiques et mentaux des piétons vis-à-vis de l'environnement urbain : la sécurité et la sûreté (réelles ou ressenties) ; le confort physique et mental ; et enfin, l'attractivité objective et subjective du trajet. Ensuite, nous avons cherché à savoir les conditions de l'environnement urbain qui satisfont le plus ces besoins. Nous avons démontré un ensemble de conditions telles que l'accessibilité, la sécurité la convivialité, l'attractivité, etc., qui peuvent faciliter et favoriser la marche.

Afin de pouvoir évaluer ces conditions, nous avons ensuite abordé le terme de la marchabilité de l'environnement urbain qui désigne l'adaptation du milieu urbain aux besoins et aux attentes des piétons. Les principaux attributs de l'environnement construit qui sont liés aux qualités objectives et subjectives de l'environnement construit et permettent évaluer sa marchabilité sont : la densité et la diversité de l'usage du sol, l'accessibilité aux services de base, le design de l'environnement urbain et la structure de la voirie (la taille et la forme des îlots, la connectivité du réseau de voirie, la configuration du réseau de voirie, et la qualité de l'aménagement de l'espace public).

Le réseau de voirie a un rôle multidimensionnel dans le déplacement à pied : contrairement à tous les autres attributs de l'environnement construit qui constituent l'occasion et l'intérêt pour choisir un trajet, le réseau de voirie a comme la particularité de fournir également un moyen pour se déplacer à pied. C'est-à-dire, non seulement le réseau de voirie permet de pouvoir se déplacer et joindre une destination, mais, en plus, sa structure spatiale (sa configuration, sa connectivité et la taille et la forme de ses îlots) peut constituer l'intérêt de choisir un trajet plutôt qu'un autre. Le réseau de voirie prend donc différents aspects fonctionnels, structurels et même esthétiques et sociaux pour le déplacement à pied. Ainsi, la contribution du réseau de voirie sur le choix d'itinéraire des piétons nous semble plus importante que les autres attributs de l'environnement construit.

Ce constat nous motive à nous focaliser dans la partie suivante sur le réseau de voirie et chercher à adopter une approche méthodologique adéquate afin de pouvoir analyser le réseau de voirie et les comportements des piétons lors de choix du trajet. Ainsi, dans la partie suivante nous cherchons connaître les approches méthodologiques adéquates permettant de répondre à la question principale de cette thèse qui consisté à savoir : **Comment et dans quelle mesure la structure du réseau de voirie contribue-t-elle à influencer le choix du trajet des piétons ?**

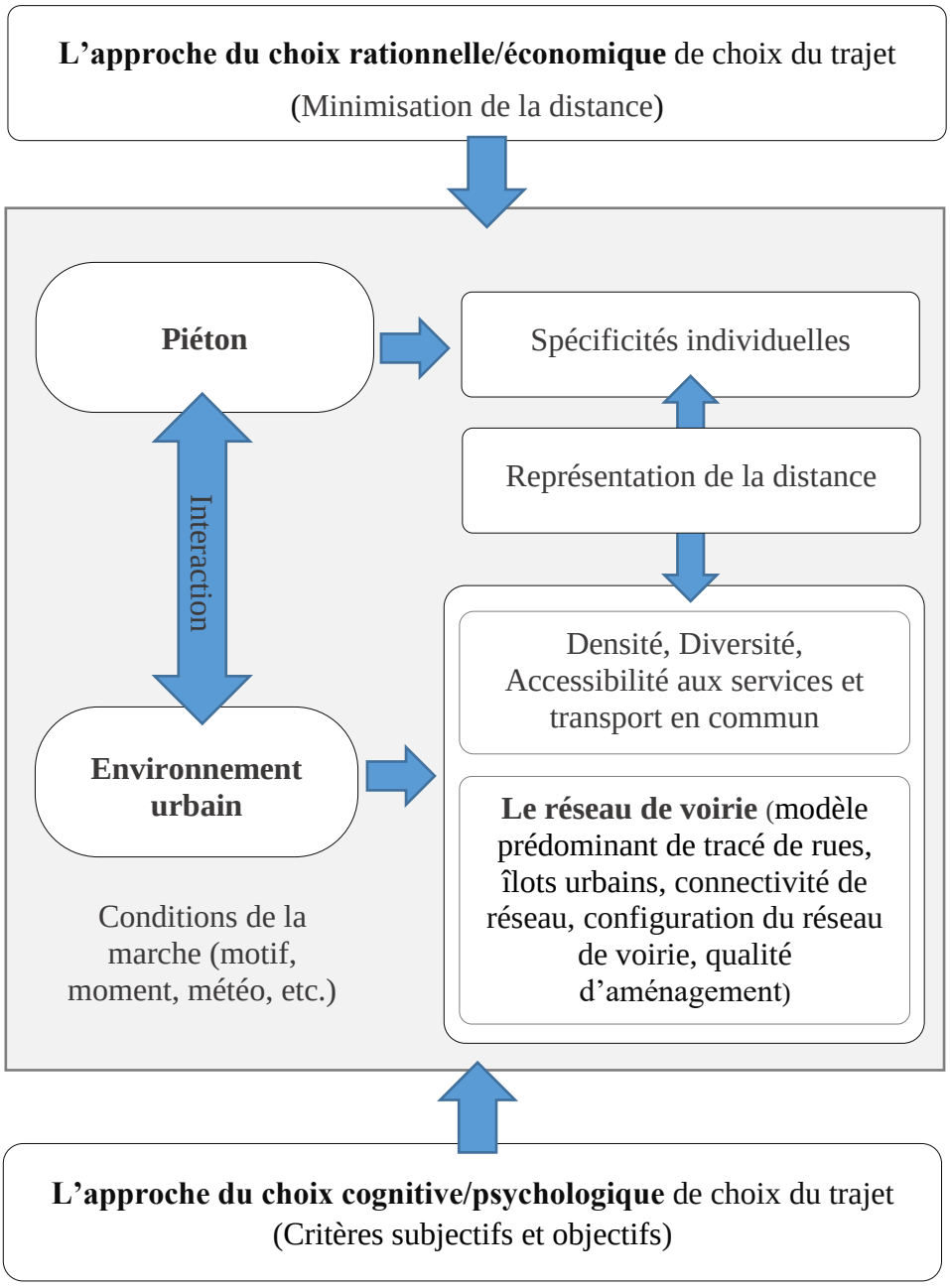

Figure 6. Synthèse de la première partie : cadre théorique de la thèse et approches théoriques du choix du trajet des piétons

DEUXIÈME PARTIE - MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE, CONSTITUTION DES DONNÉES THÉORIQUES ET EMPIRIQUES ET TERRAINS D'ÉTUDE

INTRODUCTION DE LA DEUXIÈME PARTIE

Nous avons constaté dans la partie précédente que l'orientation des piétons dans l'espace urbain se déroule selon un processus complexe. En effet, leur orientation est influencée par un ensemble de facteurs liés à la fois aux spécificités individuelles de la personne, aux circonstances du déplacement, ainsi qu'à un ensemble de caractéristiques de l'environnement construit. Nous avons également souligné que le réseau de voirie et sa structure spatiale, en tant qu'un des attributs physiques de l'environnement construit, jouent un rôle important dans le processus d'orientation des piétons et dans leur choix de trajet dans l'espace urbain.

Dans cette deuxième partie, nous construisons le cadre méthodologique de notre thèse en nous appuyant sur une approche bibliographique et sur le cadre théorique de notre recherche (présenté dans la première partie). Nous cherchons, en effet, à constituer des données théoriques et empiriques afin d'analyser ensuite l'influence du réseau de voirie sur le choix de trajet des piétons. Nous structurons cette partie en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre (chapitre IV), nous adoptons un cadre méthodologique permettant de modéliser les **comportements théoriques** des piétons en matière de choix de trajet, ainsi que **le réseau** de voirie. Nous présentons donc les différentes méthodes qualitatives et quantitatives permettant de modéliser le comportement des piétons lors de leur orientation dans l'espace ainsi que leur mode décisionnel de choix d'itinéraire. Afin de prendre en compte le rôle du réseau de voirie, nous présentons également les principales méthodes qualitatives ou quantitatives que les travaux précédents ont appliquées afin de modéliser le réseau de voirie. Ensuite, parmi les méthodes présentées, nous adoptons celles qui semblent être en adéquation avec notre objectif de recherche et qui permettent de mesurer l'influence du réseau de voirie sur les comportements individuels des piétons et sur leurs choix de trajet. Enfin, nous développons le cadre méthodologique dans lequel s'inscrit notre recherche permettant modéliser le comportement théorique des piétons.

Le **deuxième chapitre** de cette partie (**chapitre V**) porte sur le choix du cadre méthodologique permettant d'appréhender les **comportements réels** des piétons en matière de choix de trajet dans le milieu urbain. En effet, puisque dans le chapitre précédent nous avons choisi des méthodes modélisatrices du comportement des piétons, nous cherchons maintenant à construire une base de données empiriques permettant de confronter la modélisation théorique avec les comportements réels des piétons. Ainsi, dans ce chapitre,

nous présentons les différentes méthodes qualitatives et quantitatives employées dans les travaux précédents. Nous y abordons les avantages et les limites de chacune d'entre elles, en lien avec les objectifs de notre recherche. Enfin, nous nous positionnons et choisissons la ou les méthodes qui semblent les plus adaptées à notre thèse.

Le **troisième chapitre** de cette partie (**chapitre VI**) présente nos deux terrains d'études que sont la ville d'Ispahan (Iran) et Tours et ses communes avoisinantes (France), auxquels nous appliquons nos approches méthodologiques (abordées dans les chapitres IV et V). Nous présentons brièvement ces deux terrains en nous concentrant plus particulièrement sur l'évolution de leur structure spatiale dans le temps, ainsi que sur leurs systèmes de transport. Ceci permet d'identifier les ressemblances et les différences susceptibles d'influencer le comportement les piétons.

Le **dernier chapitre** de cette partie (**chapitre VII**) porte sur la mise en œuvre de nos méthodes de constitution de bases de données théoriques et empiriques. Dans un premier temps, en appliquant la théorie et la méthode de la Syntaxe spatiale, nous modélisons la structure spatiale du réseau de voirie de nos terrains d'études. Ceci nous permet de simuler les préférences théoriques des piétons en matière de choix d'itinéraire. Dans un deuxième temps, nous menons une enquête sur la marche à pied sur nos terrains d'études, afin de recueillir des données empiriques sur les comportements des piétons liés à leurs d'itinéraires. Pour cela, nous utilisons des traceurs GPS et des enquêtes qualitatives *a posteriori* (des entretiens semi-directifs et des questionnaires).

Ainsi, nous constituons des bases de données qui contiennent les comportements théoriques et empiriques des piétons concernant leurs choix du trajet. Dans la partie suivante, à partir de l'analyse et de la confrontation de ces données, nous mettons en lumière l'influence du réseau de voirie sur le choix de trajet des piétons.

CHAPITRE IV - Modélisations du *wayfinding* et modélisations du réseau de voirie

Introduction du chapitre IV

Comme constaté dans la partie précédente, l'orientation dans l'espace urbain et le choix d'itinéraire des piétons vers une destination (dans le cadre d'un environnement familier ou non familier) se déroule selon un processus complexe. Nous avons également démontré que toutes les étapes de ce processus sont influencées par de multiples facteurs liés à la fois aux spécificités individuelles de la personne ainsi qu'à un ensemble de caractéristiques de l'environnement construit. Nous avons également mis en évidence la contribution particulière du réseau de voirie et de sa structure spatiale comme un des attributs physiques de l'environnement construit, jouant un rôle multidimensionnel important dans le déplacement à pied et le choix du trajet des piétons.

En dépit de la complexité du processus d'orientation des piétons dans l'environnement urbain et de la variété des facteurs qui y sont impliqués, ce chapitre s'intéresse aux moyens permettant d'appréhender les comportements théoriques des piétons lors de leur choix de trajet. Notre objectif est donc de construire le cadre méthodologique de cette thèse qui permet d'appliquer des méthodes adéquates à la modélisation du comportement des piétons en matière de choix du trajet, ainsi que de modéliser le réseau de voirie.

Ainsi, nous avons structuré ce chapitre comme suit : tout d'abord, à partir de la revue de la littérature, nous abordons les différents types de modélisation (qualitative et quantitative) du comportement des piétons lors de leur orientation dans l'espace, notamment leur mode décisionnel de choix d'itinéraire.

Puisque le réseau de voirie constitue l'un des éléments centraux de cette thèse, nous considérons que la notion de réseau mérite d'être développée. Nous exposons rapidement sa genèse, son application dans les études liées aux déplacements et nous définissons ce qu'est un réseau de voirie. Nous évoquons ensuite les approches méthodologiques principales qui servent à modéliser le réseau de voirie.

Ensuite, nous adoptons une ou plusieurs méthodes parmi celles présentées, en fonction de leur adéquation avec notre objectif. Cette ou ces méthodes doivent nous permettre de mesurer

l’influence du réseau de voirie sur les comportements individuels des piétons et sur leurs choix de trajets.

Ensuite, nous présentons la Syntaxe spatiale en tant que théorie et méthode qui permet de modéliser à la fois la structure spatiale du réseau de voirie et le déplacement à pied. Enfin, nous présentons les principes et les postulats sur lesquels repose la Syntaxe spatiale, les mesures utilisées pour mesurer et modéliser l’espace et le comportement des individus ainsi que ses domaines d’application, notamment ses apports pour l’évaluation du comportement des piétons.

4-1- La modélisation du processus d'orientation des piétons dans l'espace urbain

La modélisation du processus de *wayfinding* et du comportement des piétons trouve son intérêt dans des domaines de recherches aussi variés que l'intelligence artificielle, la psychologie expérimentale ou les neurosciences cognitives, l'architecture, l'urbanisme, etc. (Pecol, 2011). À partir de la revue de la littérature, nous avons identifié les quatre méthodes de modélisation principalement utilisées pour comprendre et analyser le *wayfinding* : les **modèles cognitifs et mentaux**, les modèles reposant sur la **carte cognitive** des personnes, les **modèles quantitatifs microscopiques** et les **modèles quantitatifs macroscopiques**. Cette section est dédiée à la présentation de ces quatre manières de modéliser le processus d'orientation des piétons dans l'espace, dont nous présentons une synthèse sous la forme d'un tableau (tableau 2, page 190).

4-1-1- Les modèles cognitifs et mentaux du processus de *wayfinding* (les modèles qualitatifs)

La modélisation qualitative du processus mental d'orientation des personnes dans l'espace est l'objectif de nombreux travaux (Passini, 1984 ; Gärling et *al*., 1984 ; Golledg, 1995 ; Chen et Stanney, 1999 ; Wiener et *al*., 2009 ; Brunet, 2014 ; Lakehal et *al*., 2018 ; Dalton et *al*., 2019). Leurs auteurs mettent en place les **modèles cognitifs** de *wayfinding* qui simulent le processus mental de l'orientation dans l'espace de manière séquentielle et hiérarchique, à mesure que la personne avance dans l'environnement de la marche. En effet, les modèles cognitifs s'efforcent de comprendre les processus psychologiques et mentaux de la navigation vers une destination souhaitée dans l'espace (Farr et *al*., 2012). Cela se fait, généralement, de manière **agrégée,** car ces modèles décrivent les comportements d'un ensemble de personnes-piétons.

Ensuite, nous présentons quelques travaux qui appliquent ce type de modèles : Passini (1984) et Gärling et *al*. (1984) proposent des modèles cognitifs s'appuyant sur l'idée que l'individu en déplacement est un agent, lequel est confronté à la résolution du problème que constitue le processus de *wayfinding*. Dans les modèles présentés par ces auteurs, les décisions d'orientation sont structurées de manière hiérarchique par un certain nombre d'étapes cognitives successives, distinctes, mais néanmoins interdépendantes, comprenant :

(1) la planification de l'itinéraire, (2) la réception d'informations de l'environnement de la marche, (3) la prise de décision par l'élaboration d'un plan d'action et (4) son exécution (l'exécution des itinéraires planifiés). Ces étapes mettent en évidence l'importance de différentes performances cognitives requises afin d'effectuer chaque tâche de navigation (Farr et *al*., 2012).

D'autres études (Wiener et *al*., 2009 ; Brunet, 2014 ; Lakehal et *al*., 2018 ; Dalton et *al*., 2019) tentent de compléter et d'approfondir la modélisation théorique de Passini (1984) et de Gärling et *al*. (1984). Ces auteurs proposent des diagrammes (taxonomies) provenant d'une approche stimulus-réponse, qui modélisent des états cognitifs de la tâche de *wayfinding* de façon plus précise. Ils représentent les différentes stratégies d'orientation dans l'espace de façon séquentielle et hiérarchique. Pourtant, dans ces modélisations, l'orientation des piétons dans l'espace n'est pas considérée comme un processus psychologique reposant uniquement sur les activités réflexives et individuelles du piéton. En effet, différents facteurs contribuent à résoudre la tâche de *wafinding* dans la structuration des stratégies à appliquer : les sources dont proviennent les informations de l'espace, les types d'informations sur l'espace dont la personne dispose, les actions d'autres personnes et, enfin, le niveau de connaissance spatiale de l'individu concernant les points de repère, les itinéraires, les relations entre les éléments de l'espace, etc. Dès lors, dans ces modèles, en même temps que le piéton maîtrise ses actions, l'environnement en retour conditionne ces actions, lesquelles sont en effet déclenchées de l'extérieur et en réponse à des stimuli de l'environnement.

Afin de réaliser ces modèles cognitifs, Passini (1984), Golledg (1995), Hölscher et *al*. (2011) développent des recherches empiriques en appliquant des méthodes particulières, c'est-à-dire des enquêtes verbales « *Think-aloud* ». Ceci correspond à la verbalisation de l'itinéraire parcouru pendant le déplacement à pied *(in situ)* comme processus. Par exemple, Golledg (1995) enregistre le processus d'orientations de 32 piétons à propos d'une paire d'OD (Origine-Destination) spécifique dans le campus d'une université de l'Ouest des États-Unis. Il s'agit d'enquêtes verbales *in situ* (pendant la marche), mais également d'enquêtes *a posteriori* par le dessin sur une carte. De ce fait, comme le soulignent Hölscher et *al*. (2011), la verbalisation est une méthode pour pouvoir modéliser le processus cognitif impliqué dans l'orientation et la planification d'itinéraire. Cela consiste à analyser les données linguistiques (les descriptions des personnes) pour comprendre le comportement spatial. Ainsi, les personnes enquêtées sont invitées à penser et à parler à voix haute pendant les tâches d'orientation, explicitant leurs pensées et la façon dont elles naviguent dans l'espace. Ces

auteurs mettent en œuvre des enquêtes de verbalisation *in situ* ainsi que des entretiens *à posteriori* (après l'achèvement de la tâche de *wayfinding*) permettant d'enregistrer le processus de planification et les stratégies d'orientation dans l'espace. L'enquête comprend 12 participants qui doivent parcourir le centre-ville médiéval de Fribourg, entre des points de départ et des destinations (OD) prédéterminés, en choisissant l'itinéraire le plus court possible. Ce travail se déroule comme suit :

(1) D'abord, en vue d'enregistrer la planification prospective des itinéraires avant de commencer le déplacement, les participants sont invités à planifier et à décrire à haute voix l'itinéraire le plus court possible entre leur position actuelle (départ) et leur destination.

(2) Ensuite, afin d'enregistrer les processus de planification réelle lors du déplacement, les participants sont invités à marcher en empruntant l'itinéraire le plus court possible, à réfléchir et à décrire à haute voix tout en le parcourant. L'itinéraire réellement choisi pendant la marche ne doit pas obligatoirement être identique à l'itinéraire qui est décrit avant le déplacement. Ainsi, les enquêtés ont la possibilité de prendre sans contrainte un autre itinéraire s'ils se rendent compte durant la marche qu'il en existe un plus court.

(3) Enfin, les auteurs comparent la planification prospective des itinéraires avec celui réellement emprunté.

(4) Avec un autre groupe de participants, ces auteurs examinent l'impact de la planification d'itinéraire pour quelqu'un d'autre, plutôt que de simplement décrire ses propres choix d'itinéraires prospectifs.

Ce travail montre que les modèles cognitifs d'orientation dans l'espace sont variés, en fonction des différentes situations étudiées : dans le cas de l'orientation réelle et sur place, celle-ci repose principalement sur la direction et se caractérise par des processus d'optimisation progressifs reposant sur la perception. Au contraire, les descriptions d'itinéraires préalables font davantage appel aux ressources de la mémoire et s'appuient donc davantage sur des éléments fondamentaux de la structure de la ville (tels que les points de repère), en utilisant les connaissances topologiques des relations de connectivité entre les rues et les lieux.

4-1-2- Les modèles reposant sur la carte cognitive des personnes

Afin de modéliser le comportement des individus dans le milieu urbain, certains travaux comme ceux de Lynch (1960), Gärling et *al*. (1984) et Kuipers (1978) analysent la façon dont le milieu urbain est compris et interprété par les individus. Ces auteurs essayent de modéliser l'orientation des piétons dans l'espace urbain en s'appuyant sur les cartes produites par les piétons, à partir des représentations mentales qu'ils ont de cet espace. Ces cartes sont appelées « cartes cognitives ». Cette modélisation se fait indépendamment des lieux d'origine et de destination du déplacement des personnes en ne se limitant pas à un trajet particulier. La « carte cognitive » correspond donc aux constructions mentales que les personnes se font de la ville et de la façon dont elles interprètent les éléments physiques des milieux urbains (Farr *et al.*, 2014).

En effet, Lynch (1960), Gärling et *al*. (1984) et Kuipers (1978) prennent en compte les facteurs environnementaux susceptibles de contribuer à la formation de cartes cognitives. Ces facteurs augmentent la lisibilité des milieux urbains et facilitent donc la construction de la carte cognitive. Par conséquent, cela influence la performance d'orientation dans l'espace. De même, les cartes cognitives permettent d'évaluer la capacité d'une ville à favoriser le *wayfinding* et la facilité à s'y orienter. Lynch (1960) réalise une étude empirique. Il utilise la technique du croquis de cartes et des entretiens pour déterminer ces facteurs environnementaux. Puis, à partir de multiples représentations qui composent les cartes cognitives, il classe les éléments physiques de la ville en cinq catégories susceptibles d'orienter les mouvements. Il s'agit de ceux présentés et décrits dans la sous-section 1-2-3-3 : les points de repères, les nœuds, les itinéraires (les voies), les frontières (bords) et des régions (secteurs). Dans le processus d'orientation dans l'espace, certains de ces éléments constituent des points stratégiques : par exemple, les nœuds (les intersections) où la personne est confrontée à la prise de décision de choix d'orientation à gauche ou à droite[1], ou bien les points de repère par lesquels le piéton peut vérifier sa direction vers la destination, etc. (Farr et *al*., 2012).

Cette modélisation comprend donc à la fois les capacités de traitement spatial des personnes ainsi que les caractéristiques physiques de l'environnement construit contribuant à l'orientation dans l'espace urbain. Dans le but de prédire le comportement des piétons,

[1] Cette confrontation peut être déjà là par anticipation et avant d'être à l'intersection.

Kuipers (1978) présente un modèle nommé **TOURS**, qui est en grande partie dérivé des travaux de Lynch (1960) et de Piaget et Inhelder (1967). Il mène 50 entretiens avec des sujets adultes en leur demandant de résoudre des problèmes de recherche d'itinéraire, de décrire la ville et de dessiner des croquis cartographiques. Ainsi, à partir de ces données, il développe ce modèle qui permet de représenter la connaissance spatiale des individus. Selon lui, la connaissance spatiale des individus est composée de différentes catégories d'états de connaissance partielle tels que les descriptions d'itinéraires, la topologie des réseaux de rue, la position relative de deux lieux, etc. Dès lors, ce modèle repose sur l'idée que la connaissance spatiale permet de trouver sa position relative dans l'espace et de décrire l'emplacement actuel, par rapport à la destination souhaitée. Par conséquent, il permet de résoudre les problèmes auxquels les piétons sont confrontés lorsqu'ils tentent de trouver leur itinéraire.

4-1-3- Les modèles quantitatifs microscopiques

Nous avons constaté plus haut que les modèles cognitifs cherchent à simuler le processus cognitif d'orientation des piétons dans l'espace urbain de manière qualitative et très générale. Contrairement à ceux-ci, les modèles quantitatifs microscopiques peuvent donner lieu à une simulation plus précise des comportements des individus. Ainsi, dans l'objectif de modéliser l'orientation des individus dans l'espace, Teknomo et *al*. (2000), Tom et *al*. (2008), Pecol (2011) et Cheng et *al*. (2014) appliquent des modèles quantitatifs de simulations microscopiques s'inspirant des modèles mathématiques et physiques. Ces modèles se concentrent sur la simulation des comportements et sur la prise de décision des piétons au niveau individuel. Nous identifions les deux particularités principales de ces modèles :

- Suivant une approche individu-centrée, ils simulent le comportement des piétons de manière **désagrégée,** c'est-à-dire qu'ils offrent la possibilité de modéliser le choix du trajet relativement aux comportements de chaque individu. C'est la raison pour laquelle, dans la plupart de ces modèles (que nous décrivons plus bas), il est supposé que chaque individu a son propre comportement, ses propres décisions et qu'il interagit avec les autres piétons autour de lui (Teknomo et *al*., 2000 ; Tom et *al*., 2008 ; Pecol, 2011 ; Cheng et *al*., 2014).

- Adoptant également une approche déductive, ils s'appuient généralement sur des hypothèses prédéterminées, relatives aux comportements des piétons (Piombini, 2006), c'est-à-dire que, dans ces modèles, le comportement des piétons est supposé être rationnel et prédictible. Ils partent donc du principe que le choix

du trajet le plus court repose sur la tendance des personnes à préférer certains seuils de vitesse ou certains seuils de distance métrique ou temporelle, etc. Par exemple : admettre une distance temporelle de 15 minutes comme seuil maximum accepté par les piétons à propos de la durée du déplacement à pied ; ou encore supposer une vitesse au-dessous de laquelle les piétons seront gênés. Il en va de même concernant la distance qu'acceptent les piétons par rapports aux autres personnes.

Les modèles quantitatifs microscopiques essayent donc, à partir d'un ensemble de règles prédéterminées et en s'appuyant sur des équations mathématiques, de modéliser le comportement des piétons dans une grande variété de situations. Néanmoins, l'application de ces modèles exige un ensemble de données détaillées à propos des piétons ainsi que les points de départ et d'arrivée des personnes. Voici maintenant quelques exemples des modèles quantitatifs microscopiques les plus couramment utilisés dans la littérature.

Les modèles de **force sociale** reposent sur la physique. Ils supposent que le piéton, lors de son déplacement, est soumis à des forces sociales. Ainsi, le mouvement de chaque piéton (et notamment sa vitesse) peut être influencé par les quatre facteurs (forces) principaux suivants (Teknomo et *al.*, 2000 ; Tom et *al.*, 2008 ; Pecol, 2011 ; Kanmeugne, 2014 ; Cheng et *al.*, 2014) :

- Le désir du piéton d'atteindre une certaine destination (une force motrice suscitant l'accélération de la vitesse) ;
- L'influence des autres piétons ayant un effet répulsif (gérer sa distance et éviter la collision avec eux) ;
- La force répulsive générée par les objets ou l'environnement de la marche comme la nécessité d'éviter un obstacle ;
- La force d'attraction d'autres piétons ou d'autres objets pouvant par conséquent l'éloigner de la destination ou diminuer sa vitesse.

Les modèles d'**automates cellulaires** reposent sur la géographie. Dans ces modèles, l'espace et le temps sont représentés par une grille uniforme composée de cellules. Il est considéré qu'« *à chaque pas de temps, le piéton se déplace de cellule en cellule voisine selon certaines règles* » (Pecol, 2011, p.33), c'est-à-dire que la localisation du piéton dans l'espace et dans l'unité de temps est représentée par un cellule, ceci, de manière discrète (Teknomo et *al.*, 2000 ; Tom et *al.*, 2008 ; Kanmeugne, 2014). Ainsi, la simulation consiste à prédire la

locomotion (au sens que nous avons défini préalablement)[1] de chaque piéton vers l'une de ses cellules voisines (Kanmeugne, 2014). Les modèles d'automates cellulaires reposent sur l'idée que chaque cellule ne peut être occupée que par un seul piéton (Teknomo et *al*., 2000). Dès lors, un score est attribué à ce piéton en fonction de sa proximité par rapport aux autres piétons. Les valeurs des variables attribuées sont mises à jour selon un ensemble de règles locales et les valeurs des variables des cellules voisines (Teknomo et *al*., 2000). Les modèles d'automates cellulaires ont également la capacité à reproduire les déplacements de petits groupes de piétons par l'association de règles comportementales aux cellules (Kanmeugne, 2014).

Les modèles **multi-agents**[2] considèrent les piétons comme des entités décisionnelles à la fois autonomes et interactives, appelées « agents ». Dans ces modèles, les piétons-agents en mouvement sont interactifs dans le sens où ils interagissent avec les autres piétons-agents ainsi qu'avec leur environnement. Selon nous, ceci constitue la différence principale entre les modèles reposant sur les agents et les modèles précédents. Tom et *al*. (2008), Phan (2014) et Perduea (2019) précisent que dans les modèles reposant sur des agents, les individus sont des entités actives et relativement autonomes, car ils ont la capacité d'agir à la fois en fonction de leurs perceptions de l'environnement et de leurs préférences individuelles, ainsi qu'en fonction du contexte dans lequel ils se déplacent. De même, la simulation du comportement des agents-piétons est exclusivement dépendante de la configuration de l'environnement de la marche, de la perception visuelle et des représentations mentales que l'individu s'en fait (et donc de la capacité cognitive et physiologique de l'individu à capter et traiter les informations de l'espace), des obstacles physiques dans l'espace, ainsi que du comportement des autres individus. De ce fait, ces modèles permettent la simulation du comportement d'une population dans certaines situations, par exemple lors de l'évacuation dans un contexte défini tel qu'un aéroport, un stade, un centre commercial, un musée, etc. Dès lors, dans ces modèles, contrairement aux modèles cellulaires, il est supposé que chaque piéton perçoit la totalité de l'espace qui l'entoure. De ce fait, les modèles basés sur les agents sont appliqués de manière désagrégée à chaque individu, cas par cas (Piombini, 2006), ainsi que de manière agrégée pour la modélisation du comportement des flux de piétons.

---

[1] Nous expliquons dans le premier chapitre (sous-section 1-1) que la locomotion correspond à un déplacement vers une destination visible et directement accessible. Plus précisément, la locomotion est un mouvement simple, sans changement de direction et sans détour.

[2] Agent-Based Models

L'algorithme du plus court chemin de *Dijkstra* : Ce modèle appliquant la théorie des graphes et les techniques mathématiques est souvent utilisé pour résoudre le problème du plus court chemin. Pour ce faire, il faut d'abord modéliser le réseau de voirie sous forme d'un graphe où les nœuds constituent les sommets et les arcs constituent les arêtes, de sorte que le plus court chemin corresponde aux trajets optimaux en matière de distance métrique entre les sommets de ce graphe. Ce modèle permet donc de prédire le plus court chemin sur le réseau de voirie, en simulant les tronçons de rue qui seront empruntés lors du déplacement à partir de tous les couples origine-destination donnés. Dès lors, l'application de ces modèles est uniquement possible lorsque des informations concernant le point d'origine et la destination de la marche sont disponibles (Perduea, 2019). Ce modèle repose donc sur le positionnement du point de départ, du point d'arrivée et sur le réseau de voirie, sans prendre en considération les spécificités des individus-piétons. Il repose sur le principe que, premièrement, les piétons connaissent bien l'environnement de la marche, deuxièmement, que le choix d'itinéraire se fait au départ du trajet et, troisièmement, que tous les piétons réfléchissent de la même manière et cherchent à minimiser l'effort lié au déplacement. Ainsi, les comportements sont modélisés de manière globale.

Dans le but de modéliser l'orientation des flux de déplacement des piétons dans le réseau de voirie, Foltête (2007) applique les techniques mathématiques de l'algorithme de *Dijkstra* au graphe du réseau de voirie de Lille. Il essaye de simuler la façon dont les individus construisent leur itinéraire sur un échantillon de 500 couples d'OD prédéterminés et variés. En outre, il ajoute des sophistications en essayant de prédire les itinéraires ne reposant pas uniquement sur les distances métriques les plus courtes, mais en intégrant également les facteurs structurels du réseau de voirie. Il suppose qu'un ensemble de facteurs structurels peuvent conditionner la distribution spatiale des fréquences piétonnières. Ces facteurs sont les suivants : l'accessibilité métrique (minimisation de la distance physique), l'accessibilité topologique (minimisation de la distance topologique), la linéarité de la voirie (minimisation des différences angulaires entre les sommets), la linéarité des itinéraires (minimisation des changements directionnels) et la continuité des itinéraires (minimisation de la traversée de carrefours). Afin de mesurer la linéarité du réseau de voirie ainsi que la linéarité des itinéraires, Foltête applique la méthode de la Syntaxe spatiale que nous précisons dans la sous-section 4-3. Dès lors, il peut prédire le degré d'usage de différents segments de rue dans l'attraction des flux de piétons. Afin de vérifier la validité des résultats de ses modélisations, il compare les fréquences théoriques calculées (prédites) avec celles issues de l'enquête de

terrain et réellement observées sur les tronçons de rues. Cependant, les modélisations à partir de l'algorithme de *Dijkstra* sont confrontées à deux contraintes méthodologiques : premièrement, étant issues de l'approche économique, elles reposent sur la rationalité absolue des individus ne cherchant qu'à maximiser l'utilité (de la distance métrique ou/et temporelle du trajet). Deuxièmement, elles ne peuvent retenir qu'un seul chemin, le plus court, pour chaque trajet (Piombini, 2006).

Les modèles de choix discret : Ces modèles s'inscrivent dans les modélisations microscopiques du comportement des piétons au niveau individuel. Similairement au modèle *Dijkstra*, dans les modèles de choix discret, chaque individu est supposé être confronté à un ensemble d'alternatives potentielles et qu'il est censé comparer pour en choisir une (Piombini, 2006). Mais contrairement au modèle de *Dijkstra*, les modèles de choix discret supposent que, premièrement, chaque individu a son propre comportement, ses propres décisions et, deuxièmement, que chaque individu interagit avec les autres piétons autour de lui (Teknomo et *al*., 2000 ; Tom et *al*., 2008 ; Cheng et *al*., 2014). Ainsi, ces modèles simulent le comportement des piétons de manière **désagrégée**.

Les modèles de choix discret sont, en effet, un mélange des modèles de force sociale et des modèles d'automates cellulaires que nous avons décrits plus haut. De même, lors de simulations de trajets reliant des points d'origine-destination prédéterminés, ces modèles de choix discret reposent sur la modélisation de deux types de comportements : (a) le comportement non contraint (qui est indépendant des autres piétons) et (b) le comportement contraint prenant en considération le phénomène des forces répulsives ou attractives de l'environnement qui les entourent. Il s'agit de gérer sa distance par rapport aux autres personnes ou bien à d'autres objets dans l'environnement de la marche[1]; Pecol, 2011). De ce fait, ils peuvent, d'une part, simuler de manière désagrégée la probabilité des choix effectués par chaque piéton et, d'autre part, ils ont la capacité de faire intervenir des forces (d'attraction ou de répulsion) de nombreux paramètres influençant les préférences des individus. Comme l'a souligné Piombini (2006, 2007, 2013) leur principal avantage est qu'ils peuvent simuler le choix d'itinéraire dans des situations et des contextes variés, en mesurant les préférences des individus en fonction du niveau d'attraction des espaces urbains. Dès lors, les modèles de choix discret permettent de modéliser le comportent des piétons en relation avec les attributs de l'environnement urbain et les spécificités des trajets. C'est la raison pour laquelle c'est un

[1] Les contraintes posées par les autres piétons ou les objets peuvent par conséquent amener à diminuer la vitesse de la marche, ou même à éloigner l'individu de sa destination

des modèles le plus utilisé dans les études du comportement des individus en relation avec les milieux urbains. Néanmoins, ces modèles ont l'inconvénient de nécessiter beaucoup de données. Piombini (2006, 2007, 2013), et Piombini et *al*. (2014) appliquent ce modèle dans leurs travaux, dans le but de décrypter les choix d'itinéraires des piétons à Besançon et Lille et de reproduire le processus du choix en relation avec les paysages urbains. Ainsi, dans ces travaux de recherche, Piombini considère d'abord le choix du piéton comme un arbitrage entre la minimisation du temps ou la longueur du trajet et l'agrément paysager du trajet. Ensuite, il modélise les choix d'itinéraires. Pour ce faire, les quatre types de simulations suivants sont appliqués :

- **premièrement,** dans le but de vérifier si les trajets issus de l'enquête de terrain sont conformes aux plus courts chemins ou non, Piombini utilise l'algorithme de *Dijkstra*. Cela permet d'établir une comparaison entre la fréquentation enregistrée des trajets réellement effectués sur le réseau de voirie et celle simulée par l'algorithme. Ainsi, il existe une corrélation significative entre la fréquentation des trajets enregistrés (réellement effectués) et celle simulée par l'algorithme de *Dijkstra* à Besançon (avec un coefficient R^2 de 0,73). Néanmoins, cette corrélation est moindre à Lille (avec un coefficient R^2 de 0,43)[1].

- **deuxièmement**, afin de surmonter la limite de l'algorithme de *Dijkstra* qui permet uniquement de simuler un seul chemin le plus court pour chaque trajet, Piombini utilise également les modèles **de choix discrets**. Ces modèles permettent de prédire les probabilités de choix de chaque individu (indépendamment des autres individus) parmi un ensemble de choix disponibles entre chaque paire d'OD prédéterminée. Les modèles de choix discret correspondent à la simulation de tous les itinéraires « raisonnables » pour joindre l'origine à la destination. L'itinéraire raisonnable, selon Piombini, ne dépasse pas un certain seuil d'allongement par rapport au chemin le plus court. Ainsi, au-delà d'un certain allongement, les itinéraires (et donc les tronçons qui les composent) ne sont pas inclus dans l'ensemble des choix. Piombini suppose que tous les itinéraires potentiels ont initialement la même probabilité d'être empruntés. Il

[1] Afin de croiser les données théoriques et empiriques, il applique le modèle de régression logistique binaire. Ce modèle cherche à établir une relation linéaire entre les variables. Ainsi, le coefficient de détermination R^2, qui est toujours compris entre 0 et 1, mesure la qualité de la prédiction de la régression. Celui-ci s'interprète comme suit : plus R^2 est proche de 1, plus la relation entre les données est forte. Ainsi ces données seront significativement corrélées.

calcule donc les probabilités de choix en fonction des caractéristiques associées à chaque option disponible, de manière désagrégée pour chaque individu et par rapport à chaque paire d'OD prédéterminée sur le réseau de voirie.

- **troisièmement**, il applique le modèle **logit multinomial** qui est un modèle prédictif psychologique qui fait partie de la famille des modèles de choix discrets. Ce modèle repose sur l'idée que l'ambiance urbaine et la morphologie bâtie du contexte immédiat de mobilité influencent les motivations et les comportements des piétons ce qui, par conséquent, peut conditionner leur choix d'itinéraire. Ainsi, il exige des informations concernant les attributs des itinéraires potentiels. C'est la raison pour laquelle l'auteur, via une grille de recensement de terrains, enregistre certaines caractéristiques du paysage urbain. Ainsi, Piombini développe un ensemble d'indicateurs d'ambiance visuelle du contexte immédiat et perceptif dans le champ visuel de mobilité tels que la végétation, le bâti, etc. Ensuite, il transforme ces informations visuelles qualitatives en données quantitatives, pour tous les tronçons de rue. Dès lors, les niveaux d'attraction des tronçons de rue sont mesurés. Ceci donne lieu à la prédiction de l'intensité théorique des piétons sur le réseau, en fonction des préférences des individus pour certaines caractéristiques du paysage urbain.

- **quatrièmement,** Piombini considère également le choix d'itinéraire des piétons comme un processus composé d'une succession de choix et du cumul d'un ensemble de jugements. Ainsi, il s'interroge sur la manière dont les modèles comme celui de *Dijkstra* modélisent les comportements des piétons, puisque ces modèles présupposent que le choix d'itinéraire se fait obligatoirement au départ du trajet. Piombini suppose que l'orientation dans l'espace depuis une origine vers une destination se déroule en plusieurs étapes successives, au fur et mesure que le piéton découvre l'environnement de la marche. De même, il considère que le piéton, avant de rejoindre sa destination, doit atteindre plusieurs buts intermédiaires. C'est pourquoi, selon l'hypothèse du choix partiel (choix successifs d'itinéraire), les piétons sont confrontés à un nouveau choix à chaque bifurcation durant le trajet. Ainsi, cette modélisation permet de simuler la procédure heuristique du choix d'itinéraire dans toutes les bifurcations des trajets potentiels entre chaque OD.

4-1-4- Les modèles quantitatifs macroscopiques

Les modèles quantitatifs macroscopiques appliquent des modèles mathématiques afin de simuler les comportements des flux de personnes (Teknomo et *al*., 2000 ; Tom et *al*., 2008 ; Pecol, 2011 ; Cheng et *al*., 2014). Ils simulent le comportement des foules[1] en les considérant comme un ensemble de personnes et de groupes sociaux dynamiques qui s'influencent mutuellement dans le processus d'orientation dans l'espace. Ainsi, le comportement des piétons est simulé de manière **agrégée**. En effet, à l'inverse des modèles microscopiques, les entités élémentaires des modèles macroscopiques sont les flux de piétons. Dès lors, dans ces modèles, les piétons ont un comportement collectif et la foule est considérée dans son ensemble. Ils supposent que les individus peuvent contribuer à imiter les mouvements d'autres personnes, ce qui entraîne une sorte de comportement d'influence (Perduea, 2019).

La plupart des modèles quantitatifs macroscopiques, comme les « modèles de dynamique des fluides ou gaz » et les « modèles de régression » sont concentrés sur le piéton lui-même, sans se préoccuper des spécificités de l'environnement de la marche. Ainsi, ils n'intègrent ni des éléments variés et liés à l'environnement de la marche, ni l'effet du changement de l'environnement sur les performances des flux de piétons. Ces modèles permettent notamment d'évaluer l'évolution temporelle de la densité de la foule ou des paramètres comme la vitesse. Ils présupposent que les piétons sont des agents homogènes ayant les mêmes types de comportements. Le comportement des personnes est donc soumis à des lois d'écoulement (Kanmeugne, 2014). Ces modèles macroscopiques sont souvent appliqués à des échelles très fines, dans le but de simuler des comportements de foule à partir des modèles reposant sur des événements extrêmes ou des scénarios comme l'évacuation d'urgence d'un bâtiment (Perduea, 2019).

Certains modèles quantitatifs macroscopiques intègrent la relation entre l'individu et l'environnement et tentent de produire des mesures indiquant la « facilité » d'orientation dans un environnement urbain. La facilité renvoie selon nous au degré de fluidité du déplacement, le piéton étant confronté à un nombre réduit d'obstacles physiques ou visuels dans l'environnement de la marche. Ces modèles permettent de développer des simulations d'orientation des piétons dans l'espace en relation avec les caractéristiques physiques des milieux urbains. Ces modèles reposent sur le postulat selon lequel le piéton est en interaction

[1] Une foule est composée d'une multitude de personnes ou de petits groupes de personnes regroupées dans un même lieu (Pecol, 2011).

avec son environnement : il agit sur l'environnement par le biais de ses capacités mentales et d'opérations physiques telles que la locomotion et la détection[1]. Le piéton reçoit donc les informations de l'espace de manière simultanée, ce qui lui permet d'interpréter l'environnement de la marche par ses représentations mentales (Gaisbauer et Frank, 2008). Ainsi, ces modèles servent d'outils d'étude aux architectes et aux aménageurs urbains, afin d'améliorer la conception des milieux urbains, ce qui facilite l'orientation des individus dans l'environnement construit. En outre, ces modèles considèrent les flux de piétons comme des unités de transport rationnelles, qui cherchent à optimiser l'énergie à dépenser ou le temps à consacrer, et qui sont dotés de capacités physiques, mentales et cognitives égales (Perduea, 2019). Nous présentons maintenant quelques exemples d'indices couramment utilisés, permettant de simuler l'orientation des flux de piétons dans l'environnement urbain :

L'indice de visibilité (IV)

Un des modèles quantitatifs de simulation de l'orientation dans l'espace est celui présenté par Braaksma et Cook (1980). Ils développent un modèle permettant de quantifier la facilité d'orientation dans de très grands bâtiments (comme les aéroports, les hôpitaux, les centres commerciaux) ou bien dans des bâtiments de taille et de surface moyenne (comme une maison). Ce modèle s'appuie sur l'indice de visibilité[2] (IV) afin d'évaluer la facilité d'orientation dans un bâtiment. Les auteurs représentent d'abord l'espace sous la forme d'un réseau de nœuds et de liens. Ainsi, les centres d'activité d'un hub constituent les nœuds (ce qui est par exemple le cas des comptoirs d'enregistrement dans les aéroports) et les lignes de vue d'un centre d'activités à l'autre correspondent aux liens. Ensuite, ils définissent l'IV comme le rapport entre le nombre de lignes de vue (nombre de liens entre les nœuds) disponibles et le nombre total de lignes de vue qui devraient exister à l'intérieur du bâtiment. Ainsi, si l'accès visuel (la ligne de vue) entre deux nœuds est coupé par un obstacle physique, cela diminue l'IV et donc la facilité d'orientation des personnes. En revanche, des IV plus élevés indiquent une orientation plus facile dans un bâtiment.

L'indice de densité de complexité des interconnexions (DCI)

[1] Il s'agit de la réception des informations de l'espace par le système sensoriel.

[2] Visibility index (VI)

Le DCI est une mesure pour évaluer la complexité du plan d'étage d'un bâtiment, en fonction des relations topologiques entre les points (Farr et *al*., 2012). Il repose sur la densité des connexions entre les points et il indique la densité des chemins traversables et disponibles entre différents points d'un bâtiment. Cet indice s'obtient en divisant la somme de tous les liens (chemins) possibles par le nombre total de points du même étage d'un bâtiment. L'augmentation du DCI est associée à la complexité et à l'imprécision de l'image mentale formée de l'espace, entraînant une augmentation de la difficulté d'orientation (Farr et *al*., 2012 ; Li et Klippel, 2012). Il s'agit donc d'une mesure globale de la complexité de l'espace dans son ensemble, qui ne tient compte ni du *wayfinding* au niveau individuel, ni du parcours, ni des différents points du trajet. En effet, ces modèles permettent plutôt de modéliser la marchabilité d'un milieu urbain.

Les indices liés aux caractéristiques physiques de l'environnement urbain

De nombreux travaux (Ewing et Cervero, 2001; Cervero et Duncan, 2003 ; Cervero et *al*., 2009 ; Frank *et al*., 2009 ; Lamiquiz et López-Dominguez 2015) tentent d'évaluer le lien entre certains attributs de l'environnement construit tels que la densité et la diversité d'occupation du sol, le design du réseau de voirie, etc., et le déplacement des piétons dans les milieux urbains. Ils présupposent que ces caractéristiques de l'environnement bâti peuvent augmenter la marchabilité de certains trajets et ainsi permettre de déterminer la distribution du flux du déplacement des piétons de manière globale. Pourtant, ils ne sont pas capables de modéliser et de simuler précisément les flux de déplacements.

4-1-5- Un modèle quantitatif macroscopique : la Syntaxe spatiale

Un des modèles permettant de modéliser les comportements des flux de piétons est la Syntaxe spatiale. Nous ne décrirons pas ici toute la Syntaxe spatiale, mais nous précisons ses dimensions macroscopiques quantitatives en lien avec ce qui précède. En effet, la Syntaxe spatiale permet d'inclure les facteurs humains et environnementaux impliqués dans l'orientation des piétons dans l'espace (Farr et *al*., 2012). Elle permet de modéliser les comportements des flux de piétons à partir d'un ensemble de techniques analytiques décrivant la relation entre l'espace et les êtres humains (Hillier et *al*., 1984). La Syntaxe spatiale repose sur l'idée que les facteurs humains et les éléments structurels de l'espace jouent un rôle

important dans l'orientation des individus (Farr et *al*., 2012). En effet, elle présuppose que la structure spatiale intervient dans la manière dont les personnes s'orientent dans le réseau d'espaces. Afin de parvenir à ces analyses, elle fournit des outils et un ensemble de mesures quantitatives le permettant (Farr et *al*., 2012). Ainsi, en appuyant sur les calculs mathématiques, elle analyse la structure spatiale et plus particulièrement les propriétés de la configuration de l'espace, à l'échelle des bâtiments et/ou des villes (Hillier, 2005). Aussi, la Syntaxe spatiale adopte les spécificités suivantes :

(1) À partir de l'analyse de la configuration de la structure de l'espace, elle parvient à simuler la distribution des flux piétonniers et ainsi à prédire les charges théoriques de piétons sur les tronçons de rues. Autrement dit, elle calcule le degré d'usage de chaque segment de voirie (Foltête, 2007).

(2) Afin d'analyser la configuration de la structure de l'espace, elle a la particularité de prendre en compte uniquement l'influence des caractéristiques topologiques du réseau d'espaces sur le choix d'itinéraires des flux de personnes. De même, elle repose sur l'idée que la distance n'est pas uniquement un facteur métrique ou temporel, mais aussi un facteur topologique (Hillier, 1996 ; Lagesse et *al*., 2012). Ceci va à l'encontre de la plupart des modèles que nous venons de citer, lesquels s'appuient sur les mesures métriques de la distance. Dans la Syntaxe spatiale, les facteurs comme le nombre de changements de voies nécessaires qui relient deux points donnés du réseau sont le facteur central à étudier.

(3) La modélisation des comportements des flux piétonniers est également contraire aux modèles microscopiques (que nous avons cités), indépendamment des lieux d'origine et de destination (OD) des déplacements. En effet, elle suppose que le poids des facteurs structurels du réseau de voirie minimise le rôle du facteur de localisation des OD sur la distribution spatiale des piétons (Foltête, 2007). Ainsi, l'application de ce modèle est possible sans devoir disposer des données concernant les points d'origine ou de destination des déplacements à pied.

(4) Contrairement à certains modèles qui considèrent l'environnement de la marche comme une entité physique qui peut simplement influencer la vitesse de la

foule, la Syntaxe spatiale, considère l'espace lui-même comme le principal générateur de l'orientation des flux de piétons.

(5) Cette méthode a comme spécificité de présenter des simulations de comportements de flux de piétons à partir des représentations que les individus se font de la structure de l'espace. Dès lors, la Syntaxe spatiale a le potentiel de modéliser les comportements quotidiens des piétons, tout en établissant des liens entre les représentations individuelles de l'espace et les caractéristiques de sa configuration (Perduea, 2019). Ainsi, le cadre conceptuel de la Syntaxe spatiale simule le comportement des piétons, en s'appuyant sur l'approche cognitive d'une part, et en modélisant le réseau de voirie d'autre part (Hillier et *al*., 1993 ; Jiang et *al*., 2000 ; Raford et Ragland, 2006).

Dans le tableau suivant, nous synthétisons les différentes méthodes de modélisation microscopique et macroscopique du comportement des piétons, lors d'orientations dans l'espace.

Modèles	**Qualitatifs**		**Quantitatifs**	
	Modèles cognitifs	Carte cognitive	Modèles microscopiques	Modèles macroscopiques
Principes	Modélisation séquentielle et hiérarchique du processus mental de l'orientation	Modélisation des représentations de l'environnement urbain contribuant à l'orientation	Modélisation du comportement des piétons au niveau individuel	Modélisation du comportements des flux des piétons
Niveau de simulation	Agrégé	Agrégé	Désagrégé	Agrégé
Exemple			Force sociale, Automates cellulaires, Agent-Based Models, ***Dijkstra***, Choix discret	Modèles de dynamique des fluides ou gaz Modèles de régression, l'indice de visibilité (IV), DCI, **Syntaxe spatiale**

Tableau 2. Récapitulatif des différentes méthodes de modélisation du processus d'orientation des piétons dans l'espace, à partir de la synthèse de la revue de la littérature

En ce qui concerne notre travail de thèse, dans le but de modéliser l'orientation des piétons dans l'environnement urbain, suite au tableau synthétique présenté en-dessus, et conformément à notre objectif de recherche, nous proposons d'employer la Syntaxe spatiale

ainsi que l'algorithme de *Dijkstra*. **Premièrement**, la Syntaxe spatiale permet de simuler l'orientation des piétons dans les milieux urbains de manière agrégée. D'un côté elle possède l'avantage d'intégrer la structure spatiale et la configuration du réseau. D'un autre côté, elle permet d'étudier les déplacements quotidiens des piétons sans restriction à un type particulier de mouvement tel que le motif ou l'origine-destination des déplacements. Elle ignore en effet la distance géométrique des trajets[1] ou la répartition des lieux de fréquentations des personnes. **Deuxièmement**, puisque la Syntaxe spatiale suit une perspective macroscopique et qu'elle permet de modéliser le comportement des flux de piétons, elle se concentre uniquement sur les mesures topologiques du réseau. Nous proposons donc de la compléter avec les autres méthodes. Ainsi, nous appliquons l'algorithme du plus court chemin de *Dijkstra*. Ceci permet de faire une analyse désagrégée du comportement d'un échantillon de piétons sur nos terrains d'étude[2]. De plus, cet algorithme nous permet de prendre en considération la dimension métrique du réseau et donc la rationalité des piétons en matière de choix d'itinéraire. Enfin, **troisièmement**, nous cherchons à vérifier si la modélisation du comportement des piétons par la Syntaxe spatiale peut être valide au niveau micro. Ainsi, nous évaluons si cette méthode a également le potentiel de simuler le comportement des piétons concernant le choix du trajet au niveau individuel ou non.

Cependant, au regard de l'importance de la modélisation de la structure du réseau de voirie qui constitue l'élément essentiel de la Syntaxe spatiale ainsi que l'élément central de notre thèse, nous préposons de mettre en avant le réseau de voirie. Ainsi, plus précisément, nous traitons des approches principales qui abordent la modélisation du réseau de voirie. Ensuite, nous revenons sur une présentation plus précise de la Syntaxe spatiale.

4-2- La modélisation du réseau voirie

Avant d'aborder la question de la modélisation de la structure du réseau de voirie, il convient tout d'abord d'évoquer rapidement quelques éléments concernant la genèse du concept de réseau et l'application de ce concept dans les domaines liés au déplacement.

Les réseaux pouvant être réels ou virtuels, ils mettent en relation un ensemble d'éléments, d'objets, d'informations, de lieux ou d'individus (Lagesse et *al.*, 2012). Comme l'a indiqué

[1] Dans la sous-section 4-3 nous présentons la Syntaxe spatiale de manière plus précise.

[2] Dans le chapitre VI, nous présentons nos terrains d'étude.

Dupuy (1985), le réseau connecte ces éléments. La connexion est donc la qualité intrinsèque du réseau. La notion de réseau est apparue dans différents domaines d'application comme les réseaux fluviaux, les réseaux de la livraison de marchandises, les réseaux aériens et maritimes, les réseaux technologiques ainsi que les réseaux de voirie des villes (Barthélemy et Flammini, 2008). De manière générale, les réseaux peuvent être immatériels (comme les réseaux sociaux), économiques, politiques, ou matériels (comme les réseaux biologiques). Il est aussi question de réseaux de transport, d'eau, d'assainissement et d'électricité. Les réseaux peuvent être réels ou virtuels. Ils peuvent permettre des flux ou des affinités. Ils peuvent être naturels, comme les réseaux hydrographiques, ou artificiellement construits comme les réseaux de transport (Dupuy, 1985 ; Stransky, 1995 ; Pumain, 2004 ; Lagesse et *al*., 2012). En ce qui concerne la définition des réseaux de transport, Barthélemy et Flammini (2008, p 1) les définissent comme « *les structures qui transportent l'énergie ou la matière d'un point à un autre* ». À notre sens, le réseau de transport correspond au maillage d'un ensemble d'arcs (les voies de canalisations, de lignes aériennes, ferroviaires, routières, etc.) et de nœuds (les intersections, terminaux, gares, aéroports, etc.) lesquels sont entrecroisés et desservent une unité géographique. Les réseaux de transport constituent donc une classe importante des réseaux étudiés dans la littérature (Marshall et *al*., 2018). Pourtant c'est en 1840 que le concept de réseau est appliqué au domaine routier (Stransky, 1995). Il correspond à « *un réseau spatial d'éléments linéaires connectés ayant soit une présence durable dans l'espace, comme dans le cas des réseaux routiers et ferroviaires, soit un réseau de trajets périodiques entre des origines et des destinations fixées dans l'espace, comme dans le cas des réseaux aériens et maritimes* » (Marshall et *al*., 2018, p.737). Le réseau de voirie est considéré par Piombini (2006) comme l'élément structurant de la ville. Néanmoins, pour donner une définition plus précise du réseau de voirie, nous nous saisissons de celle de Hamaina et *al*. (2012, p.4) qui donnent une définition à la fois fonctionnelle et structurelle du réseau de voirie : **«** *Alors que le réseau a pour fonction principale de desservir le bâti, les espaces ouverts, eux, structurent les tissus urbains environnant ces réseaux (…). Les réseaux exercent ainsi un effet structurant sur l'espace urbain* ». Cette définition permet également d'étudier les réseaux de voirie en rapport avec les caractéristiques des tissus urbains, notamment les bâtiments, les utilisations de la terre et les espaces ouverts. La rue est un élément essentiel du réseau. Elle supporte le mouvement et la fluidité du trafic, mais elle est également un espace de vie. Il est donc difficile de distinguer l'espace urbain et l'espace de la voirie (Stransky, 1995). En effet, de manière générale, la rue constitue à la fois un espace utilisable par les automobiles et par les piétons, les cyclistes, etc. Ceci amène à donner des fonctions variées à

la rue où se déroulent les rencontres sociales, économiques, etc. Ainsi, elle ne peut pas être simplement réduite à l'espace de la voirie. Elle peut donc être considérée comme un espace urbain à part entière. Nous considérons que cela provient aussi du caractère spécifique de la rue en milieu urbain dans laquelle, comme l'explique Marshall (2005, P.22), « *une rue peut être considérée à la fois comme une route ayant un caractère urbain et un espace urbain qui sert comme une emprise* ». Une rue est donc un objet multidimensionnel, puisque non seulement elle correspond à un conduit linéaire favorisant la circulation des personnes, des biens et à un espace desservant du bâti, mais elle constitue aussi un cadre pour les comportements humains, les personnes et les activités urbaines ainsi que les interactions sociales et économiques des individus (Marshall, 2005, 2006, 2018).

Après avoir souligné l'aspect multidimensionnel du réseau de voirie urbain, nous cherchons à appréhender la manière dont nous pouvons le modéliser. Il existe des études qui qui ont modélisé le réseau de voirie (Hillier et Hanson, 1984 ; Hillier, 1996 ; Stead et Marshall, 2001 ; Marshall, 2004, 2005, 2007 ; Foltête, 2007 ; Piombini et Foltête, 2007, 2008 ; Piombini, 2006, 2013 ; Barthélemy et Flammini, 2008 ; Hamaina et *al*., 2012 ; Lagesse et *al*., 2012 ; Guo et *al*., 2017 ; Marshall, 2005). Parmi celles-ci, nous distinguons deux approches générales différentes de la modélisation du réseau de voirie : les approches structurelles et les approches fonctionnelles, que nous développons ici.

4-2-1- L'approche fonctionnelle de la modélisation du réseau de voirie

La première manière d'appréhender et de modéliser la structure d'un réseau de voirie s'appuie sur une approche fonctionnelle. Celle-ci classifie et hiérarchise les voies par niveaux d'importance fonctionnelle que ces voies occupent dans le réseau. Dans le cadre de cette approche, l'importance des voies repose sur des indicateurs tels que le volume, théorique ou mesuré empiriquement du trafic (par unité de temps), la vitesse autorisée pour les moyens de déplacement, la largeur de la chaussée et le nombre de voies automobiles, etc. Par exemple, Stead et Marshall (2001) et Marshall (2004) proposent un concept de hiérarchisation conventionnelle aux niveaux **macro** et **micro** des voies. Ce concept de hiérarchisation repose sur la position relative des rues dans l'ensemble du réseau. Ainsi, ces auteurs distinguent les réseaux de voirie au niveau **macro** (ou urbain), qui correspondent aux voies qui sont généralement continues sur une partie vaste de la ville et qui permettent de se déplacer d'une partie de la ville à l'autre. En revanche, les réseaux de voirie au niveau **micro** (ou quartier) ayant une portée moins étendue desservent principalement les déplacements résidentiels à

l'intérieur des quartiers. Ces voies ne desservent pas une étendue géographique significative de la ville. Selon Marshall (2007), cette distinction micro-macro renvoie essentiellement à l'échelle de desserte géographique.

La catégorisation fonctionnelle des voies est pourtant toujours une préoccupation majeure dans la conception urbaine, la planification des quartiers et la gestion du réseau de voirie, notamment dans les domaines de l'ingénierie du trafic et de l'urbanisme. Ainsi selon cette distinction, les voies locales sont longées de bâtiments. Selon Marshall (2007), il faut les considérer comme des *rues* puisque les autres voies assurant le trafic doivent être considérées comme des *routes*. Cette distinction est confirmée par Lévy et Lussault (2013) : d'après eux, la rue associe des fonctions de circulation et d'habitat. Ainsi, la rue renvoie aux voies bordées par des maisons. Ces voies se situent dans une agglomération et elles assurent la circulation à pied, à vélo, ainsi qu'en voiture. Alors que la route, telle qu'elle est définie par le CNRTL[1], correspond à une voie de communication qui permet la circulation des véhicules entre deux points géographiques donnés, généralement deux agglomérations. Elle assure donc le trafic automobile en desservant une surface géographique beaucoup plus étendue comparée à la rue. De même, la classification fonctionnelle du réseau de voirie « *admet à la fois l'existence de différents types de voies, mais aussi organise les relations, d'une part entre ces différents types de voies, d'autre part entre les différents types de voies et les accès riverains* » (Marshall, 2007, p.7).

Par ailleurs, une classification classique du réseau de voirie selon l'aspect fonctionnel des voies correspond à la hiérarchisation allant : (1) des voies principales (les axes de transit et les artères urbaines) (2) jusqu'aux voies secondaires (jouant un rôle intermédiaire de collecte ou de distribution du trafic entre les quartiers et l'ensemble du réseau. Elles sont empruntées à la fois par les voitures et par les piétons) (3) et locales/tertiaires (qui assurent la desserte à l'intérieur des quartiers et permettent d'accéder aux bâtiments).

Dans le but de ne pas se limiter aux voitures privées, Marshall (2007) propose une classification fonctionnelle du réseau de voirie qui est plus adaptée à l'ensemble des différents moyens de transport et leur intermodalité. Il tente donc de faire une hiérarchisation qui n'exclut pas l'usage des transports en commun et de la marche à pied. C'est la raison pour laquelle, pour hiérarchiser les voies, il propose une classification en six types de voies en tenant compte premièrement, de la manière dont les différents moyens de transport (bus,

[1] Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales

tramway, voiture privée, vélo et marche) sont connectés les uns aux autres. Deuxièmement, il propose de tenir compte de l'accès à la mobilité que fournissent chacun de ces modes de transport et de leurs capacités à assurer les déplacements et la desserte des destinations. Précisons qu'il ne s'agit pas de classer les voies en fonction de caractéristiques intrinsèques et théoriques des modes de déplacement. Il s'agit plutôt de hiérarchiser le réseau de voirie en fonction d'une gamme de possibilités que ce réseau permet réellement par rapport à différents moyens de déplacement, telles que la distance d'accès[1], la portée et la pénétration territoriale. De même, plus un segment de voie est accessible depuis des moyens de déplacement variés et plus il dessert une surface géographique étendue, plus il se retrouve au sommet de la hiérarchie[2].

Certains travaux comme ceux de Foltête (2007, 2008); Piombini et Foltête (2007) et Piombini (2006, 2013) hiérarchisent les tronçons de rues des réseaux de voirie des villes de Lille et de Besançon, en fonction de l'intensité et de la fréquence empirique des flux de piétons. Ainsi, ces classifications ne traitent pas des moyens de déplacement de façon équivalente. Elles se concentrent en grande partie sur les moyens de déplacement motorisés et beaucoup moins sur la marche à pied. En outre, comme l'a précisé Marshall (2007) dans ses classifications fonctionnelles du réseau de voirie, les voies piétonnières sont en bas de la hiérarchie. Par conséquent, certains tronçons du réseau piéton se trouvent séparés les uns des autres, ce qui implique qu'ils ne forment pas un réseau continu. Ils forment parfois des sous-réseaux spatialement complètement séparés en raison des voies réservées aux voitures.

Nous constatons donc que, dans la modélisation selon l'approche fonctionnelle des réseaux de voirie, il est possible que certains moyens de déplacement, notamment la marche à pied, subissent une discrimination ou une sous-estimation. De ce fait, les facteurs fonctionnels ne sont pas suffisants pour modéliser la structure des réseaux de voirie. C'est pourquoi nous présentons maintenant une deuxième approche.

4-2-3- L'approche structurelle de la modélisation du réseau de voirie

Une deuxième manière de modéliser la structure du réseau de voirie, soit au niveau macro, soit au niveau micro, suit une approche structurelle. Cette approche vise à interpréter la configuration de la structure du réseau de voirie par des descriptions qualitatives ou

[1] Par exemple, la distance depuis une station de bus, un parking ou une gare.

[2] Par exemple, une voie accessible à la fois par le tramway, le bus, la voiture et la marche à pied

quantitatives de la disposition des rues (Stead et Marshall, 2001 ; Marshall, 2004, 2005, 2006). Ainsi, pour modéliser la structure du réseau de voirie, l'approche structurelle s'intéresse à l'aspect géométrique ou topologique du réseau. De même, les caractéristiques structurelles du réseau de voirie sont produites par le tracé physique du réseau, contrairement aux caractéristiques fonctionnelles qui sont plutôt liées aux usagers (Hamaina et *al*., 2012).

Par ailleurs, il convient de faire la distinction entre la géométrie et la topologie des réseaux de voirie. Tout d'abord, comme l'ont souligné Lagesse et *al*. (2012), la géométrie du réseau contient implicitement des informations topologiques, mais également des informations sur la forme et l'emprise du réseau, ainsi que des informations métriques. Afin de préciser notre pensée, nous nous appuyons sur les constats de Stransky (1995) pour qui la géométrie du réseau de voirie représente le tracé des rues. Il considère cependant que la topologie réside dans l'agencement géométrique des voies, c'est-à-dire dans le rapport entre les tronçons en particulier et le positionnement des intersections. Ainsi, comme l'évoque Brès (1998), les spécificités géométriques comprennent la morphologie du maillage de réseau, mais aussi sa topologie. Elles correspondent à la continuité, à la discontinuité, ou aux rupture de voies. Dès lors, la topologie concerne les informations non métriques du réseau telles que la connectivité, l'orientation, la continuité et l'isolement (séparation) des tronçons de route (Marshall, 2005). Nous trouvons la définition donnée par Pumain et Saint-Julien (2004) plus complète. Celle-ci recouvre les deux définitions précédentes : « *La topologie est une forme particulière de géométrie qui ne retient que les relations de voisinage, de continuité dans l'espace, et oublie les formes de la géométrie euclidienne* » (Pumain et Saint-Julien, 2004, p. 28). De même, la géométrie correspond à la morphologie des îlots, à la longueur des segments de rues, à leur tracé (le fait que les tronçons de route soient droits ou sinueux) et à la forme des intersections. Néanmoins, la définition de la topologie du réseau selon ces auteurs désigne la façon dont les voies sont disposées ensemble et les schémas de connexion des voies.

De même, la modélisation du réseau de voirie selon la géométrie ou la topologie est dictée par la disposition et la connectivité des rues ainsi que par la typologie des tracés de rues (Louf et Barthelemy, 2014). Elle est donc souvent associée à différents types de tissus urbains, en fonction de leur plan et de leur tracé (Piombini, 2006 ; Hamaina et *al*., 2012). Elle a recours aux descriptions **qualitatives** de la structure du réseau de voirie. Stead et Marshall (2001), Marshall (2004, 2005, 2006), Southworth et Ben-Joseph (2003), Hamaina et *al*. (2012) et Guo et *al*. (2017) montrent les différentes descriptions qualitatives pour l'ensemble de la configuration du réseau de voirie urbain à l'échelle de la ville ou du quartier. Par exemple,

Stead et Marshall (2001) et Marshall (2004, 2005, 2006) considèrent quatre formes (patterns) principales de configuration de réseau de voirie à l'échelle de la ville : linéaire, tributaire (arborescent), radial et cellulaire[1]. À cela s'ajoutent deux formes de réseau de voirie de quartier : l'arborescent et l'orthogonal[2], qui sont combinés pour décrire les réseaux de voirie de manière hiérarchisée. Dans les schémas suivants, nous pouvons voir ces différentes formes de réseau de voirie.

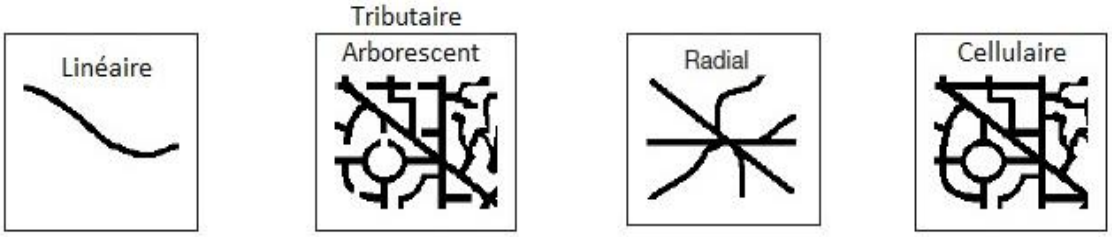

Figure 7. Quatre formes principales de configuration du réseau de voirie modélisées en fonctions de différentes formes de tracé physique du réseau à l'échelle de la ville (échelle macro), à partir de Marshall (2005, p.94).

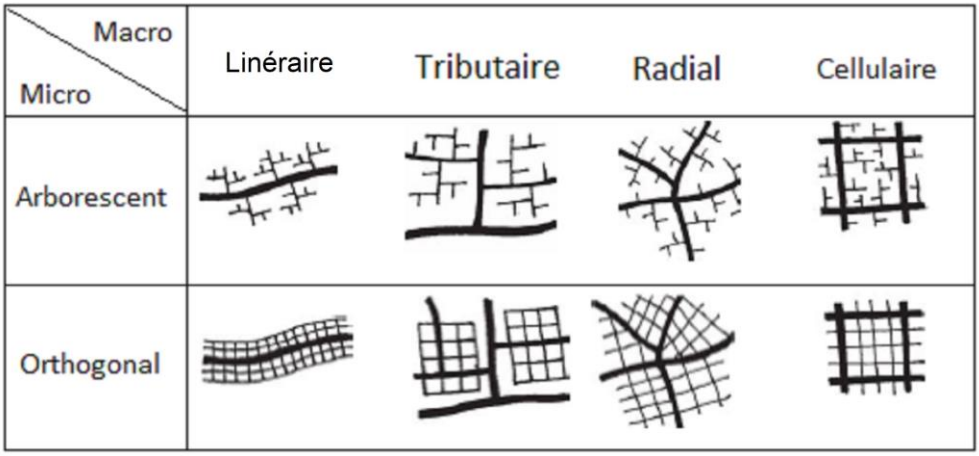

Figure 8. Combinaison de différentes formes de configuration du réseau de voirie modélisée en fonctions de différentes formes de tracé physique du réseau à l'échelle de la ville (macro) ainsi que du quartier (micro)
À partir de Marshall (2005, p.96).

Par contre, comme l'ont souligné Guo et *al*. (2017), Marshall (2005) et Barthélemy et Flammini (2008), l'évaluation du réseau à partir de ces descripteurs qualitatifs est particulièrement difficile et imprécise, parce qu'ils reposent sur des vérifications visuelles des chercheurs, sans qu'il soit possible de les évaluer à partir d'indices quantitatifs.

Afin de surmonter ces problèmes, certains chercheurs (Marshall, 2005, 2006 ; Louf et Barthelemy, 2014) appliquent des mesures **quantitatives** pour analyser les tracés physiques

[1] Respectivement en anglais : linear, tributary, radial, cellular

[2] Respectivement en anglais : tree, grid

de la structure du réseau de voirie, tels que la géométrie des îlots et la topologie du réseau (les schémas de connexion des voies). Par exemple, les travaux qui s'intéressent au niveau de connectivité du réseau de voirie en fonction de ses types d'intersections mesurent la densité des intersections à 3 voies ou plus sur une superficie donnée (Ewing, 1999 ; Cervero, 2003 ; Ewing et Cervero, 2010).

De son côté, Genre-Grandpierre (2001) applique une méthode **quantitative** et mixte de classification du réseau de voirie. En effet, il modélise à la fois la structure morphologique et fonctionnelle du réseau de voirie qu'il nomme « structure morpho-fonctionnelle ». Dans son modèle, les tronçons de rues sont hiérarchisés selon des isochrones (distance-temps) de 15 minutes pour évaluer l'accessibilité de différents moyens de déplacement. Ainsi, il compare la portion du réseau effectivement accessible en automobile, à vélo et à pied, en une durée de temps de 15 minutes. Concernant les déplacements en voiture, il prend en compte le stationnement gratuit et le sens des rues. Quant à la marche à pied, il prend en considération l'agencement morphologique du réseau aussi que la géométrie du réseau et les éléments comme la présence de coupures urbaines (telles que les montagnes, les rivières, les boulevards ou les lignes de chemin de fer). Enfin, pour ce qui est du vélo, il prend en compte deux sens pour tous les tronçons de rues. Ainsi, il évalue l'influence de la structure morphologique et fonctionnelle des réseaux de voirie sur l'accessibilité des différents moyens de déplacement.

Toujours dans le but de pratiquer une analyse **quantitative** de la géométrie ou/et de la topologie du réseau de voirie, certains autres travaux utilisent des outils mathématiques, principalement des méthodes variées reposant sur la modélisation du réseau selon la théorie des **graphes** (Hillier et Hanson, 1984 ; Hillier, 1996 ; Marshall, 2005 ; Hamaina et *al*. 2012 ; Lagesse et *al*., 2012 ; Lagesse et *al*., 2016 ; Guo et *al*., 2017). Ces travaux proposent une représentation graphique de la structure du réseau de voirie, permettant ainsi de l'étudier quantitativement et le plus simplement possible. Le graphe[1] est une modélisation schématique

[1] La théorie des graphes débute avec les travaux de Leonhard Euler en 1736. Elle trouve donc ses origines dans l'étude des ponts de la ville de Königsberg (Kaliningrad actuel), notamment la possibilité de parcourir les sept ponts du fleuve de la Pregel une seule fois en revenant au point de départ (L'Homme, 2012). Depuis, différents domaines, notamment l'ingénierie, l'électronique, les sciences sociales comme la géographie, la sociologie, l'aménagement urbain et les transports ont appliqué la théorie des graphes pour la modélisation des réseaux. Ceci permet de les analyser à l'aide de calculs mathématiques (Mathis, 2003 ; Porta et *al*., 2006 ; Louf et Barthelemy, 2014 ; Hamaina et *al*., 2012 ; Marshall, 2016). Les travaux qui portent sur les réseaux de transports en les modélisant sous forme de graphes débutent dans les années 1960. Comme l'indique Mathis (2003, p. 38), la modélisation des réseaux par les graphes est un moyen *« relativement récent pour un besoin ancien »* qui apporte une représentation d'un ensemble de chemins ou de routes.

et simplifiée des réseaux (L'Homme, 2012). La représentation graphique d'un réseau par un modèle[1] abstrait et simplifié permet d'analyser ses composantes (les segments de rues et leurs intersections ; Hamaina et *al*., 2012 ; Lagesse et *al*., 2012 ; Marshall et *al*., 2018). Un graphe se définit mathématiquement par un ensemble de points appelés sommets (nœuds), qui représentent des éléments ponctuels du réseau comme les intersections. Ils sont reliés par des lignes (arcs/arêtes) qui se rapportent aux données de l'axe de la route, aux lignes axiales ou aux segments de route qui relient les sommets (Pumain, 2004 ; L'Homme, 2012 ; Marshall, 2005, 2016, 2018 ; Victor, 2016). Ainsi, premièrement, la théorie des graphes s'appuie essentiellement sur l'existence des relations entre ces sommets. Deuxièmement, un graphe diminue la complexité du réseau et facilite sa compréhension et son interprétation. Cette représentation du réseau est parfois accompagnée d'un tableau ou d'une matrice associée à un graphe (Pumain et Saint-Julien, 2004).

Une des méthodes de modélisation du réseau de voirie à partir des graphes est la **Syntaxe spatiale** qui permet d'analyser quantitativement certains attributs topologiques de la configuration du réseau de voirie. Ainsi, par la suite, nous présentons la Syntaxe spatiale, en tant que modèle qui permet de prédire le mouvement des flux piétons et, aussi, de modéliser la structure du réseau d'espaces (le réseau de voirie).

Approche	**Fonctionnelle** Modélisation du réseau de voirie à partir de la hiérarchisation et du niveau d'importance fonctionnelle des voies	**Structurelle** Modélisation du réseau de voirie selon ses caractéristiques géométriques ou topologiques
Type de modélisation	Qualitatives ou Quantitatives	Qualitatives ou Quantitatives
Indicateurs	Volume théorique ou empirique du trafic, vitesse autorisée des moyens de déplacement, largeur de la chaussée, nombre de voies automobiles, etc.	Disposition et connectivité des rues, typologie des tracés physiques des rues, géométrie des îlots, aspect géométrique ou topologique du réseau
Exemples	Hiérarchisation conventionnelle macro et micro des voies, classification classique du réseau de voirie	Application de la théorie des graphes, la **Syntaxe spatiale**

Tableau 3. Récapitulatif des approches de modélisation du réseau de voirie urbain, d'après la revue de la littérature

[1] Un modèle est une abstraction des composantes et des propriétés jugées pertinentes du réseau de voirie (Marshall et *al*., 2018).

4-3- La Syntaxe spatiale : la modélisation du réseau de voirie et l'orientation des piétons dans l'espace

Dans 4-1-5 et 4-2-3 nous mentionnons que la Syntaxe spatiale permet de modéliser à la fois la configuration du réseau de voirie (en suivant une approche structurelle) et le comportement des individus (à partir d'une percepective macroscopique quantitative). En effet, pour la première fois, Hillier et Hanson (1984) du département d'urbanisme et d'architecture de l'Université du Collège de Londres (UCL/ University College London) inventent la Syntaxe spatiale dans leur livre intitulé « *The Social Logic of Space* ». Dans ce livre, ils présentent un ensemble de cadres, méthodologique, théorique et technique, afin de montrer la logique sociale de l'espace. Ils supposent que la configuration de l'espace affecte le comportement humain, notamment le déplacement des piétons. De même, ils mettent en avant l'idée de l'existence d'une interaction entre l'espace et la société (Hamaina et *al*., 2012 ; Guo et *al*., 2017). Cette idée confirme en partie tous ce qui est décrit dans le chapitre I à propos du processus d'orientation des piétons dans l'espace. Nous y montrons que pendant son déplacement, le piéton interagit de manière constante avec l'environnement, par le biais d'opérations physiques (son système sensoriel ainsi que sa locomotion) et de ses capacités mentales (la réception et le traitement des informations et ses représentations cognitives de l'espace).

C'est ainsi que d'après Hillier et Hanson (1984, 1997), la Syntaxe spatiale est à la fois un concept et une méthode analytique développés principalement dans les domaines du design urbain et de l'architecture pour comprendre la logique morphologique et le fonctionnement de l'espace. En effet, Hillier et Hanson (1984) et Hillier (1996) appliquent la théorie des graphes à partir de mesures topologiques et quantitative de l'espace, ce qui permet de modéliser la structure de l'espace, d'une part, et de simuler le comportement des piétons, d'autre part. Nous présentons maintenant la Syntaxe spatiale et la façon dont elle permet d'analyser l'espace en lien avec les perceptions des individus.

4-3-1- Les principes de la Syntaxe spatiale

La Syntaxe spatiale repose sur un certain nombre de principes. À partir de ces postulats, nous présentons un ensemble de techniques afin d'évaluer quantitativement les attributs topologiques de la structure de l'espace en rapport avec les perceptions que les personnes ont

de la structure de l'espace durant leur déplacement (à pied). Ainsi, il nous semble important d'évoquer les principes sur lesquels repose la Syntaxe spatiale.

Premièrement, la structure de l'espace est modélisée sous la forme d'un graphe : selon Hillier et *al*. (1987, p. 363) la Syntaxe spatiale est : « *un ensemble de techniques pour la représentation, la quantification et l'interprétation de la configuration spatiale dans les bâtiments et les zones urbaines* ». Elle permet de quantifier les caractéristiques de la structure spatiale à plusieurs échelles : à l'échelle macro comme une agglomération, une ville ou un quartier et à l'échelle micro comme les bâtiments (Hillier et Hanson, 1984 ; Hillier et Vaughan, 2007). La Syntaxe spatiale s'effectue sous la forme d'un graphe. Elle modélise les réseaux d'espace (les espaces ouverts, les rues, les places, les chemins piétonniers et les parcs, ou même les réseaux d'espaces à l'intérieur des bâtiments). (Peponis et *al*., 1990 ; Koohsari et *al*., 2014). Comme l'ont précisé L'Homme (2012) et Porta et *al*. (2006) dans l'objectif de modéliser la structure de l'espace sous la forme d'un graphe, la Syntaxe spatiale applique l'**approche duale** dans laquelle les espaces (par exemple les tronçons de rue) sont définis comme des nœuds et les connexions entre les espaces (par exemple les intersections) comme des arcs. Précisons qu'en général, le réseau de voirie a la particularité de pouvoir être représenté par différentes approches modélisatrices de graphes, y compris les graphes planaire, dual, direct, etc. (Marshall, 2016 ; Barthélemy et Flammini, 2008). Par exemple, le **graphe planaire** est défini par Mathis (2003), L'Homme (2012) et Barthélemy et Flammini (2008) comme un graphe dans lequel les sommets (nœuds) correspondent à des points distincts et dont les liens ne se croisent qu'à leurs extrémités. Dans la modélisation des réseaux selon l'approche du **graphe direct**, les intersections constituent les nœuds du graphe et les segments de rues correspondent aux arcs (liens) du graphe (Hamaina et *al*., 2012 ; Porta et *al*., 2006 ; Lagesse et *al*., 2016). Ainsi, le graphe direct permet de mesurer les distances géographique et métrique (Mathis, 2003 ; Pumain, 2004 ; Porta et *al*., 2006 ; Hamaina et *al*., 2012 ; Lagesse et *al*., 2012 ; Jguirim, 2016). Dès lors, cette représentation a l'avantage de préserver la dimension géométrique du réseau et elle donne la possibilité de pondérer les arcs par différents critères, comme le coût des transports, la distance (métrique ou temporelle), etc. (Porta et *al*., 2006). En revanche, un **graphe dual** se construit inversement à un graphe direct : les liens (les rues) sont représentés par des nœuds du graphe et les intersections sont représentées comme les liens (arcs) du graphe. Ainsi, quelle que soit la longueur des rues, elles sont représentées par un simple point. Dans les images suivantes, nous constatons la différence entre le graphe direct et le graphe dual d'un même réseau de voirie.

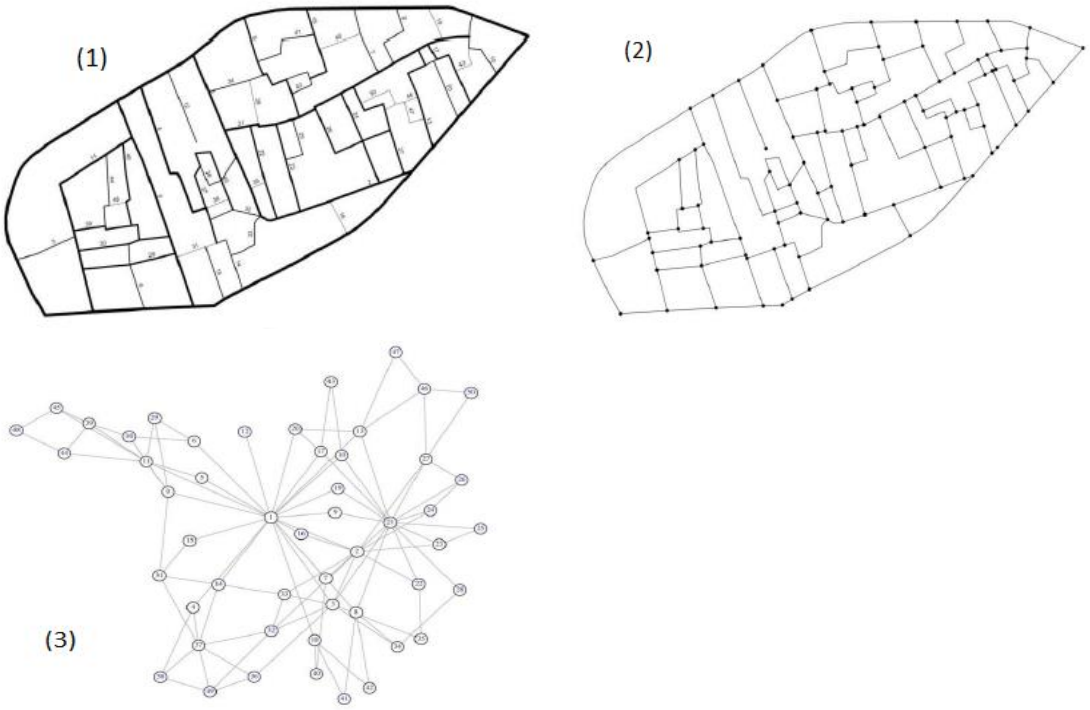

Figure 9. Exemple de graphe direct (2) et dual (3) à partir d'un plan (1)

Schéma (1) : le réseau de voirie d'un quartier
Schéma (2) : le graphe direct correspondant au réseau de voirie de la schéma (1). Il préserve la dimension géométrique du réseau. Les arcs représentent les rues et les nœuds représentent les intersections.
Schéma (3) : le graphe dual correspondant au réseau de voirie de schéma (1). Les rues sont représentées par des nœuds et les intersections par des arcs.
D'après Hamaina et *al*. (2012)

Deuxièmement, l'espace comprend un ensemble de composants interconnectés : la Syntaxe spatiale conceptualise l'espace comme un système composé d'éléments interconnectés. Ces éléments sont configurés entre eux, c'est-à-dire qu'il existe des relations interdépendantes entre eux. La Syntaxe spatiale essaye donc de décrire et de modéliser ces interrelations. L'espace est ainsi un système relationnel dans lequel les connexions entre les éléments sont plus importantes que les propriétés des espaces étudiés individuellement (Hillier et Hanson, 1984 ; Hillier et Vaughan, 2007 ; Guo, 2017).

Troisièmement, les interrelations entre les composants de l'espace sont topologiques : la Syntaxe spatiale est fondée sur l'idée que le système interrelationnel entre les éléments de l'espace est topologique. Comme l'indique le premier principe, afin d'analyser le réseau d'espaces, la Syntaxe spatiale le modélise sous la forme d'un graphe dual. Ainsi, l'analyse géométrique du réseau donne toute sa place à son analyse topologique (Lagesse et *al*., 2016 ; L'Homme, 2012 ; Porta et *al*., 2006). Ceci exclut donc les facteurs métriques comme la taille

de l'espace, la longueur des voies ou la distance entre les éléments de la structure de l'espace (Koohsari et *al*., 2014, 2016). Précisons que, sur ce graphe, la distance topologique se définit comme la somme du nombre d'arcs entre deux nœuds (Huriot et Perreur, 1990 ; Marshall, 2007). Ainsi, dans la Syntaxe spatiale, les facteurs comme les connexions entre les espaces/voies sont les facteurs les plus importants pour l'étude des caractéristiques des réseaux d'espaces (Hillier, 1996 ; Foltête, 2007 ; Lagesse et *al*., 2012). Dès lors, la Syntaxe spatiale offre un ensemble d'indices topologiques quantitatifs, lesquels permettent de mesurer la structure des réseaux d'espaces[1].

Quatrièmement, les individus se déplacent en fonction de leur perception de la dimension topologique de l'espace : la Syntaxe spatiale repose sur l'importance de l'impact de la dimension topologique de la structure de l'espace sur les comportements humains (Rejeb-Bouzgarrou, 2019). En effet, Hillier et Iida (2005) argumentent que les individus perçoivent les espaces urbains et qu'ils y naviguent en fonction de dimensions topologiques plutôt que métriques. Lors des déplacements des individus, leurs perceptions sont influencées par les propriétés topologiques de la structure de l'espace. De ce fait, la Syntaxe spatiale utilise des éléments topologiques comme le nombre de changements de direction lors du déplacement, le nombre d'espaces directement liés à chacun des composants de l'espace, etc., pour expliciter le comportement des individus, plus particulièrement l'orientation des piétons dans l'espace.

Cinquièmement, l'individu et l'espace sont en interaction : selon la Syntaxe spatiale, il existe une interaction entre l'individu et l'espace où les individus se rencontrent, interagissent et effectuent leurs transactions économiques et sociales (Hillier et Vaughan 2007 ; Hillier 2007). La Syntaxe spatiale repose sur le postulat selon lequel la structure de l'espace, notamment sa morphologie, est le générateur principal des interactions sociales. Ainsi, la morphologie de l'espace a des effets sur l'intensité de la fréquentation des espaces et, sur l'interaction entre les personnes (la coprésence) qui en découle (Space syntaxe, 2006). En effet, la Syntaxe spatiale implique que la structure spatiale, plus précisément le système interrelationnel entre les éléments de l'espace, influence largement les comportements humains en milieu urbain, plus particulièrement la répartition des personnes dans l'espace (Hillier et *al*., 1993 ; Hillier, 1996 ; Jiang et *al*. 2000 ; Raford et Ragland, 2006 ; Rejeb-Bouzgarrou, 2019). Par conséquent, ceci influence la répartition des activités et l'occupation

[1] Nous les préciserons dans la sous-section 4-3-4.

des sols (Hillier et *al*., 1993 ; Hillier, 1996 ; Raford et Ragland, 2006). De même, la Syntaxe spatiale s'applique particulièrement à des modèles de mouvement de flux des piétons dans le réseau d'espaces.

4-3-2- La configuration du réseau dans la Syntaxe spatiale

La Syntaxe spatiale se fonde sur l'idée que la manière dont les composants de l'espace sont utilisés par les personnes ne dépend pas des propriétés de ces composants ni des caractéristiques individuelles (Hillier et Hanson 1984 ; Hiller et *al*. 1987 ; Hillier 1996 ; Rejeb-Bouzgarrou, 2019). Ces auteurs précisent que les composants de l'espace s'influencent mutuellement et que, ainsi, l'utilisation de l'espace par l'individu repose sur des relations complexes entre chacun des composants. L'ensemble de ces éléments est appelée configuration de l'espace. Ainsi, la configuration, telle qu'elle est définie par Hillier (1996) dans son livre intitulé « *Space is the machine* », est un ensemble de relations complexes et interdépendantes entre les éléments de l'espace (les sous-espaces). Dans la syntaxe spatiale, la configuration décrit donc un ensemble de relations et d'interactions simultanées entre les différents éléments de l'espace (Hillier et Vaughan, 2007), ne se limitant pas à une relation simple entre seulement deux éléments spatiaux (Rejeb-Bouzgarrou, 2019). En effet, la configuration correspond au degré de relations qu'un système spatial permet *entre* et *par* ses éléments. Elle se définit comme « *les relations entre espaces dans un complexe prenant en compte tous les autres espaces dans le complexe* » (Hillier et *al*., 1987, p. 363).

En ce qui concerne l'environnement urbain, tous les espaces ouverts publics, y compris les rues, constituent des composants de l'espace. Ainsi, selon la Syntaxe spatiale, la configuration du réseau de voirie renvoie à l'ensemble des relations complexes et interdépendantes entre les segments de rues. Il s'agit donc de l'accessibilité fournie par l'ensemble du réseau, c'est-à-dire de la façon dont les rues sont connectées entre elles au sein du réseau (Lamiquiz et López-Dominguez, 2015).

Dans la Syntaxe spatiale, l'utilisation des sols n'a aucun impact sur la configuration du réseau de voirie (Lamiquiz et López-Dominguez, 2015). En outre, c'est la configuration du réseau qui est considérée comme le « *générateur primaire de mouvement piétonnier* » (Hillier et *al*., 1993, p.31). En effet, elle produit un effet direct sur le mouvement des piétons, et cela indépendamment d'autres variables environnementales telles que l'utilisation du sol (Koohsari et *al*., 2014). En effet, la conception principale de la Syntaxe spatiale repose sur le

lien entre la configuration du réseau de voirie et la répartition des flux de déplacement sur le réseau. Autrement dit, la configuration du réseau de voirie est considérée comme étant étroitement liée à la quantité de mouvement des piétons/la répartition des flux du trafic dans le réseau de voirie (Lamiquiz et López-Dominguez, 2015).

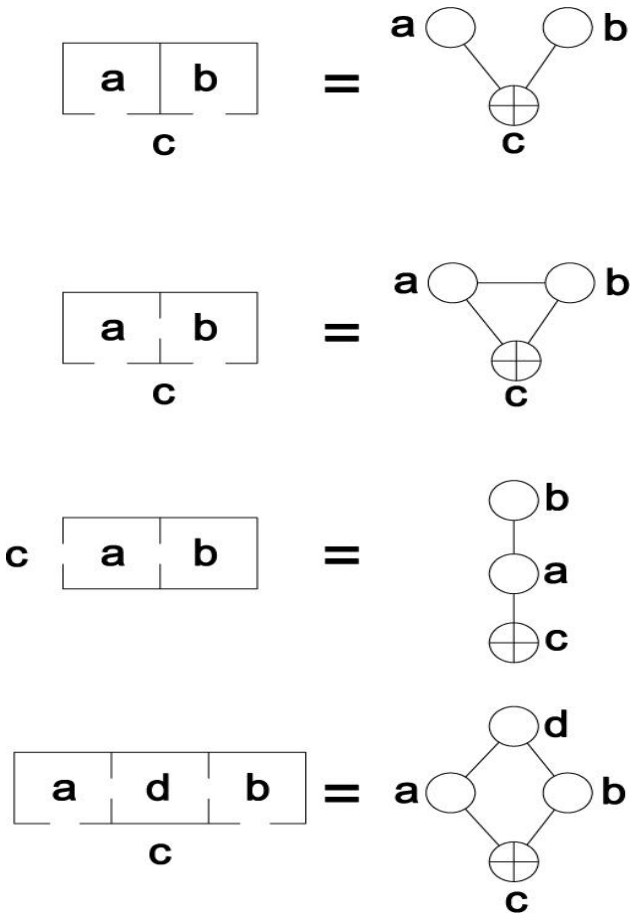

Figure 10. Différents exemples de la configuration d'un bâtiment et les graphes duaux qui correspondent à la connectivité de ces espaces.

Dans chacune de ces figures, nous constatons la manière dont les espaces sont connectés les uns aux autres. Nous observons que, pour la plupart, il n'existe pas de connexion directe (Hillier, 1996, page 71).

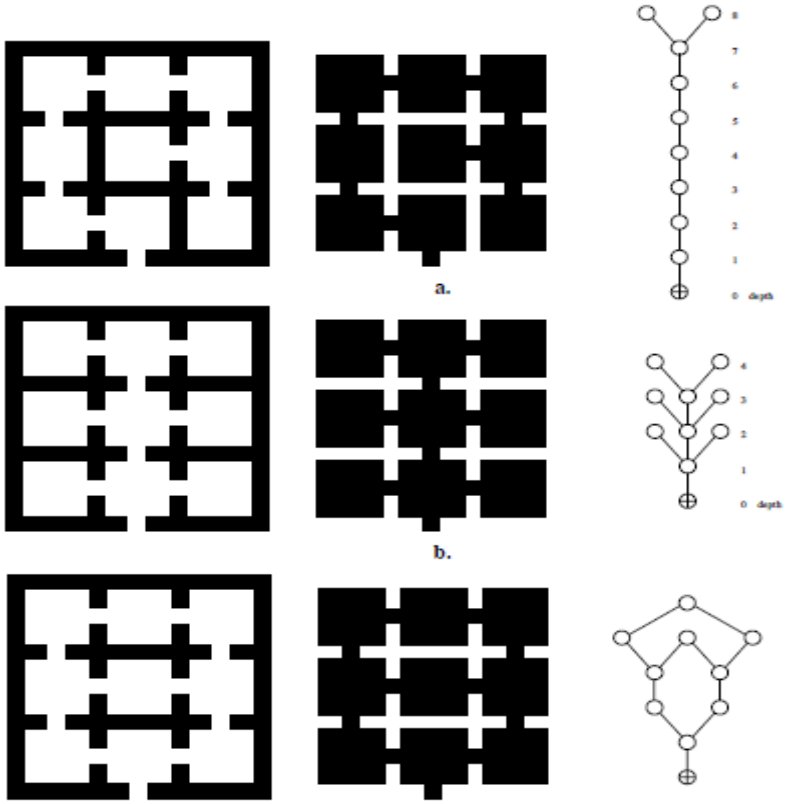

Figure 11. Différents exemples de la configuration des réseaux d'espaces d'un bâtiment et les graphes duaux qui leur correspondent
Source : Hillier, 1996, page 21

Dans ces graphes, chaque pièce représente un espace et donc un nœud sur le graphe. Ceci permet de voir comment chaque espace est relié à ses voisins immédiats et comment ils sont interconnectés entre eux.

4-3-3- L'espace et la distance dans la Syntaxe spatiale : la construction de la carte axiale

La Syntaxe spatiale a pour particularité d'appliquer une technique spécifique pour la modélisation et l'analyse de la disposition du réseau d'espaces[1], mais pas directement en fonction des espaces tels qu'ils sont. En effet, chaque espace concave doit être divisé en un plus petit nombre possible d'« **espaces convexes** ». Il s'agit d'un espace convexe dont toutes ses extensions bidimensionnelles sont visibles depuis chacun de ses points (Farr et *al*., 2012). Ensuite, tout espace convexe doit être résumé en « la plus longue ligne droite » et être visible depuis chacun de ses points (des champs de vision potentiels de l'espace) Rejeb-Bouzgarrou, 2019). Cette ligne est nommée la « **ligne axiale** » et elle correspond à la perspective

[1] Nous rappelons que concernant le réseau de voirie, ceci correspond à tous les espaces ouverts publics, y compris les rues.

perceptible à un moment donné par une personne (Hillier et *al*., 1984 ; Peponis et *al*., 1990). Ainsi, l'ensemble de la disposition des espaces est décomposé en espaces convexes constitutifs. L'ensemble de ces espaces convexes représente une « **carte convexe »** (Farr et *al*., 2012).

L'ensemble des lignes axiales représente la « **carte axiale »**. De même, la carte axiale correspond au réseau de lignes visuelles les plus longues et les plus droites, reliant tous les espaces ouverts d'un système spatial (Hillier et *al*., 1984 ; Hillier et *al*., 1987). Dans la carte axiale, il est possible qu'une seule ligne axiale corresponde à plusieurs tronçons de rues, mais il est également possible qu'inversement, plusieurs lignes axiales soient nécessaires pour modéliser une seule rue. Ainsi, les différents tronçons de rues qui sont alignées sont perçus comme une ligne axiale (ligne de vue) par l'individu, alors qu'une rue en forme de courbe est perçue par plusieurs lignes axiales successives. Par ailleurs, via la carte axiale, la morphologie spatiale est réduite à la topologie spatiale, se concentrant sur la manière dont les espaces sont visuellement reliés entre eux. La Syntaxe spatiale s'appuie donc sur une analyse à la fois topologique et visuelle des espaces (Koohsari et *al*., 2014 ; Lerman et Omer, 2016 ; Sharmin et Kamruzzaman, 2017).

Concernant le réseau de voirie, le réseau de rues et tous les espaces ouverts sont modélisés sous forme de lignes axiales qui représentent les lignes les plus longues du champ de visibilité des espaces convexes que perçoit l'individu successivement au cours de son déplacement (Hillier, 1999 ; Hillier 2007 ; Jiang et *al*., 2000; Koohsari et *al*., 2014, 2016 ; Sharmin et Kamruzzaman, 2017). Il s'agit donc des lignes de vue lors de la locomotion de l'individu dans l'espace. Ces lignes de vue orientent la personne dans ses mouvements (Space syntaxe, 2006). Ainsi, il est possible de décrire chaque trajectoire comme une succession de champs de vue que la personne en déplacement perçoit et qui correspondent aux changements de direction du trajet (Space syntaxe, 2006). La notion de ligne axiale « *introduit un facteur perceptuel, postulant que les choix d'itinéraires obéissent à une préférence pour les axes de continuité visuelle, au détriment de la minimisation de la distance métrique…* » (Genre-Grandpierre et *al*., 2008, p. 10).

La carte axiale constitue la base de la technique de modélisation de la Syntaxe spatiale à partir de laquelle nous pouvons estimer quantitativement le potentiel de la distribution des mouvements et des activités dans le réseau de voirie (Space syntax, 2006 ; Rejeb-Bouzgarrou, 2019). La carte axiale simplifie la réalité spatiale complexe en la représentant en deux dimensions, telle qu'elle est perçue par les personnes, sous forme d'un modèle que les

logiciels sont capables d'analyser et d'interpréter (Space syntax, 2006 ; Rejeb-Bouzgarrou, 2019). De même, la carte axiale matérialise les perceptions et elle découpe la ville en lignes de vue indépendantes de l'unité spatiale de l'espace (Lagesse et *al.*, 2010).

Précisons que dans le cadre de cette technique de modélisation des espaces, la distance prend une connotation topologique, dans laquelle l'unité de mesure du « chemin le plus court » entre deux points n'est pas métrique, comme l'ont souligné Sharmin et Kamruzzaman (2017). Il s'agit de la distance topologique, qui correspond à la visibilité des espaces et donc au nombre de lignes axiales (champs de vue) qui sont nécessaires pour relier deux points donnés de la carte axiale (Hillier, 1996 ; Foltête, 2007 ; Lagesse et *al.*, 2012). Ainsi, la considération de la distance topologique constitue le pilier de la théorie de la Syntaxe spatiale. Elle met en évidence que la distance métrique n'est pas le seul facteur qui entre dans la sélection des choix d'itinéraires, mais que c'est aussi le cas de la distance topologique (Lamiquiz et López-Dominguez, 2015). Dès lors, dans la Syntaxe spatiale, la distance topologique la plus courte renvoie à un nombre minimum de changements de direction (lignes de vue) possibles entre deux points sur la carte axiale (Lagesse et *al.*, 2010 ; Lamiquiz et López-Dominguez, 2015), ce que Lagesse et *al.* (2010) ont également appelé l'itinéraire le plus « simple » ou bien le « moins complexe ». Ainsi, tous les tronçons de rues alignés et représentés par une même ligne axiale ont une distance topologique de 1 pas, indépendamment de la distance métrique qui les sépare. De même, une distance topologique de 3 pas signifie que la relation entre deux points dans l'espace passe par trois lignes axiales connectées (Piombini, 2006). Ainsi, la distance perçue par les individus dépend fortement de la morphologie du réseau de voirie et de sa configuration. Par exemple, les rues en forme de courbe semblent plus longues, car au moment de chaque virage (changement de direction) elles sont représentées par un nouveau champ de vue. Ceci est aussi valable pour les itinéraires qui exigent de parcourir plusieurs segments de rues comprenant de nombreux changement de direction et donc plusieurs séquences de champs de vues. Au contraire, des points très distants (au niveau métrique) étant sur la même ligne de vue, ils peuvent être considérés comme proches d'un point de vue topologique (Piombini, 2006). Selon Lamiquiz et López-Dominguez (2015) et Victor (2016), le choix de la distance topologique la plus courte renvoie premièrement, à la **linéarité**[1] (**rectitude**) du trajet et à l'importance qu'accordent les piétons à la linéarité/rectitude des itinéraires. Deuxièmement, le choix de la

[1] Straightness

distance topologique contribue à minimiser la quantité d'informations reçues et analysées lorsque la personne navigue dans les réseaux de voirie. À l'opposé, comme l'argumente Foltête (2007), un changement angulaire radical peut être perçu par les piétons comme une sorte de coût, alors que des changements de direction progressifs autorisent un alignement du trajet. Comme le précise Victor (2016), la question de la linéarité est envisageable à deux échelles : à l'échelle de l'ensemble du réseau de voirie ou bien à l'échelle du parcours entre l'origine et la destination du déplacement (linéarité du parcours). Ainsi, la linéarité à l'échelle du réseau de voirie repose sur la volonté de minimisation de la complexité topologique des tronçons de rues à parcourir. *A contrario*, la linéarité à l'échelle d'un parcours correspond à la préférence des piétons pour des itinéraires plus rectilignes et incluant le moins de changements angulaires possibles au cours du trajet. Ces deux échelles de linéarité (du réseau et du trajet) sont donc en accord avec l'hypothèse de la minimisation du changement de direction comme concept de la Syntaxe spatiale. Précisons également que dans certains travaux sur la Syntaxe spatiale (pour ce qui est du changement de direction), l'angle entre les lignes de vue (les lignes axiales) a aussi été pris en considération. Ceci est appelé distance angulaire ou centralité angulaire (Hillier et Vaughan, 2007 ; Guo et *al*., 2017 ; Serra et Hillier, 2019).

Dans le but d'analyser, à partir de la théorie des graphes, la manière dont un espace convexe ou une ligne axiale sont connectés à d'autres espaces ou lignes, la carte axiale doit être convertie en graphe (Hillier et *al*., 1984 ; Hillier et *al*., 1987 ; Peponis et *al*., 1990). Ainsi, il est possible de représenter et d'évaluer les relations configurationnelles entre les lignes axiales, à partir d'un ensemble de mesures quantitatives et topologiques (Space syntaxe, 2006). Plus précisément, cette représentation et cette évaluation se font sous la forme d'un graphe dual dans lequel les lignes de vue (chaque ligne axiale/chaque espace convexe) constituent des nœuds/sommets et chaque intersection entre les lignes axiales des liens/arêtes (Peponis et *al*., 1990 ; Genre-Grandpierre et *al*., 2008 ; Koohsari et *al*., 2014, 2016 ; Rejeb-Bouzgarrou, 2019). C'est un graphe qui contient seulement des lignes visuelles et leurs relations, sans aucune information sur la longueur des rues, les utilisations du sol, la population, etc. (Lamiquiz et López-Dominguez, 2015). À partir de ce graphe, plusieurs indices topologiques peuvent être mesurés pour chaque ligne axiale ainsi que pour l'ensemble du réseau d'espaces permettant d'évaluer l'accessibilité du réseau (Hillier, 1996 ; Genre-Grandpierre et *al*., 2008).

4-3-4- Les mesures d'accessibilité dans la Syntaxe spatiale

Un des grands avantages de la Syntaxe spatiale est qu'elle permet de mesurer les effets de la configuration des réseaux de voirie sur l'accessibilité des espaces (Raford et *al*., 2007). Dans cette théorie, la définition de l'accessibilité correspond à la façon dont les rues sont connectées entre elles (Hillier et Hanson, 1984 ; Hillier et *al*., 1993). La particularité de cette théorie est que l'accessibilité des réseaux (qui est un des éléments de la configuration) est assurée par la configuration même du réseau de voiries. De plus, l'accessibilité prime sur d'autres éléments de la configuration telles que les activités, les services et les fonctions urbaines (Lamiquiz et López-Dominguez, 2015).

Ainsi, l'analyse de l'accessibilité d'un réseau de voirie correspond à l'analyse de la relation topologique entre les lignes de vue (les lignes axiales) de la carte axiale. En effet, l'analyse de la relation topologique entre les lignes axiales repose sur un certain nombre d'indices du réseau de voirie (Hillier, 1996). Cette analyse évalue la centralité topologique[1] de chaque ligne à partir des mesures quantitatives d'accessibilité, telles que la connectivité, l'intégration, la profondeur et le choix, etc. (que nous présentons ci-après). Ces indices structurels de la Syntaxe spatiale indiquent comment une rue est à proximité topologique d'autres rues du réseau, et comment toutes les rues d'un réseau sont reliées entre elles (Koohsari et *al*., 2014, 2016). Selon cette théorie, le comportement des piétons est directement corrélé à ces mesures. Nous nous intéressons maintenant à la définition de chacune de ces mesures selon la théorie de la Syntaxe spatiale.

4-3-4-1- La connectivité

Une des mesures principales de la Syntaxe spatiale est la connectivité qui correspond à des interrelations de lignes axiales. Elle mesure plus précisément le nombre de lignes axiales directement connectées à chaque ligne donnée (Lamiquiz et López-Dominguez, 2015 ; Guo et *al*., 2016 ; Lerman et Omer, 2016). Il s'agit donc d'une mesure statique et locale qui représente le nombre d'autres lignes axiales ou d'espaces qui sont directement connectés à une ligne ou un espace donné (Farr et *al*., 2012). Il est également possible de dire que la connectivité mesure le nombre de rues ou d'espaces voisins immédiats qui sont directement reliés à une rue/un espace donnée (Hillier et Hanson, 1984). En effet, la connectivité fait

[1] Plus précisément, la centralité topologique de chaque ligne correspond à sa position topologique (autrement dit, sa distance topologique) par rapport à l'ensemble d'autres lignes.

référence à deux choses à la fois distinctes et liées. La première concerne la densité des connexions, c'est-à-dire le nombre d'intersections sur chaque ligne axiale. Il est possible de calculer ce nombre pour une superficie donnée telle qu'un quartier ou toute une ville. La seconde est qu'elle permet de déterminer le nombre d'itinéraires potentiels disponibles entre deux points d'un réseau (Koohsari et *al*., 2014, 2016). Un réseau dont la connectivité est faible ne met en relation les sommets que par un faible nombre de liens potentiels. Dans ce cas, la dépendance du réseau aux arcs individuels est forte. Et si on supprime un arc sur le réseau, de nombreuses liaisons potentielles entre les sommets disparaissent (Piombini, 2006). La connectivité élevée d'un réseau de voirie est favorable à la marche, puisqu'elle augmente la capacité d'un réseau à multiplier les possibilités d'itinéraires alternatifs, mais aussi d'itinéraires plus courts et plus simples entre les lieux (Victor, 2016). Elle joue aussi un rôle important dans l'intelligibilité des ensembles spatiaux complexes par la lisibilité de l'espace (Rejeb-Bouzgarrou, 2019). L'importance de cette mesure est qu'une connectivité élevée non seulement encourage le déplacement pédestre dans des contextes urbains quelle que soit l'échelle spatiale, mais qu'elle peut également encourager à long terme les activités et les interactions sociales (Peponis et *al*., 1997).

4-3-4-2- L'intégration spatiale et la profondeur

Une autre mesure importante de la Syntaxe spatiale qui permet d'évaluer et de quantifier la structure du réseau d'espaces est l'indice d'intégration (Hillier et *al*., 1993 ; Hillier, 1996 ; Lerman et *al*., 2014 ; Koohsari et *al*., 2016 ; Sharmin et Kamruzzaman, 2017). Cette mesure est fondée sur les interrelations des lignes axiales et elle permet de mesurer la position relative d'une ligne aux autres lignes de la carte axiale. L'indice d'intégration spatiale mesure donc la facilité à atteindre un espace/une ligne axiale donné depuis l'ensemble des autres espaces/lignes axiales (Bouzgarrou, 2019). Ainsi, il permet de mesurer le degré de la centralité topologique de cet espace/de cette ligne dans le réseau d'espaces et sa proximité par rapport aux autres espaces.

Précisons néanmoins que dans la Syntaxe spatiale, la proximité ne repose pas sur une distance métrique, mais sur une distance topologique. L'indice d'intégration spatiale correspond donc à une description relative, qu'on obtient à partir du calcul de la distance topologique moyenne d'une ligne axiale à toutes les autres lignes de la carte axiale (Lerman et

al., 2014 ; Lerman et Omer, 2016). Cette distance topologique est appelée la « profondeur [1]», et elle détermine le nombre d'espaces/d'étapes ou bien le nombre de pas (nombre de changements de direction) qui séparent deux espaces donnés (Farr et *al*., 2012). Elle s'obtient donc par le calcul de la somme des connexions (ou le nombre de changements de direction) qui doivent être parcourues à partir d'un espace (nœud) donné à tous les autres espaces (nœuds) du graphe auquel il appartient (Guo et *al*., 2016 ; Koohsari et *al*., 2014, 2016). La profondeur globale d'un système se calcule à partir de la moyenne des valeurs de profondeur de toutes les lignes d'une carte axiale, divisée par le nombre de lignes (Hillier et Hanson, 1984 ; Ratti, 2004). De même, chaque changement de direction est compté comme un pas de profondeur supplémentaire (Lerman et Omer, 2016).

Ainsi, atteindre les espaces ayant des valeurs de profondeurs élevées exige de passer par plusieurs espaces intermédiaires. Ceci représente une distance topologique longue d'un espace à l'ensemble des systèmes. Par conséquent, un espace ayant une distance topologique (profondeur) élevée est relativement séparé du système. Il est donc moins intégré au reste du système (Vaughan, 2007). Au contraire, un espace peu profond exige seulement quelques lignes intermédiaires (changements de direction) à franchir pour atteindre les autres espaces de l'ensemble du systèmes (Farr et *al*., 2012). De ce fait, moins la position topologique d'un espace dans l'ensemble des systèmes est profonde, plus la valeur d'intégration de celle-ci est élevée (Koohsari et *al*., 2014). Ainsi, les lignes les plus intégrées sont en moyenne les moins profondes et les plus isolées sont celles qui sont les plus profondes (Hillier et *al*., 1993). Plus précisément, chaque ligne axiale/espace possède une valeur d'intégration spatiale qui lui est propre (Rejeb-Bouzgarrou, 2019). Dès lors, la mesure d'intégration permet de quantifier jusqu'à quel point un espace donné est intégré ou ségrégué de l'ensemble des systèmes (Jiang et *al*., 2000 ; Rejeb-Bouzgarrou, 2019).

Précisons que l'intégration spatiale, comme tous les autres indices de la Syntaxe spatiale, peut être calculée au niveau (à l'échelle) global (en tenant compte de toute la carte axiale), au niveau intermédiaire ou bien au niveau local selon différents rayons de distance (topologiques) donnés :

- **La mesure d'intégration spatiale globale** (R_n) : elle correspond à l'intégration moyenne de chaque ligne donnée à l'ensemble des autres lignes de la carte axiale (Space syntax, 2006 ; Sharmin et Kamruzzaman, 2017). Elle

[1] Traduit de « depth » en anglais.

s'intéresse donc à l'ensemble du réseau et à sa globalité (Rejeb-Bouzgarrou, 2019) et elle offre des mesures de centralité topologique à l'ensemble du système (Lamiquiz et López-Dominguez, 2015).

– **La mesure d'intégration spatiale locale** : elle suit le même principe que l'intégration globale, tout en ajoutant une certaine sophistication à son calcul. Elle est mesurée par rapport à un rayon spécifique et beaucoup plus restreint que la mesure d'intégration globale (Lamiquiz et López-Dominguez, 2015). Elle est donc calculée sur la base d'une distance topologique (profondeur) prédéterminée. Par exemple, il est possible de mesurer le degré d'accessibilité d'un réseau à partir d'une profondeur de 5 (ou 5 changements de direction) de chaque ligne donnée (Sharmin et Kamruzzaman, 2017). De même, un indice d'intégration spatiale locale avec un rayon de 3 (R_3) d'une ligne donnée mesure son accessibilité à toutes les lignes axiales voisines qui sont situées à 3 lignes axiales de cette ligne ; ou bien à 2 changements de direction (2 pas) de cette ligne. Ainsi, cette dimension locale se limite à évaluer le lien de chaque ligne axiale/espace à son environnement immédiat et ses lignes/espaces voisines (Rejeb-Bouzgarrou, 2019). Ensuite, le calcul de la moyenne de l'intégration spatiale locale de toutes les lignes axiales permet d'évaluer cet indice pour l'ensemble de la carte axiale. Cette mesure est très favorable à l'analyse d'un réseau de voirie concernant les déplacements à petite échelle, notamment à la marche à pied et à l'accès aux activités locales (comme les commerces de proximité).

– **La mesure d'intégration spatiale intermédiaire** (R_r) : elle représente l'accessibilité de chaque ligne donnée par rapport aux autres lignes. Ainsi, cette mesure évalue la configuration du réseau à un échelle moyenne, c'est-à-dire un rayon topologique plus grand que celui de l'intégration spatiale locale (R_3), mais plus petit que celui de l'intégration spatiale globale (R_n). Précisons que ce rayon étant relatif, il n'est pas prédéterminé. Il est donc différent d'un réseau à l'autre. Plus précisément, il se détermine par rapport à l'intégration spatiale globale (R_n) de chaque réseau donné. En effet, ce rayon s'obtient à partir de la valeur d'intégration spatiale globale maximum calculée pour la carte axiale (valeur de la ligne axiale la plus intégrée). Ainsi, il est relatif à l'intégration spatiale globale (R_n) de chaque réseau donné. De même, il est possible que dans le réseau de

voirie de chaque ville, le rayon pour calculer l'indice de l'intégration spatiale intermédiaire (R_r) soit différent.

4-3-4-3- Le choix/l'intermédiarité[1]

La mesure de choix est un autre indice de la Syntaxe spatiale. Elle montre l'intermédiarité (betweenness) des lignes. L'indice de choix d'une ligne est essentiellement le nombre d'itinéraires les plus courts (topologiquement) qui passent par cette ligne particulière du réseau (Hillier, Iida, 2005 ; Lamiquiz et López-Dominguez, 2015). Cette mesure reflète la probabilité du passage des flux de mouvements par une ligne (Hillier et *al*., 1987 ; Hillier et Vaughan, 2007 ; Lerman et *al*., 2014 ; Lerman et Omer, 2016 ; Rejeb-Bouzgarrou, 2019). Ainsi, la valeur de l'indice de choix est plus grande pour les lignes qui se trouvent sur le chemin d'un plus grand nombre de trajets (Lerman et *al*., 2014). Autrement dit, une ligne ayant une valeur de choix élevée favorise le mouvement de passage (transitaire). Elle constitue donc un des segments d'un grand nombre de trajets, lesquels n'ont pas forcément les mêmes origines ou destinations. Par conséquent, ils relient de manière la plus simple possible les paires d'origine-destination variées. C'est pourquoi il est plus probable que soit choisi l'itinéraire le plus court, en passant par les lignes axiales qui possèdent un indice de « choix » plus grand (Sharmin et Kamruzzaman, 2017). Le travail empirique de Sharmin et Kamruzzaman (2017) confirme que l'indice de choix a un effet positif sur la promotion de la marche.

Nous rappelons que, comme toutes les autres mesures de la Syntaxe spatiale, l'indice de « choix » peut également être calculé au niveau local ou global (Lerman et Omer, 2016).

4-3-4-4- L'intelligibilité

L'une des autres mesures employées dans la Syntaxe spatiale est appelée intelligibilité. Elle est définie par Hillier et *al*. (1987), Hillier (1999) et Jiang et *al*. (2000) en tant que mesure qui correspond à la corrélation entre les variables locales (connectivité) et globales (intégration) de la configuration spatiale du réseau d'espaces. C'est par la mesure de l'intelligibilité que l'ensemble du réseau peut être déduit comme composant d'une partie du système. En effet, cette mesure met en corrélation l'indice de connectivité[2] de chaque ligne

[1] Betweenness en anglais

[2] Rappelons que la connectivité renvoie au nombre de connexions directes de chaque ligne donnée.

axiale donnée avec sa valeur moyenne de l'intégration spatiale globale (R_n)[1]. Ainsi, l'intelligibilité d'un réseau d'espaces est élevée lorsque les espaces bien connectés sont également fortement intégrés.

Cette corrélation s'exprime par le coefficient de détermination R^2 de la régression linéaire entre les valeurs de la connectivité et de l'intégration globale, étant dans un intervalle de 0 à 1. Plus ce coefficient est proche de 1, plus le réseau est intelligible. Une forte corrélation indique qu'une plus grande partie de la configuration globale de l'espace peut être directement déduite de ses connexions locales (Farr et *al*., 2012). En effet « *une structure spatiale est intelligible quand ce que l'on voit informe correctement sur ce que l'on ne voit pas* » (Space Syntax, 2006, p. 24). Cette mesure donne des informations au niveau local sur la structure globale du réseau (Hillier, 1996 ; Space Syntax, 2006). En effet, elle reflète la position de la ligne axiale (rue) que le piéton est en train de parcourir par rapport à l'ensemble du réseau de voirie (Lamiquiz et López-Dominguez, 2015). Par conséquent, au moment du déplacement à pied, l'intelligibilité peut faciliter l'orientation des piétons dans l'espace et simplifier la décision du choix de trajet vers la destination.

Lorsque l'intelligibilité d'un réseau est forte, cela signifie que le piéton parvient potentiellement à appréhender la disposition de l'ensemble du réseau à partir de chaque axe qu'il parcourt. Il peut donc être informé de sa position globale dans le réseau (Hillier, 1996). Cela signifie que dans un système où les lignes axiales ont à la fois une connectivité élevée au niveau local et une intégration spatiale élevée au niveau de l'ensemble du réseau, ce système est plus lisible et plus compréhensible depuis ses composants (Jiang et *al*., 2000). Par conséquent, cette lisibilité l'aide à trouver plus facilement son chemin vers sa destination.

[1] Rappelons que l'indice de l'intégration spatiale globale (R_n) mesure l'accessibilité d'une ligne axiale donnée à l'ensemble des autres lignes axiales du réseau.

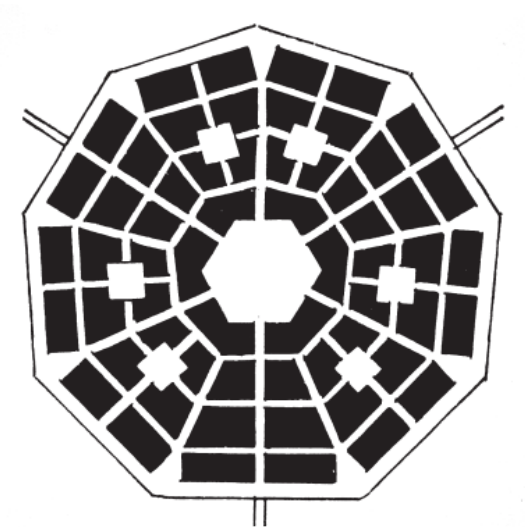

Figure 12. Exemple d'un réseau d'espaces intelligible

Nous pouvons constater que les réseaux de voirie ayant un niveau d'intelligibilité élevé sont caractérisés par la répétition de la forme du tracé urbain en alignement et en diagonale. Ainsi, le piéton, depuis chaque endroit qu'il occupe localement, peut être informé de sa position globale dans l'ensemble du réseau. Source : Hillier (1994, p. 186).



Figure 13. Exemple d'un réseau de voirie peu intelligible.

Dans cette structure, il est possible que les piétons soient obligés de changer souvent de direction, ce qui rend l'orientation plus difficile et augmente donc la probabilité de se perdre. Source : Hillier (1994, p.116).

4-3-4-5- Le mouvement Naturel

Dans la Syntaxe spatiale, la localisation des utilisations du sol est en partie opposée au paradigme majeur de la planification des transports qui s'appuie sur l'idée de gravitation de Alonso (1964). En effet, l'idée de gravitation repose sur l'hypothèse selon laquelle ce sont principalement les activités qui sont génératrices des déplacements. Alonso considère le centre-ville comme le lieu de confrontation des informations économiques (des offres et des

demandes) et l'endroit où tous les producteurs et les consommateurs cherchent à se retrouver (Claval, 2000). Les stratégies de localisation résidentielle dépendent également de la distance depuis ce centre et du coût de déplacement. Dès lors, selon cette idée, ce sont les occupations du sol qui suscitent les déplacements.

Au contraire, Hillier et *al*. (1993) et Hillier (1996, 1999, 2007, 2010) soutiennent que c'est la structure du réseau de voirie elle-même qui constitue le centre de gravité local et global et qu'une grande partie des modèles de mouvements piétonniers sont déterminés par les propriétés du réseau de voirie, plus précisément par son accessibilité configurationnelle. Ceci est appelé le Mouvement Naturel: « *This relationship between the structure of the urban grid and movement densities along lines can be called the principle of "natural movement* » (Hillier, 2007). Dans la théorie de la Syntaxe spatiale, la configuration spatiale du réseau de voirie a la capacité de moduler les schémas[1] de mouvement. Autrement dit, les relations topologiques entre les lignes axiales des rues produisent « naturellement » une certaine distribution de la fréquentation des flux de déplacement. Ceci se fait indépendamment de la localisation des activités : la morphologie spatiale et du réseau de voirie amène certaines rues à fonctionner comme des axes centraux de réseaux et donc à être les rues les plus fréquentées par les personnes. Dès qu'une rue attire plus de mouvements de déplacements (notamment des piétons), les occupations du sol tendent à se transformer : les utilisations commerciales et locales, en particulier, s'installent le long de cette rue (Hillier et *al*., 1993 ; Koohsari et *al*., 2016). Ainsi, les activités telles que les commerces de détail, les administrations, les activités culturelles, etc., se situent là où le flux de piétons est le plus important afin d'optimiser leurs emplacements. En effet, ces activités ont besoin de passants ainsi que d'être à proximité d'autres fonctions (Lamiquiz et López-Dominguez, 2015 ; Space syntaxe, 2006). De plus, il est possible que, de manière réciproque, les activités attirent plus de passants et créent plus de déplacements. Ceci contribue à augmenter et à renforcer l'attractivité des lieux ce qui attirent alors d'autres piétons et par conséquent crée une zone dynamique et favorable aux piétons et aux activités (Hillier, 1996, 2007 ; Space syntax, 2006 ; Lamiquiz et López-Dominguez, 2015). Ainsi, ce processus répond à l'économie du mouvement. Il repose donc sur la complémentarité et le renforcement mutuel entre forme et fonction, ce qui produit un effet multiplicateur sur le mouvement (Space syntaxe, 2006).

[1] Traduit de mot anglais de « patterns ».

Nous pouvons donc dire que, d'après cette théorie, la densité de l'occupation du sol dans les rues s'explique par la configuration du réseau de voirie : les rues à forte valeur d'intégration, en raison de leur position stratégique et de leur centralité topologique dans l'ensemble de la ville, ont tendance à concentrer plus d'activités (Hillier, 1996). En outre, les activités qui correspondent aux destinations de déplacements (notamment les activités commerciales) privilégient une localisation le long de rues plus intégrées, où elles sont plus fréquentées par les piétons (Hillier et *al.*, 1993). Victor (2016) évoque même que cela peut également contribuer à diminuer le degré de criminalité et la coprésence des espaces. Ceci, en quelque sorte, complète les suggestions de Jacobs (1961, 1980) qui considère que la présence des personnes et les activités urbaines dans les milieux urbains attirent plus de personnes du fait du sentiment de sécurité et de l'attractivité sociale ainsi produits. De ce fait, étant plus accessibles depuis d'autres rues, les rues les plus intégrées sont susceptibles d'attirer plus de piétons (Sharmin et Kamruzzaman, 2017), alors que les rues moins intégrées ne peuvent être atteintes aussi facilement - puisqu'elles nécessitent plusieurs changements de direction - et qu'elles attirent moins de piétons (Hillier, 2009 ; Peponis et *al.*, 1997). Ceci a pour conséquence une diminution de l'attractivité de ces lieux pour l'installation d'activités urbaines.

Dès lors, la morphologie spatiale détermine les patterns (schémas) de présences, c'est-à-dire que les espaces centraux correspondent par excellence aux lieux de coprésence des utilisateurs, au niveau local ainsi qu'au niveau global (Space syntaxe, 2006). Par conséquent, en appliquant le principe du Mouvement Naturel de la théorie de la Syntaxe spatiale, il devrait être possible d'identifier les localisations optimales pour les activités à vocation commerciale, notamment dans les quartiers nouvellement développés. Cette connaissance aidera les concepteurs urbains à identifier les opportunités potentielles de développement commercial dans les quartiers, de manière à favoriser et promouvoir la marche des résidents (Koohsari et *al.*, 2014).

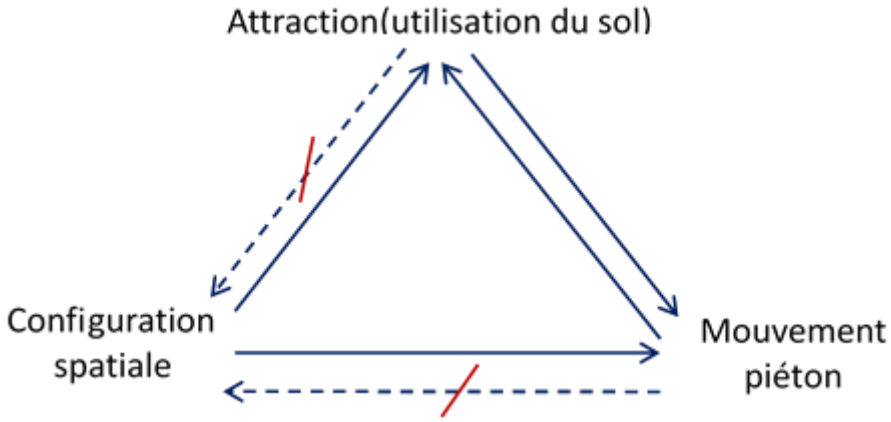

Figure 14. Schéma du « Mouvement Naturel »
Source : Hillier et *al*., 1993, p.31

Ce schéma montre les connexions entre la configuration spatiale, le mouvement des piétons et la localisation des fonctions urbaines selon la Syntaxe spatiale : l'attraction (utilisation du sol) et le mouvement des piétons peuvent s'influencer mutuellement, mais les deux autres relations sont asymétriques. Ainsi, la configuration du réseau de voirie peut influencer la localisation des attracteurs, mais la localisation des attracteurs ne peut pas influencer la configuration du réseau. De même, la configuration spatiale peut influencer le mouvement des piétons, mais le mouvement ne peut pas influencer la configuration du réseau de voirie.

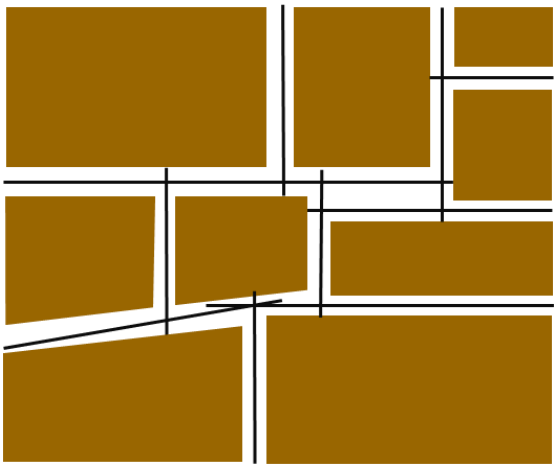

Figure 15. Exemple de plan d'îlots urbains d'un quartier imaginaire

Dans cet exemple les formes géométriques marrons correspondent aux îlots urbains. Les parties blanches constituent les espaces convexes, et les lignes noires représentent les lignes axiales (lignes de vues) associées aux espaces convexes.

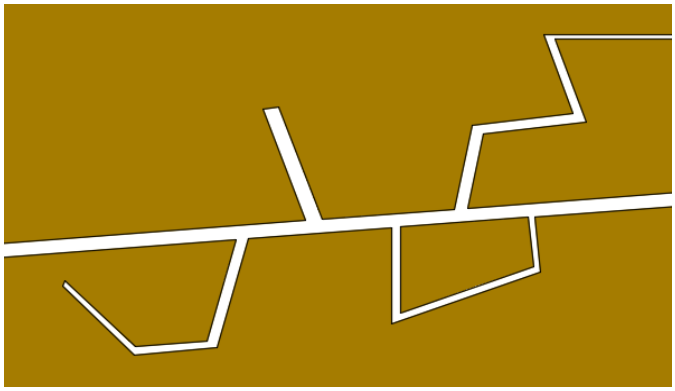

Figure 16. Exemple d'une partie de plan d'un quartier imaginaire
Source : inspiré de Koohsari et *al*., 2014

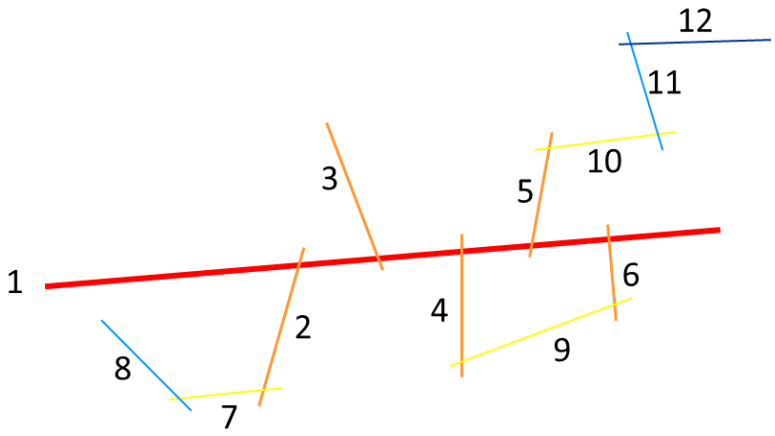

Figure 17. Carte axiale associée aux espaces ouverts et au réseau de voirie du plan précèdent

Chaque ligne axiale est numérotée de façon aléatoire pour pouvoir les distinguer par la suite. Les couleurs représentent les mesures d'intégration dans lesquelles les lignes les plus intégrées sont colorées en rouge, puis de manière décroissante en orange, jaune, vert, bleu et bleu foncé. En outre, les lignes plus épaisses représentent des espaces plus intégrés. (Source : inspiré de Koohsari et *al*., 2014)

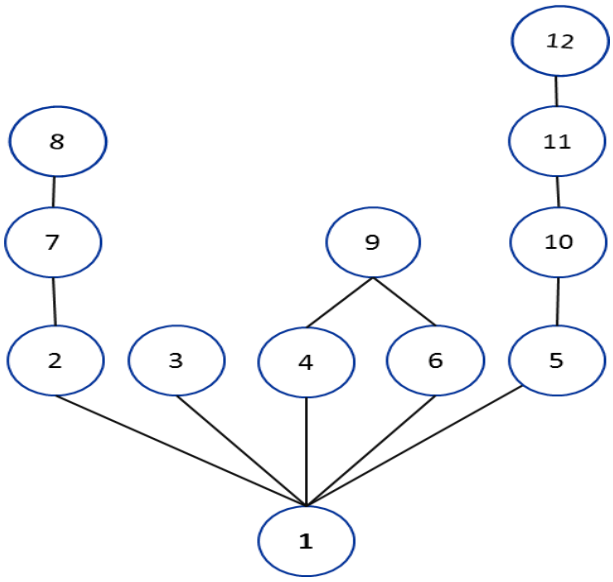

Figure 18. Graphe configurationnel

Le graphe dual de la configuration des lignes axiales de la carte précédente. Chaque nœud représente une ligne axiale. Nous retrouvons les nœuds correspondant à toutes les lignes en fonction de leur numérotation sur la carte axiale précédente. Par exemple, le nœud 1 dans ce graphe correspond à la ligne axiale numéro 1 de la figure précèdent. En outre, il est supposé ici que le nœud 1 est comme l'espace racinaire. C'est la raison pour laquelle nous avons représenté ce graphe à partir de ce nœud. (Source : inspiré de Koohsari et *al*., 2014)

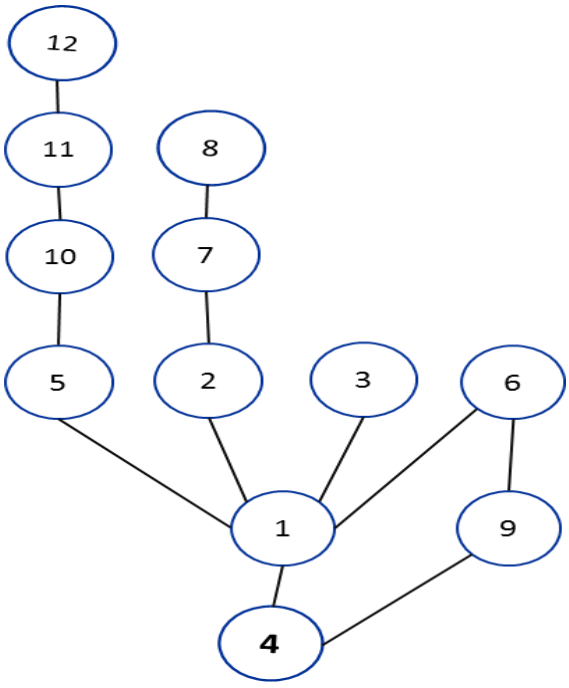

Figure 19. Autre exemple de graphe configurationnel

Dans celui-ci, la ligne axiale numéro 4 (représenté par le nœud 4) est considérée comme l'espace racinaire. (Source : inspiré de Koohsari et *al*., 2014)

4-3-5- Les domaines d'applications de la Syntaxe spatiale

La Syntaxe spatiale est utile dans de vastes domaines de la recherche sur l'environnement et sur le comportement humain (Vaez et *al*., 2016). Ainsi, de nombreux travaux à travers le monde appliquent cette théorie dans des domaines variés comme notamment l'évaluation de projets architecturaux et de projets urbains, l'analyse de la structure spatiale des quartiers et des villes, etc. À partir de notre revue de la littérature, nous avons identifié les domaines d'étude qui appliquent la Syntaxe spatiale. Ceux-ci sont présentés dans les sous-sections suivantes (4-3-5-1 à 4-3-5-4) qui clôturent ce chapitre.

4-3-5-1- La relation entre structure spatiale et ségrégation sociale

La plupart des études utilisent la théorie de la Syntaxe spatiale dans le but d'évaluer l'influence de la structure spatiale des milieux urbains sur le niveau socio-économique des habitants. Ces travaux étudient donc le lien entre la ségrégation spatiale des milieux urbains et la ségrégation socio-économique de leurs habitants. Un très grand nombre de ces recherches montrent que la configuration du réseau de voirie (à l'échelle du quartier ou de la ville) peut influencer les caractéristiques économiques et sociales des habitants de ces milieux (la ségrégation sociale) puisqu'elle détermine l'accès des personnes à l'environnement urbain (Vaughan 1994, 1999 ; Hillier et *al*., 2000 ; Vaughan et *al*., 2005 ; Hillier et Vaughan, 2007 ; Marcus, 2007 ; Mohamed et *al*., 2013). Ainsi Vaughan (1994, 1999) s'intéresse au lien entre la forme spatiale (plus précisément la configuration du réseau de voirie des quartiers) et la localisation des populations juives issues de l'immigration à Manchester, Leeds et Londres. Elle applique la théorie de la Syntaxe spatiale en utilisant plusieurs corpus de données de ces quartiers, corpus qui ont été collectés antérieurement. Cette recherche montre qu'il existe une relation particulière entre le modèle de la répartition des groupes d'immigrants selon la durée de leur séjour dans le pays, leur statut économique, leurs structures familiales et la configuration des voiries. Elle révèle que la ségrégation spatiale des quartiers causée par la configuration du réseau de voirie entraîne la ségrégation sociale et la privation de sources d'emploi dans ces quartiers. Ceci rend la population de ces quartiers plus susceptibles d'être pauvres. Ultérieurement, dans le même but que le travail précédent, Vaughan et *al*. (2005) utilisent cette méthode pour étudier la relation entre la ségrégation spatiale due à la configuration du réseau de voirie et la marginalisation socio-économique (pauvreté) dans l'environnement urbain d'une zone à l'Est de Londres. En effet, cette zone est, depuis 200 ans, habitée par des familles pauvres, notamment des familles issues de l'immigration. Ce

travail confirme d'abord que l'espace peut être lui-même considéré comme un facteur favorisant la pauvreté et, deuxièmement, il souligne l'importance et le rôle de la configuration du réseau sur la vie socio-économique des habitants. C'est également les résultats des travaux de Mohamed et *al*. (2013) sur les quartiers informels de la ville du Caire en Égypte. Il trouve une corrélation forte entre certaines variables sociales, comme le taux d'alphabétisation et le crime, et la configuration du réseau de voirie, notamment le taux d'intégration des rues. Ainsi, il souligne que lorsque les quartiers sont déconnectés de l'ensemble du réseau de voirie, en particulier de leurs artères principales, ses habitants sont séparés socio-économiquement du reste de la ville. Nous pensons que la ségrégation de la structure spatiale d'un quartier par rapport à la structure globale de la ville peut entraîner une diminution de l'accessibilité de ce quartier et, par conséquent, une baisse de la valeur foncière. Ceci peut attirer plus de familles en difficulté économique et sociale.

4-3-5-2- En architecture

L'application de la Syntaxe spatiale est également fréquente dans le domaine de l'architecture et de l'analyse configurationnelle des bâtiments tels que les résidences, les hôpitaux, les musées, etc. Nous pouvons citer le travail de Peponis et *al*. (1990) qui appliquent la Syntaxe spatiale pour étudier le lien entre la configuration de l'espace et la capacité des personnes à s'orienter dans l'espace d'un hôpital. De même, Pachilova et Sailer (2019) appliquent cette méthode pour étudier le lien entre la configuration spatiale des milieux hospitaliers et leur qualité de services. Ils s'intéressent plus précisément à l'influence de la configuration spatiale sur les interactions sociales entre les soignants et les malades, à l'interaction entre les soignants d'une même équipe, aux processus de soin et à la qualité du service dans six services hospitaliers de trois hôpitaux de Londres. Rolim et *al*. (2019), également, se concentrent sur l'analyse de l'influence de la disposition spatiale et du champ visuel sur le déplacement des visiteurs, dans les galeries des musées de Unlimited Growth et de Solomon R. Guggenheim. Ce travail met en lumière comment les configurations spatiales des musées promeuvent une expérience de visite différente. Saraiva et *al*. (2019) analysent les logements modernes et subventionnés par le ministère du logement du Bahreïn à l'aide de la Syntaxe spatiale. Une fois que ces logements sont mis à la disposition des familles, les habitants modifient les structures spatiales de ces habitations. Ainsi, cette étude cherche à comprendre la logique de ces modifications à partir de comparaisons de la configuration spatiale de ces logements avec celle des maisons traditionnelles. Cette recherche révèle que le motif principal des transformations effectuées renvoie aux changements de valeurs et de

normes dans la société contemporaine bahreïnienne. En effet, les modifications des logements modernes ne sont pas en adéquation avec les caractéristiques fondamentales structurelles de la maison traditionnelle qui reposent, quant à elles, sur les normes et les valeurs de la société. Par exemple, les caractéristiques telles que la séparation homme-femme, la flexibilité des espaces (la multi fonctionnalité des espaces) sont moins présentes dans les habitats modernes.

4-3-5-3-Dans les projets urbains

Dans le champ de la conception urbaine et de l'évaluation de certains projets d'aménagement, la Syntaxe spatiale a été considérée comme une méthode utile et efficace. Partant de l'idée de comparer les différentes propositions de conceptions urbaines pour les Jeux olympiques de Londres 2012, la Syntaxe spatiale permet d'évaluer la manière dont l'infrastructure créée pour les jeux est accessible depuis l'ensemble du contexte urbain (Koohsari et *al*., 2014). Toujours dans la même discipline, la région de Bruxelles-Capitale a effectué un diagnostic et des propositions de planification urbaine concernant les quartiers Européens (Space syntaxe, 2006). Cette étude cherche à analyser certains dysfonctionnements dans les interactions entre les différentes parties, anciennes et nouvelles, de la ville à l'aide de la méthode de la Syntaxe spatiale. Ce travail est considéré comme un accompagnement à l'élaboration du schéma directeur de la région dans le cadre des opérations d'aménagement et de planification. Il permet, tout d'abord, d'identifier les espaces structurants des quartiers, d'évaluer l'interaction entre les différents espaces et la centralité topologique des espaces, mais aussi d'analyser la structure spatiale de l'ensemble des quartiers. Les résultats de l'analyse de ces quartiers mettent en évidence que la fréquentation d'un quartier est dictée par le degré d'intégration globale de sa structure spatiale de son réseau de voirie. En revanche, la ségrégation du réseau de voirie des quartiers diminue la fréquentation journalière des personnes ainsi que les contraintes liées à la coprésence sociale des individus. Cette baisse de la fréquentation des piétons influence à son tour l'économie du quartier, parfois jusqu'à l'absence d'équipements tels que les commerces. Enfin, un autre exemple de l'application de cette méthode mérite également d'être évoqué. Il s'agit du projet d'aménagement et d'amélioration de l'espace public mené par Foster et ses collègues en 1997 dans le centre de Londres (entre Trafalgar Square et la place du Parlement), dans le but de diminuer la circulation automobile.

4-3-5-4- La thématique des déplacements à pied

Plusieurs recherches adoptent la méthode de la Syntaxe spatiale pour évaluer l'impact de la structure du réseau de voirie sur le déplacement à pied (Hillier et Hanson, 1984 ; Hillier et *al*., 1993 ; Genre-Grandpierre, 2001, 2008 ; Foltête, 2007 ; Lagesse et *al*., 2010 ; Lerman et *al*., 2014 ; Koohsari et *al*., 2014). Certaines études (Raford et Ragland, 2006 ; Lerman et *al*., 2014 ; Lerman et Omer, 2016 ; Guo, 2017) l'appliquent plus précisément pour la modélisation des flux de déplacements pédestres dans le réseau de voirie ainsi que pour la modélisation de la viabilité des commerces. En effet, ces auteurs supposent que la viabilité économique des commerces dépend en grande partie du nombre de piétons présents sur le réseau.

Dans l'idée d'évaluer les effets de la configuration du réseau de voirie sur le déplacement à pied, Sharmin et Kamruzzaman (2017) réalisent une méta-analyse des études publiées et non publiées qui s'étend sur la période 1975-2016. Cette recherche confirme que la plupart des mesures de la Syntaxe spatiale de la configuration du réseau de voirie ont une influence positive sur la pratique de la marche et peuvent même la promouvoir. Il s'agit plus précisément de mesures comme l'intégration, le choix et la connectivité du réseau. Ainsi, la Syntaxe spatiale a un grand potentiel pour compléter les méthodes de quantification des caractéristiques de l'environnement bâti tout en s'appuyant dessus, afin de pouvoir évaluer la marchabilité du milieu urbain (Koohsari et *al*., 2014).

Nous présentons maintenant quels travaux employant la Syntaxe spatiale dans le but d'étudier le déplacement à pied, notamment le comportement des flux de déplacements dans le réseau de voirie.

Afin d'évaluer la corrélation entre la distribution du flux de piétons et les propriétés de l'environnement bâti à Bat Yam (Israël), Lerman et *al*. (2014) utilisent la Syntaxe spatiale. Dans cette étude, les propriétés de l'environnement construit comprennent la structure du réseau de voirie, la densité de l'utilisation du sol, la localisation des commerces et des arrêts de transport public. Ils constatent que la distribution des flux de piétons s'explique principalement par les variables telles que l'intégration spatiale et le choix (l'intermédiarité) qui représentent la configuration du réseau de voirie. L'emplacement des façades commerciales est un deuxième facteur important qui influence le mouvement des piétons et le renforce. Ils emploient également la Syntaxe spatiale pour réaliser une prévision des volumes de piétons sur le réseau pour 2030, en intégrant les changements du réseau et de l'utilisation des sols tirés de plans et projets municipaux. Partageant cette idée, l'étude de Lamiquiz et

López-Dominguez (2015) met en avant une corrélation statistique très forte entre les mesures topologiques de la configuration du réseau de voirie et le pourcentage de fréquence de la marche dans la zone métropolitaine de Madrid. Ils insistent même sur le fait que la pertinence statistique de ce facteur est plus importante que celle de variables largement utilisées telles que la densité et la diversité d'occupations du sol. De manière similaire, Lerman et Omer (2016) montrent l'existence d'une liaison étroite entre l'intensité des flux de déplacement pédestre et la dimension spatiale de l'environnement urbain reposant sur la configuration du réseau de voirie dans les différentes zones urbaines de la ville de Tel-Aviv. Ces auteurs expliquent également que le renforcement du mouvement piétonnier par les dimensions physiques de l'espace urbain (la largeur des rues et des trottoirs et la configuration du réseau de voirie) peut entraîner des changements sur la dimension fonctionnelle des quartiers, c'est-à-dire sur la localisation des utilisations du sol. De façon similaire au travail précédent, et dans le but de modéliser la prévision du flux de piétons dans quatre zones différentes de Boston, Raford et Ragland (2006) adoptent la Syntaxe spatiale comme outil de modélisation. Ils évaluent dans un premier temps la structure spatiale du réseau de voirie et la proximité aux diverses utilisations du sol (le transport public, des attractions touristiques, etc.). Ces auteurs constatent des corrélations très élevées entre les mouvements piétonniers mesurés et le taux d'intégration globale du réseau. Ensuite, ils s'appuient sur ces résultats pour la modélisation prévisionnelle.

Ainsi, la configuration du réseau de voirie, plus précisément le niveau de l'intégration des tronçons des rues, détermine les potentiels des rues à être empruntées par les flux de piétons (Hillier, 1996 a ; Hillier et *al*., 1993). Comme expliqué plus haut, l'indice de l'intégration spatiale mesure la manière dont les rues/espaces sont reliées entre eux au sein d'un réseau, ainsi que la facilité à atteindre un espace depuis tous les autres espaces (Baran et *al*., 2008 ; Rejeb-Bouzgarrou, 2019).

Dès lors, plus un espace est intégré, plus il est probable qu'il sera plus densément occupé par des personnes en mouvement (Peponis et *al*., 1997). Ainsi, la théorie de la Syntaxe spatiale soutient que les rues les mieux intégrées génèrent plus de déplacements piétonniers (Hillier et *al*., 1993 ; Hillier, 2009). Cela peut s'expliquer de plusieurs manières :

> (1) Pour atteindre une rue (ou un espace) **hautement intégrée,** il s'agit de prendre un nombre moins important de rues (ou lignes de vue sur la carte axiale) ce qui amène à moins de changements de direction, ce qui veut dire que les distances topologiques (profondeur) sont réduites par rapport aux autres espaces

(Hillier et Hanson, 1984 ; Baran et *al*., 2008 ; Hillier, 2009 ; Lagesse et *al*., 2010 ; Koohsari, 2014). Ainsi, les rues les plus intégrées sont plus attirantes pour les piétons.

(2) Les flux de déplacement sont orientés à la fois « vers » et « à travers » les rues les plus intégrées parce qu'elles sont topologiquement plus proches de l'ensemble du réseau et donc plus facilement accessibles.

(3) Les rues sont donc plus susceptibles d'être choisies et traversées comme une partie d'itinéraire sur le trajet des déplacements (Space syntaxe, 2006).

(4) Étant proche de l'ensemble des autres rues, ces rues sont relativement facilement accessibles depuis les autres rues et leur degré d'accessibilité spatiale est élevé (Hillier et *al*., 1993 ; Hillier, 2009 ; Koohsari et *al*., 2014). Elles constituent donc les espaces centraux du réseau et peuvent même fonctionner comme des points de repère (Peponis et *al*., 1990). Cela rejoint l'idée centrale de Lynch (1960), selon qui l'orientation des individus dans le milieu urbain repose sur leurs représentations mentales collectives, constituées à partir de certains éléments physiques de l'environnement urbain. Comme décrit dans la sous-section 1-2-3-3, il reconnaît cinq catégories d'éléments physiques qui structurent la carte cognitive des villes et facilitent le *wayfinding* : les points de repère, les parcours, les nœuds, les secteurs, et les limites/bords. Dès lors que les rues sont plus intégrées, elles constituent les espaces centraux des réseaux et sont plus facilement reconnaissables. Nous pouvons les considérer comme les lignes de repère. Par ailleurs, puisque ces rues désignent les axes structurants du réseau et et qu'elles sont facilement reliées à l'ensemble des autres lieux, elles peuvent être considérées comme des parcours. Ainsi, les rues hautement intégrées constituent les points de référence de l'espace. De plus, le fait que la cognition spatiale s'organise autour de ces points leur permet d'être mieux connus et mieux gravés dans la mémoire des personnes (Space syntax, 2006 ; Dias, 2016). Par conséquent, les rues hautement intégrées peuvent contribuer à une orientation plus facile dans l'environnement urbain. C'est pour cette raison que Peponis et *al*. (1990) précisent que si la personne se perd dans le processus d'orientation dans l'espace, elle retourne dans les espaces plus intégrés pour se localiser par rapport à l'ensemble de l'espace.

(5) L'intégration provoque des variations dans le flux des piétons, la mémorisation des lieux dans une ville ou dans un bâtiment, car les lieux plus intégrés sont susceptibles d'être plus familiers aux personnes. Cela découle, premièrement, du fait que les lieux plus intégrés sont davantage reliés à d'autres lieux et qu'ils sont donc davantage visités. Deuxièmement, cela s'explique aussi par le fait que les destinations des déplacements (les utilisations du sol) sont intentionnellement placées dans des rues plus intégrées (Montello, 2007). Ceci rejoint l'idée de Lamiquiz et López-Dominguez et *al*. (2015), qui argumentent que les réseaux de voirie à haut niveau d'accessibilité (ayant un taux d'intégration spatiale moyen élevé) répondent à certains besoins des piétons, notamment à l'exigence d'une distance minimum, du sentiment de sécurité et d'attractivité.

Inversement, accéder aux rues les **moins intégrées** nécessite de prendre de nombreuses lignes de vue sur la carte axiale. Autrement dit, l'importance du nombre de changements de direction est liée à la distance topologique par rapport aux autres rues (Hillier et Hanson, 1984 ; Baran et *al*., 2008 ; Hillier, 2009 ; Lagesse et *al*., 2010 ; Koohsari et *al*., 2014). Ainsi, les rues les moins intégrées ne peuvent être atteintes facilement depuis les autres rues (Hillier et *al*., 1993 ; Hillier, 2009). C'est pour cette raison qu'elles attirent généralement moins de piétons (peu de flux) (Vaughan,1987 ; Hillier et *al*., 1993).

Différentes études empiriques mettent en avant des corrélations élevées entre l'indice d'intégration des rues et les niveaux de fréquentation pédestre de ces dernières (Hillier et *al*., 1993 ; Peponis et *al*. 1997 ; Penn et Turner, 2004 ; Hillier et Iida, 2005 ; Piombini et Foltête, 2007 ; Piombini et Foltete, 2007). De même, Penn et Turner (2004) et Hillier (2010) précisent que statistiquement, jusqu'à 80 % de la variance des déplacements des piétons et des véhicules sur un segment de rue est dû à la position topologique de ce dernier par rapport à ensemble du réseau. Ainsi, les simulations théoriques de flux de déplacement à l'aide de la Syntaxe spatiale et par mesure de l'intégration spatiale des segments de rues correspondent jusqu'à 80% à la fréquentation réelle des flux de déplacement. Pourtant, certaines études montrent des différences au niveau de l'influence de l'intégration spatiale locale (R_3) et globale (R_n) du réseau de voirie sur le déplacement à pied. Par exemple, Baran et *al*. (2008) confirment que, contrairement à l'intégration spatiale locale, la mesure d'intégration spatiale au niveau global est liée de manière plus forte à l'augmentation des promenades et de la marche de loisir dans le milieu urbain.

Özbil et Peponis (2007) défendent même l'idée selon laquelle le niveau élevé d'intégration d'une rue peut amener à une moindre probabilité de la criminalité et des comportements antisociaux. Ceci peut s'expliquer par la fréquention plus élevée de ces espaces par les personnes. Comme mentionné par Space syntaxe (2006), ces rues sont par conséquent les lieux de la coprésence sociale la plus intense. Ceci rejoint l'idée de Newman (1973), Whyte (1980) Jacob (1961) et Gehl (1980) qui estiment que l'augmentation de la coprésence sociale dans les milieux urbains contribue au sentiment de sécurité et au bien-être social des individus. Concernant ces mêmes problématiques, Özer et Kubat (2007) comparent deux quartiers adjacents du centre d'Istanbul ayant des volumes de piétons différents en utilisant une combinaison de deux facteurs : l'utilisation du sol et la configuration du réseau de voirie. Cette étude montre que le sentiment de sécurité (vis-à-vis de la criminalité et du trafic) produit l'impact le plus important sur le volume de mouvements des piétons et le taux d'intégration spatiale des rues, puis le degré de mixité des fonctions des sols reste également des facteurs importants. Cependant, nous interrogeons ces résultats, notamment la manière dont ces facteurs sont pris en considération indépendamment et de façon isolée, sans prendre en compte l'interdépendance entre ces éléments. En effet, nous pensons que le sentiment de sécurité n'est pas un facteur indépendant ayant une influence sur la quantité des piétons, mais qu'il doit être considéré comme le fruit d'autres facteurs tels que la configuration du réseau ou/et la mixité d'occupations des sols.

Certains travaux comme ceux de Vurucular et Ciravoğlu (2015) tentent même d'appliquer la Syntaxe spatiale dans des domaines plus particuliers. Ils cherchent à comprendre la potentielle relation entre les mouvements de contestation urbaine en 2011 et la morphologie spatiale de l'environnement urbain où les citadins peuvent se rassembler et renforcer leur sens de la solidarité. Ils utilisent la méthode de la Syntaxe spatiale pour analyser le potentiel de certains espaces publics à rassembler les citadins dans les espaces qui sont devenus le centre des mouvements des Indignés à Madrid et Merida et du Printemps arabe à Istanbul. Le résultat de ce travail met en évidence que les espaces publics qui ont accueilli ces mouvements ont des valeurs d'intégration spatiale élevées. Par ailleurs, cette étude révèle l'importance du potentiel de l'espace urbain pour permettre des rencontres sociales en termes de démocratie. Elle affirme que la qualité morphologique des espaces publics, en tant qu'un des éléments majeurs à l'origine des mouvements urbains, a grandement facilité le rassemblement des citadins et l'émergence d'un mouvement urbain dans ces villes.

Pourtant, certains travaux (Chu, 2005 ; Özer et Kubat, 2007) nuancent la corrélation entre la configuration du réseau de voirie et le déplacement à pied. Par exemple, Chu (2005) utilise dans son étude menée à Hong Kong la théorie de la Syntaxe spatiale. Celle-ci lui permet de montrer que la localisation des différentes occupations du sol, telles que les commerces et les bureaux, ainsi que les stations de transport public dont la localisation est conditionnée par la configuration du réseau de voirie, influencent la distribution des piétons sur le réseau. Il précise que les façades commerciales ont la plus forte corrélation avec le mouvement des piétons. Il trouve également qu'un grand nombre de piétons est enregistré auprès des stations de transport public. Dès lors, dans cette étude, la relation entre l'intensité du mouvement des piétons et la configuration du réseau de voirie, est considérée comme indirecte.

C'est sur la base de ces concepts que la Syntaxe spatiale offre un fondement théorique et méthodologique singulier, permettant l'étude du déplacement pédestre et du comportement des piétons. En général, les mesures telles que l'intégration spatiale sont des paramètres susceptibles d'être utiles pour mieux comprendre le rôle de la configuration du réseau de voirie sur le comportement de la marche. Mais, comme l'ont précisé Hillier et *al*. (1993), cela ne signifie pas que l'espace détermine le mouvement au niveau individuel. En revanche, cela signifie que certains espaces sont plus utilisés et empruntés que d'autres, ce qui permet de simuler le mouvement de flux des piétons, en appliquant une simulation macroscopique. Néanmoins, il est intéressant de vérifier la validité de cette méthode pour étudier l'effet de mesures comme l'intégration spatiale des segments de rues sur le comportement des piétons au niveau individuel, notamment le choix d'itinéraire des piétons du point de vue microscopique.

Conclusion du chapitre IV

Dans ce chapitre, nous avons abordé le cadre méthodologique de notre travail, en ce qui concerne le choix des méthodes adéquates afin de modéliser les comportements théoriques des piétons en termes de choix du trajet, ainsi que la modélisation du réseau de voirie.

Dans un premier temps, nous avons présenté les quatre principales perspectives pour simuler le comportement des piétons lors de leur orientation dans l'espace (1) les **modèles cognitifs et mentaux/qualitatifs** (qui modélisent de manière séquentielle et hiérarchique le processus mental d'orientation des personnes dans l'espace), (2) les modèles **qualitatives** reposant sur la **carte cognitive** des personnes (qui modélisent les connaissances spatiales et les représentations de l'environnement urbain contribuant à l'orientation dans l'espace urbain), (3) les **modèles quantitatifs microscopiques** (s'inspirant des modèles mathématiques et physiques qui tentent de simuler les comportements des piétons au niveau individuel) et (4) les **modèles quantitatifs macroscopiques** (qui appliquent des modèles mathématiques pouvant simuler les comportements des flux de piétons).

Dans un second temps, puisque notre thèse porte sur l'orientation des piétons dans les milieux urbains, nous avons évoqué la genèse des « réseaux » et la définition du « réseau de voirie ». Ensuite, nous avons décrit les deux approches principales qui ont pour objectif de modéliser le réseau de voirie. Ainsi, premièrement, nous avons présenté les modèles qui ont une **approche fonctionnelle** et qui classifient les voies en fonction de leur niveau d'importance fonctionnelle dans le réseau de voirie. Nous avons constaté que, dans la modélisation du réseau de voirie, il est possible, selon cette approche, que certains moyens de déplacement, notamment la marche à pied, subissent une discrimination ou sous-estimation. C'est pourquoi, par la suite, nous avons présenté une deuxième approche : l'**approche structurelle**. Les modèles qui suivent une **approche structurelle** cherchent à interpréter les caractéristiques géométriques ou topologiques du réseau de voirie, ainsi que la configuration de la structure de ce réseau à l'aide de descriptions qualitatives ou quantitatives.

En ce qui concerne notre thèse, parmi l'ensemble des différentes méthodes de modélisation présentées, la Syntaxe spatiale nous intéresse particulièrement. Elle suppose que c'est la configuration du réseau de voirie qui génère le mouvement et que ce dernier détermine à son tour la localisation des utilisations du sol. En outre, il est possible que de manière réciproque, les activités attirent plus de passagers et créent par conséquent plus de déplacements. Ainsi,

selon la Syntaxe spatiale, il existe une complémentarité et un renforcement mutuel entre la configuration spatiale, les utilisations du sol, et le mouvement des piétons, appelé Mouvement Naturel.

Nous avons présenté plusieurs exemples de domaines d'application de la Syntaxe spatiale tels que l'évaluation de la relation entre la structure spatiale et la ségrégation sociale, l'architecture, les projets urbains et le déplacement à pied.

La Syntaxe spatiale, en tant que théorie et méthode reposant sur la théorie des graphes, emploie des mesures quantitatives afin d'analyser la configuration de la structure du réseau. En effet, il faut d'abord, à partir d'un ensemble de méthodes et techniques particulières, transformer le réseau d'espace en sous-espaces convexes, puis en carte qui représente les lignes de vues reliant ces sous-espaces. Une fois que cette carte axiale est représentée, il est possible d'analyser la configuration de l'espace selon les mesures topologiques variées et en utilisant des logiciels spécifiques.

De même, la Syntaxe spatiale permet d'inclure à la fois les facteurs humains et environnementaux impliqués dans l'orientation des piétons dans l'espace. Ainsi, d'une part, partant d'une approche structurelle, elle implique des mesures quantitatives (telles que la distance topologique, la profondeur et l'intégration spatiale), permettant de modéliser la configuration spatiale du réseau de voirie. D'autre part, reposant sur l'approche cognitive macroscopique, la Syntaxe spatiale permet de prédire le comportement théorique des piétons et la dispersion du flux de mouvements en fonction des perceptions (les lignes de vue) que ces piétons ont de la structure spatiale de l'espace.

Précisons que la particularité de notre travail par rapport aux travaux précédents qui emploient la Syntaxe spatiale pour évaluer le lien entre le déplacement à pied et la configuration spatiale du réseau est la suivante : dans cette thèse, nous mettons l'accent sur l'évaluation du potentiel de cette théorie-méthode pour la simulation du comportement des piétons au niveau individuel (microscopique/désagrégé) et non pas celui des flux de piétons (macroscopique/agrégé).

Néanmoins, puisque la Syntaxe spatiale repose sur les attributs topologiques du réseau de voirie, elle exclut les facteurs métriques comme la longueur des voies (Montello, 2007). En outre, elle ignore les lieux d'origine-destination des déplacements (au sens géographique du terme). Ainsi, d'autres mesures doivent être utilisées afin de comprendre pleinement l'interaction entre le piéton et l'environnement de la marche (Farr et *al*., 2012). C'est la raison

pour laquelle nous proposons d'appliquer également la modélisation du réseau de voirie selon l'approche fonctionnelle reposant sur la hiérarchisation fonctionnelle des voies et la modélisation du choix d'itinéraire des piétons par l'algorithme du plus court chemin de *Dijkstra*. L'algorithme de *Dijkstra* nous permet d'intégrer les attributs métriques du réseau de voirie et d'évaluer ainsi la rationalité des piétons en matière de choix d'itinéraire. Cependant, il nous faut les informations prédéterminées à propos des points d'origines-destination des déplacements pour cette modélisation. De plus, dans le but de pouvoir confronter les modélisations théoriques (par la Syntaxe spatiale et l'algorithme de *Dijkstra*) avec les déplacements réels des piétons, nous devons avoir des données empiriques de déplacements à pied de personnes. C'est pour cette raison que dans le chapitre suivant, nous abordons les moyens qui permettent d'accéder aux informations réelles sur les comportements des piétons.

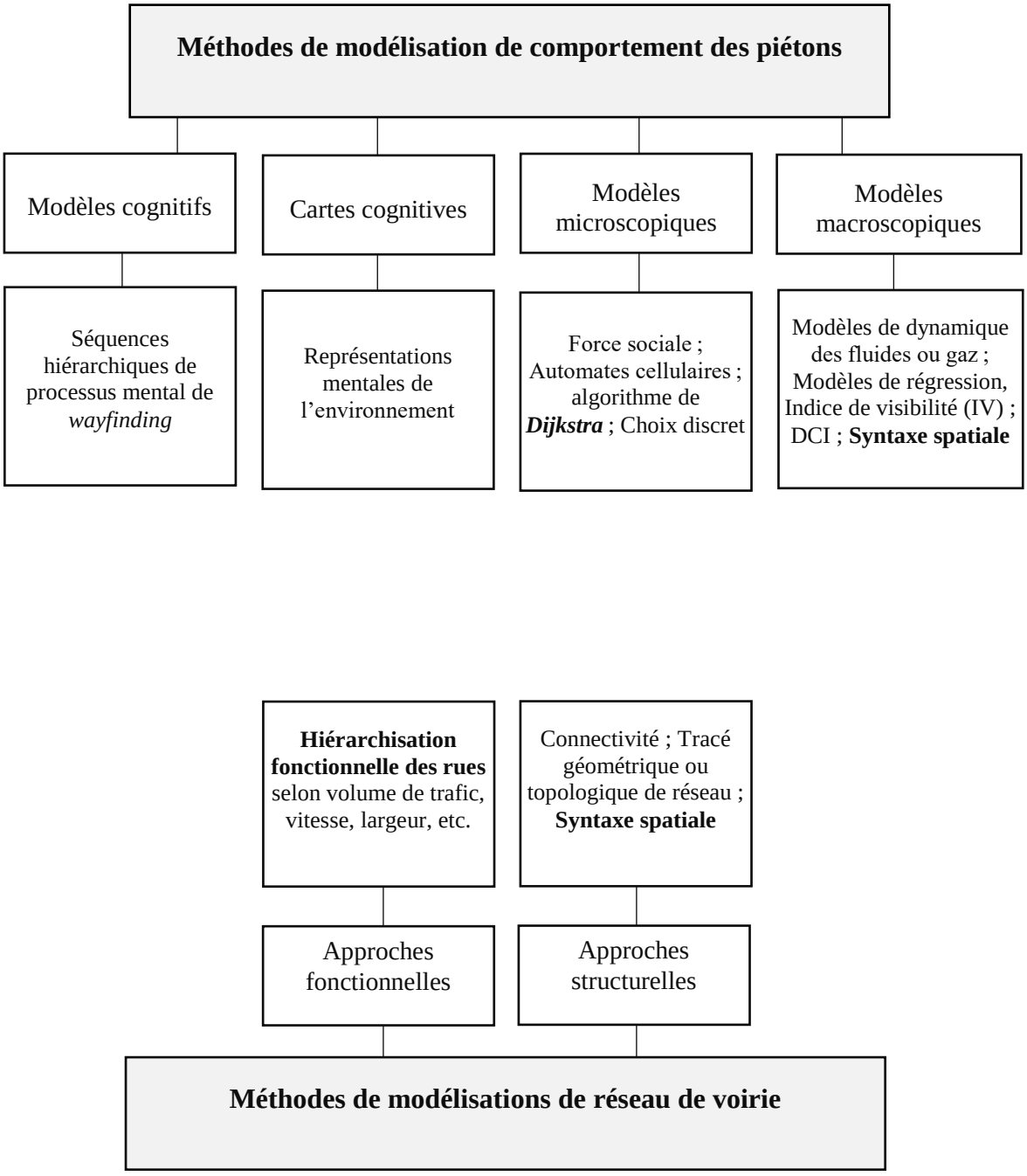

Figure 20. Récapitulatif des méthodes de modélisation du comportement des piétons et du réseau de voirie

Nous constatons que la Syntaxe spatiale est une méthode et une théorie de modélisation de la structure de réseau de voirie et, en même temps, du comportement de flux des piétons.

Pour cette thèse nous appliquons également la modélisation du réseau de voirie selon l'approche fonctionnelle reposant sur la hiérarchisation fonctionnelle des voies, ainsi que l'algorithme de *Dijkstra* afin de modéliser les comportements des piétons.

CHAPITRE V - Méthodes de constitution des données relatives aux déplacements pédestres

Introduction du chapitre V

Dans le chapitre précèdent nous avons fait la connaissance des différentes méthodes de modélisation des comportements théoriques des piétons et du processus d'orientation des piétons dans l'espace. Nous avons fait un focus sur la Syntaxe spatiale comme méthode et théorie adaptées à notre problématique de recherche, permettant de modéliser la structure de l'espace ainsi que les comportements des flux de piétons. Afin de vérifier la validité de la modélisation du comportement des piétons, nous comparons les simulations théoriques avec les comportements empiriques et réels des piétons.

Ce chapitre porte donc sur la construction d'un cadre méthodologique adéquat, afin de saisir les comportements réels des piétons en matière de choix de trajet dans les milieux urbains. Nous présentons donc les différentes méthodes employées dans les travaux précédents et permettant d'accéder aux informations liées aux comportements des piétons dans les milieux urbains. Chaque étude applique la technique de recueil de données qui répond le plus à son objectif, selon les moyens (matériels ou financiers) dont elle dispose. Ces méthodes permettent de recueillir des données qualitatives et quantitatives à différentes échelles : soit simplement à l'échelle d'une traversée, d'une intersection ou au niveau d'un segment de rue, soit à l'échelle d'un trajet particulier, voire d'un quartier donné ou d'une ville entière.

Enfin, nous identifions les limites et les avantages associés à chacune des méthodes employées. Ceci nous permet de choisir la méthode adéquate pour notre thèse et qui permette d'accéder avec le plus de précision possible aux parcours des piétons au cours de leurs déplacements.

5-1- Les différentes méthodes d'acquisition de données pour différents objectifs

Dans le cadre de la compréhension des déplacements pédestres et du comportement des piétons dans les milieux urbains, les différentes études utilisent une diversité de méthodes afin d'obtenir des données en fonction de leurs moyens (matériels ou financiers) et de leurs objectifs de travail.

Une grande partie des recherches précédentes recueillent des informations sur l'intensité de la pratique de la marche (partage modal de la marche) dans une ville ou un quartier donné. Elles évaluent la répartition (importance quantitative) de la marche par rapport aux autres modes de déplacement. De ce fait, la source des données utilisée dans ces études est majoritairement l'enquête de déplacement des ménages (Manaugh et El-Geneidy, 2013 ; Rahmani et Naceur, 2013 ; Tran et *al*., 2014 ; Lamiquiz et López-Dominguez, 2015 ; Koohsari et *al*., 2016). Ces études ne traitent pas spécialement des trajets des piétons.

Il existe des études (Bonnet et Lassarre, 2008 ; López, 2015 ; Godillon et Cloutier, 2018) qui se focalisent sur le comportement des piétons dans les espaces publics au moment de traverser des rues et aux intersections. Elles visent à une meilleure compréhension de la sécurité des piétons et des risques d'accident. Ce groupe d'études permet d'appréhender les méthodes parvenant à produire des données très fines à propos du déplacement à pied, au niveau des échelles spécifiques et locales.

D'autres études (Choi et *al*., 2006 ; Chaudet, 2009 ; Piombini, 2011, 2013 ; Lee et Seo, 2013 ; Dai et Yu, 2013 ; Piombini et *al*., 2014 ; Lerman et *al*., 2014 ; Ferrer et *al*., 2015 ; Lerman et Omer, 2016 ; Ferrer et Ruiz, 2017) s'intéressent aux comportements des piétons avec pour objectif d'évaluer l'environnement urbain propice à la marche, à l'échelle d'une ville, d'un périmètre spécifique ou d'un parcours précis.

Par ailleurs, Depeau (2005), Piombini (2006), Bonnet et Lassarre (2008), Chaudet (2009), Raja Ariffin et Khairi Zahari (2013), Piombini (2011, 2014), Piombini et *al*. (2014), Pagnac-Baudry (2015), Vaez et *al*. (2016), Habib et Hanaei (2017), Moura et *al*. (2017), Godillon et Cloutier (2018) appliquent des méthodes de recueil de données qualitatives et quantitatives. En effet, ils décryptent le processus cognitif du comportement des piétons, en s'intéressant aux différents paramètres (liés à l'environnement et/ou à l'individu) qui peuvent influencer les perceptions des personnes (les enfants, les parents des enfants, les personnes âgées, etc.) dans

l'environnement de la marche. Les résultats de ces travaux permettent, pour la plupart, de comprendre comment et sous l'influence de quels paramètres les piétons choisissent leurs itinéraires.

De même, nous avons identifié les différentes méthodes employées par l'ensemble de ces études permettant de produire des données de déplacements à pied. Le tableau suivant montre de manière récapitulative ces différentes méthodes. Dans le but de choisir une méthode adaptée à notre thèse, nous développons, dans la suite de ce chapitre, chacune de ces méthodes afin de connaître leur déroulement et leurs apports, ainsi que leurs avantages et leurs limites, en adéquation avec notre problématique de recherche et nos moyens.

Méthode	Données préalablement disponibles	Entretiens (directes ou semi-directifs)	Comptage	Suivi des individus	Dispositifs de géolocalisation (GPS)
Caractéristiques	Enquête ménages déplacements, Enquête Nationale Transport (ENT), etc.	Conversations orales téléphoniques, ou par courrier (postal ou électronique) ; questionnaires, groupes de discussion ; enregistrements de la voix ; etc.	Manuel, Détecteurs automatiques ou filmographie	Accompagnement des participants	Traceurs GPS, Applications sur le téléphone portable
Type de données	Agrégées	Désagrégées	Agrégées	Désagrégées	Désagrégées
Données saisies	OD, motifs	OD, motifs, itinéraires, perceptions	Effectif des piétons	OD, motifs, itinéraires, durée, moment	OD, itinéraire, durée, moment

Tableau 4. Récapitulatif des différentes méthodes de recueil de données des déplacements à pied, d'après notre synthèse de la revue de la littérature

5-2- L'utilisation des sources de données préalablement disponibles

Dans le but d'accéder aux données des déplacements à pied, certains chercheurs exploitent les sources de données préalablement disponibles sur la mobilité des habitants. Ils tirent majoritairement leurs données d'enquêtes globales de mobilité comme l'Enquête Nationale Transport (ENT) ou bien d'enquêtes standardisées classiques de mobilité. En effet, l'Enquête Nationale Transport, importée des États-Unis dans les années 1970, permet d'analyser l'évolution des comportements de mobilité dans le temps et dans l'espace. Les données récoltées concernent les lieux fréquentés (les origines-destinations), l'heure de départ et d'arrivée, la durée des déplacements, les motifs des déplacements, ainsi que les moyens de déplacement utilisés (Drevon et *al*., 2014 ; Thao-Pham, 2016). L'Enquête Nationale Transport

de la France recueille les informations via des entretiens en face-à-face, appels téléphoniques, par courrier (anciennement) ou par internet, ce qui a le mérite d'offrir une vision globale et cohérente de tous les modes et de toutes les situations du transport des personnes pour l'ensemble des résidents de France métropolitaine (Thao-Pham, 2016).

De plus, des enquêtes standardisées classiques de mobilité visent à obtenir une information fine et précise sur l'ensemble des déplacements (tous modes confondus) d'un échantillon représentatif de la population à l'échelle des territoires tels qu'une agglomération, une région urbaine, un département ou une grande ville (CERTU, 1998 ; Drevon et *al*., 2014). Drevon et *al*. (2014) précisent que les données collectées comportent différents volets :

- les informations liées aux ménage : logement et motorisation ;
- les informations liées aux personnes/chaque membre du ménage, incluant le profil sociodémographique des personnes, l'occupation principale des individus, la possession d'un titre de transport ou d'un permis de conduire, les principaux modes utilisés et les difficultés de stationnement ;
- les renseignements sur chaque déplacement, la zone d'origine et de destination, les horaires de départ et d'arrivée, le motif.

Une grande partie des études qui s'intéressent au partage modal de la marche à pied ou à l'intensité du trafic pédestre dans une ville ou une zone donnée emploient des sources de données préalablement disponibles. Dans le but d'évaluer la part modale de la marche à pied à Strasbourg, Tran et *al*. (2014) utilisent les données de l'Enquête ménages déplacements du CERTU. Tout comme Rahmani et Naceur (2013) qui, partant de ce même objectif d'évaluer l'intensité de la pratique de la marche dans le centre-ville de Sétif (en Algérie), utilisent eux aussi la base de données de l'enquête ménage sur les déplacements des résidents ; exactement comme Lamiquiz et López-Dominguez (2015) qui se servent des données de l'enquête régionale sur la mobilité, afin de mesurer la fréquence de la marche dans la zone métropolitaine de Madrid.

En outre, de nombreuses études qui partent du postulat de l'existence d'un lien entre l'environnement construit et l'intensité de la pratique de la marche ont également recours à l'utilisation des données d'enquêtes globales de mobilité. À titre d'exemple : Kang (2015), qui évalue les effets de l'accessibilité spatiale et de la centralité de l'utilisation du sol sur la marche à Séoul (en Corée), utilise comme source de données en ce qui concerne le volume des piétons le rapport « Gouvernement métropolitain de Séoul » (2010). C'est aussi le cas

pour Pouyanne (2004, 2007), qui se sert de l'enquête ménages-déplacements réalisée par l'INSEE en vue d'étudier le rapport entre la densité de l'utilisation du sol, l'étalement urbain et la mobilité des habitants. Cette source de données fournit des informations sur les déplacements quotidiens des ménages et leur choix modal, y compris la marche. En Australie aussi, McKibbin (2011) emploi les données issues du recensement de 2006 pour diagnostiquer l'influence de l'environnement bâti à Sydney sur le choix du mode de transport pour se rendre au travail. Dans la continuité des travaux précédents, Milakis et *al*. (2008) utilisent eux aussi les résultats d'une enquête de population pour étudier la relation possible entre la forme urbaine et les comportements de déplacement à Athènes, notamment les déplacements à pied couvrant des distances supérieures à 500 mètres. Handy et *al*. (2002) mènent une étude ayant un objectif similaire : mesurer le lien entre certains éléments de l'environnement construit et la fréquence de la marche. Ils emploient les données disponibles sur les déplacements auprès de sources nationales, données collectées auprès des individus et des ménages. Celles-ci contiennent des informations sur le motif, le moyen et la durée des déplacements à Gainesville en Floride. Bachiri et Despres (2009) ont le même objectif, à ceci près qu'ils évaluent l'influence des composantes physiques de l'environnement construit sur le recours à la marche chez les adolescents. Pour ce faire, ils utilisent les données issues de l'enquête origine-destination de déplacements de la région métropolitaine de Québec en 2001. Manaugh et M. El-Geneidy (2011) utilisent les données désagrégées et brutes de l'enquête d'origine-destination des ménages de l'île de Montréal (2003) contenant des informations sur les déplacements de 17 394 ménages d'un jour ouvrable. Ces ménages pratiquent 44 263 déplacements à partir du domicile avec des motifs de déplacements variés et identifiés. Sur l'ensemble de ces déplacements et toutes destinations confondues, 6575 déplacements enregistrés sont effectués à pied. Ainsi, à partir de ces données, ces auteurs effectuent une étude approfondie et précise sur l'ensemble de l'Île de Montréal leur permettant d'évaluer la corrélation entre les indices de marchabilité de différents quartiers avec les déplacements réellement pratiqués à pied.

Abordons maintenant les limites des méthodes d'utilisation de sources de données déjà disponibles

Quel que soit l'objectif du travail effectué, les méthodes de recueil de données recourant aux sources de données disponibles qui reposent sur des enquêtes de ménages ont la particularité de présenter les données de déplacement de l'ensemble des individus ou des ménages sous forme agrégée. Ainsi, elles ne permettent pas d'étudier les déplacements

pédestres des personnes au niveau individuel. Par ailleurs, comme l'a souligné Orfeuil (2002), les résultats qui émergent de ces enquêtes ne permettent pas de recueillir les opinions qualitatives des personnes sur leurs déplacements, quel que soit le moyen utilisé. Étant essentiellement quantitatives, elles sont habituellement réalisées auprès d'un grand nombre de personnes, puis les données sont codées sous la forme de matrices origine-destination à l'aide de modèles gravitaires (Pumain et Saint-Julien, 2004). Du fait de cette agrégation, ces méthodes excluent de nombreuses informations. Par exemple, ces enquêtes ne nous renseignent pas sur les conditions des déplacements telles que la qualité des moyens utilisés, notamment en ce qui concerne les déplacements à pied (Piombini, 2006). Comme elles se concentrent généralement sur les origines et les destinations des déplacements, les itinéraires non plus ne sont pas relevés (Piombini, 2006). Dès lors, ces caractéristiques peuvent être restreintes pour certains sujets de recherche, notamment ceux qui se concentrent sur les comportements individuels des piétons, comme c'est par exemple le cas de notre sujet. En effet, il se concentre sur les itinéraires empruntés des individus lors de leurs déplacements. C'est pourquoi nous jugeons que cette méthode est inadaptée à notre thèse qui vise à étudier le comportement des piétons et leurs choix en matière d'itinéraire lors de la marche.

5-3- Les enquêtes par entretiens et par questionnaires

Une des méthodes très couramment utilisées pour obtenir des données sur la mobilité pédestre est d'enquêter directement ou indirectement auprès des individus. Le grand avantage de l'enquête est qu'elle est applicable pour tout type d'échantillons de personnes ainsi que pour des échelles géographiques variées, d'un quartier ou d'une ville entière. Une des méthodes d'entretien les plus usuelles est l'utilisation de questionnaires. Par exemple, Raja Ariffin et Khairi Zahari (2013), dans le souci d'une meilleure compréhension des perceptions des piétons à propos de la marchabilité de l'environnement urbain, mènent une enquête en distribuant 155 questionnaires. Il s'agit d'une enquête *in situ*, c'est-à-dire au moment du déplacement. Partant du même objectif, Moura et *al*. (2017) collectent également les données des piétons par 400 questionnaires distribués dans les rues de Lisbonne (Portugal).

Pourtant, selon l'objectif du travail et les données nécessaires, il existe d'autres méthodes d'entretien : les questionnaires envoyés par courriel ou disponibles sur un site internet, l'entretien oral ou téléphonique avec des personnes ou bien l'enregistrement de voix, etc. Les entretiens se déroulent en grande partie après les déplacements des personnes enquêtées, ils sont donc *a posteriori*. Néanmoins certaines techniques d'entretien (comme par exemple

l'enregistrement de la voix) permettent également que l'entretien se déroule au moment du déplacement. Ils sont donc *in situ*. Nous présentons maintenant quelques exemples des différentes méthodes d'entretiens appliquées dans le domaine du déplacement à pied.

Questionnaire par courrier postal : Dans le cadre de la mesure de la fréquence de la marche à pied pour rejoindre les stations de bus, Koohsari et *al*. (2016) enquêtent directement 2650 individus (adultes âgés de 20 à 65 ans) pour savoir combien de personnes ont marché pendant au moins 10 minutes au moins une fois au cours des 7 derniers jours, dans le but de joindre un arrêt de bus. Ils appliquent la méthode d'enquête « auto-administrée » dans laquelle les participants répondent aux questionnaires envoyés par **courrier**. Les participants sont invités à répondre aux questions à la fin de chaque journée. Les questions posées comportent d'abord les caractéristiques sociodémographiques des participants telles que : l'âge, le sexe, le niveau d'études, la situation professionnelle, le nombre d'enfants dans le ménage, le revenu annuel de foyer, la possession d'une voiture, etc. Ensuite, ils doivent indiquer les distances perçues (en durée de temps) lors de déplacements à pied, en cochant la réponse parmi les cinq catégories de durée : « 1-5 min », « 6-10 min », « 11-20 min », « 20-30 min », « 30 min », « ne sait pas ». Cette question est posée pour 16 types de destinations tels que l'arrêt de bus ou de train, le magasin du quartier, le supermarché, la poste, etc. Deux aspects de cette enquête nous intéressent tout particulièrement : premièrement, du point de vue de la précision des données recueillies concernant les déplacements à pied des personnes et, deuxièmement, du point de vue des caractéristiques socioéconomiques et démographiques des participants. Une autre particularité de ce travail est que la taille de l'échantillon est considérable. Par contre, les itinéraires empruntés des déplacements à pied des participants n'ont pas été recueillis.

Questionnaire en ligne : Les données récoltées dans le cadre de la recherche de Manaugh et El-Geneidy (2013) sont également tirées d'une enquête sur le comportement en matière de déplacement menée à l'Université McGill de Montréal à une échelle relativement importante. Dans cette étude, l'enquête menée **en ligne** est restée active pendant 35 jours durant lesquels un total de 19 662 courriels d'invitation (via e-mail ou lettre postale) ont été distribués aux employés, professeurs et étudiants de l'université de McGill, leurs demandant de répondre à un questionnaire en ligne. Cette recherche s'appuie sur des déplacements effectués à pied pour se rendre à l'université, raison pour laquelle seules 671 réponses de piétons sont analysées. Les objectifs sont multiples. Il s'agit d'examiner les motivations déclarées des participants pour choisir la marche comme moyen de déplacement, d'étudier la corrélation

entre les caractéristiques des trajets telles que la distance, la pente et la satisfaction du trajet en fonction des motivations de déplacement, mais aussi de définir la répartition des lieux de résidence sur la carte. Enfin, il s'agit également d'étudier les motivations déclarées liées aux localisations du lieu de résidence. La méthode d'enquête en ligne est également appliquée par Godillon et Cloutier (2018). Leur objectif met en perspective les perceptions du risque d'accident des parents et des enfants sur le chemin de l'école. Ces trajets sont parcourus en « pedibus » dans une trentaine d'écoles au Québec. Parmi les 232 réponses reçues, seules 189 questionnaires sont utilisables. Nous pensons que cela se justifie par cette méthode d'enquête via internet qui comporte des données variées. Bien qu'elle fournisse une base de données intéressante permettant de réaliser d'autres études ayant des objectifs variés, le fait que l'enquête soit active pour une durée relativement longue peut diminuer la précision de certaines réponses. Néanmoins, ces enquêtes reposant sur des questionnaires ne permettent pas d'enregistrer les itinéraires empruntés. Il est seulement possible, dans le cas où on le souhaite, d'insérer des cartes permettant de dessiner les trajets effectués.

Groupes de discussion[1] : À propos de la récolte de données sur la marche par des entretiens avec des personnes, il existe d'autres techniques, comme celle réalisée par Ferrer et *al*. (2015), Ferrer et Ruiz (2017), et Russel (2017). Ces auteurs appliquent une méthode d'enquête qualitative particulière et innovante, reposant sur des groupes de discussion. Le terme de groupe de discussion réfère à la méthode de recueil de données qui consiste à regrouper certains individus en fonction de certaines caractéristiques communes (ou parfois diverses). Ils sont alors invités à discuter sur un thème plus ou moins précis (Russel, 2017). En effet, il s'agit d'une sorte d'entretien indirect lequel suit un protocole méthodologique spécifique permettant au moniteur et à l'assistant de recherche de gérer le déroulement de l'enquête. Ferrer et *al*. (2015), et Ferrer et Ruiz (2017) appliquent cette technique à trois groupes d'individus à Valence et à deux groupes à Grenade, en Espagne. La discussion au sein de chaque groupe dure environ 90 minutes. Dans chaque groupe de discussion un moniteur suit un guide de discussion semi-structuré, qu'il applique à chaque groupe de participants. Les participants, le moniteur et l'assistant de recherche sont assis en cercle, sans table au milieu pour faciliter la discussion. Les participants sont encouragés à exprimer librement leurs opinions. Ils sont au préalable informés que toutes les opinions ont la même valeur. Afin d'assurer la participation de tout le monde à la discussion, l'assistant de

[1] Traduit de l'anglais *focus group*.

recherche aide l'animateur à identifier les personnes moins participatives et à solliciter des réponses de ces personnes. Ces recherches consistent à examiner les macros et les micros facteurs de l'environnement bâti qui déterminent la décision de se déplacer à pied, ainsi qu'un ensemble de facteurs qui influencent les perceptions des trajets supposés être agréables. Plus précisément, ils cherchent à savoir quels facteurs encouragent ou empêchent les gens de marcher pour des déplacements courts (qui durent moins de 45 minutes). Quinze questions différentes sont posées à ce sujet et, pour certaines d'entre elles, quelques photos de rues sont montrées. Les participants doivent décrire les facteurs qu'ils trouvent attrayants et peu attrayants pour la marche sur ces photos. Nous estimons que cette méthode d'enquête ne convient pas à notre objectif de recherche, car elle produit des données au niveau agrégé, d'une part, et parce qu'elle ne permet pas de saisir les informations des itinéraires empruntés, d'autre part.

Un ensemble de techniques d'entretien : Certaines études intègrent un ensemble de techniques d'entretien. Par exemple, Habib et Hanaei (2017), dans le but d'examiner la différence au niveau des perceptions de trajets entre les femmes et les hommes, mènent une enquête en distribuant des questionnaires accompagnés de photos de quartiers auprès des passants d'une zone urbaine du centre-ville de Mashhad (en Iran).

Ou encore, dans le but d'étudier la mobilité quotidienne des piétons âgés autour de leur domicile, Chaudet (2009) mène deux types d'entretiens. Il a pour ambition de caractériser les comportements spatiaux des personnes âgées et de mesurer les effets du milieu de vie sur leurs déplacements. Cette étude est réalisée auprès de trente personnes âgées de 75 ans et plus, ayant toutes une déficience physique et/ou sensorielle. Ces personnes continuent à se déplacer hors de leur domicile régulièrement. Elles sont réparties au sein de douze résidences différentes en France et au Québec. Dans un premier temps, un entretien semi-directif *a priori* est mené. Chaque personne âgée est invitée à raconter et à décrire son dernier déplacement effectué dans l'environnement immédiat de son domicile, puis les parcours qu'elle effectue régulièrement. Ces récits permettent de saisir leurs perceptions, les parcours et les itinéraires empruntés, leurs motivations et la fréquence de leurs déplacements pédestres. Dans un deuxième temps, afin d'identifier la cohérence entre le discours et les trajets réellement empruntés, les enquêteurs mènent des enquêtes *in situ*. Ainsi, ils proposent aux personnes âgées préalablement interviewées de les accompagner tout au long de leurs trajets réguliers et de s'exprimer également durant la marche. Ces observations sont donc confrontées aux explications préalables des personnes âgées et mettent en perspective des logiques de

parcours, des tactiques et des stratégies de déplacement qui sont mises en œuvre pour faire face aux difficultés rencontrées dans l'environnement de la marche.

Partant de l'idée d'étudier le choix des trajets des piétons en relation avec les attributs de l'environnement construit, Piombini et *al*. (2014) utilisent les données d'enquêtes menées dans le cadre du Programme interdisciplinaire de recherches Ville et Environnement portant sur les perceptions des individus sur les ambiances urbaines. Cette recherche intègre deux types d'entretiens : le premier, durant le trajet (*in situ*) par lequel les enquêteurs enregistrent les discours avec les participants et photographient également des éléments d'ambiance du trajet. Le deuxième, un entretien post-trajet (*a posteriori*) afin de mieux cerner les perceptions des participants. Cette recherche est menée auprès de 8 habitants du quartier et de 8 passants. Ainsi, plusieurs informations sont recensées, y compris les itinéraires empruntés. Cette enquête a deux particularités par rapport au travail de Chaudet (2009) que nous venons de citer : elle récence les trajets réalisés par les personnes enquêtées correspondants à une paire d'OD spécifique, tout en laissant libre le choix d'itinéraire entre ces deux points. En outre, elle distingue les individus en deux catégories différentes : les passants, c'est-à-dire les individus qui fréquentent le terrain d'étude mais qui n'y habitent pas, et les habitants. Le terrain d'étude est le quartier *Hautepierre* à Strasbourg. Le but de la recherche de Piombini et *al*. (2014) est de définir le potentiel d'attractivité ou de répulsivité des configurations spatiales et morphologiques de ce quartier, dans le contexte d'un déplacement piéton. Ils étudient l'ambiance architecturale et urbaine ressentie et vécue par l'usager lors de ses déplacements. Ceci permet de recueillir leurs préférences individuelles et les répulsions environnementales à propos des déplacements à pied. Autrement dit, ils établissent un pont entre certains aspects physiques de l'espace, tels que sa morphologie et son architecture, et le processus cognitif de la perception des individus. Nous pensons que les méthodes mixtes d'enquêtes peuvent être très intéressantes, car elles permettent d'enregistrer les itinéraires réellement empruntés par les personnes, notamment ceux durant lesquels la personne est accompagnée *in situ* pendant ses déplacements. Ces méthodes mixtes permettent également de comparer les perceptions des individus avant le déplacement avec celles expérimentées pendant la marche et lors du choix réel des itinéraires. Par contre, nous pointons deux inconvénients par rapport à notre objectif de thèse : premièrement, la nécessité de la présence de nombreux enquêteurs pour pouvoir enquêter tous les participants au cours d'une même journée. Deuxièmement, il est quasiment impossible d'accompagner ou même de suivre les participants qui ne sont pas

âgées et qui mènent une vie active avec des motifs de déplacements variés amenant à des déplacements dans toute la ville.

Certains chercheurs optent pour la réalisation d'entretiens encore plus complexes, comme c'est le cas dans le travail dirigé par Depeau (2005). Cette étude consiste à comprendre comment les enfants acquièrent l'autonomie du déplacement sur le trajet domicile-école et quelles sont leurs conditions environnementales en matière de bien-être et de sécurité. Deux contextes urbains différents sont ciblés : le centre de Paris 11ème arrondissement de Paris et Montigny-le-Bretonneux en banlieue parisienne. Un ensemble de techniques particulières d'entretien avec les parents et les enfants fournit les données quantitatives et qualitatives à cette étude. Dans un premier temps, avec les parents, deux entretiens semi-structurés sont réalisés : un premier à leur domicile et un deuxième par questionnaire transmis à l'enseignant puis aux parents par l'intermédiaire des enfants. Il s'agit de répondre au questionnaire afin de saisir les évaluations des parents au regard de la mobilité des enfants, ainsi que l'évaluation de l'environnement en matière de sécurité. Dans un second temps, un entretien est mené avec les enfants dans le but de comprendre leurs représentations cognitives, à l'aide d'un dessin du trajet domicile-école. Enfin, dans un troisième temps, les enfants répondent à un questionnaire semi-directif construit autour de différentes thématiques relatives à leurs rapports et leurs pratiques de l'espace urbain. Dès lors, il nous semble que ces méthodes peuvent également être applicables pour enregistrer les itinéraires empruntés par les individus adultes *a posteriori*. Pourtant, au regard de la complexité et de la variété des entretiens, notamment lorsque les enquêtés-adultes sont nombreux et qu'ils pratiquent souvent les différents trajets, ces méthodes nous semblent moins adaptées à notre thèse.

Les photographies aériennes : Utiliser des photographies aériennes pendant l'entretien est une autre technique pratiquée pour saisir les informations au sujet des déplacements pédestres, notamment concernant les itinéraires empruntés par les piétons. Bonnet et Lassarre (2008), lors de la réalisation de ces entretiens, utilisent également des photographies aériennes dans le but de localiser les lieux d'origine et de destination des déplacements sur une photographie aérienne et de dessiner le trajet réalisé entre ces lieux. Ainsi, cette méthode convient très bien à l'enregistrement d'itinéraires des piétons. Cependant, il est possible que certaines personnes ne soient pas capables de repérer leurs trajets sur la carte, par exemple les individus qui prennent par habitude un trajet, ou ceux qui n'ont pas l'habitude d'utiliser des cartes.

L'entretien téléphonique : Certains travaux (Piombini, 2006, 2007 ; Genre-Grandpierre et Foltête, 2003 ; Piombini et Foltête, 2007) dont l'objectif est de connaitre l'itinéraire emprunté par des piétons, appliquent la méthode de l'entretien téléphonique. Précisons que les données recueillies et le déroulement de ces travaux nous semblent très similaires en matière de méthode et d'objectif. Par exemple, afin de mieux comprendre le rôle de la morphologie urbaine sur la mobilité quotidienne pédestre, Genre-Grandpierre et Foltête (2003) optent pour une collecte de données portant sur les déplacements pédestres quotidiens au départ du domicile à Besançon et à Lille. Dans le but de saisir les informations relatives aux déplacements à pied, notamment des destinations ainsi que des itinéraires empruntés, ces auteurs mènent des **enquêtes téléphoniques**. Ils saisissent donc les informations de 560 trajets à Besançon et de 523 trajets à Lille. Après avoir analysé les données, ce travail met en évidence que la structure du réseau de voirie, plus précisément une bonne qualité d'accessibilité pour le mode piétonnier au départ du domicile, peut amener à reduire les parcours et à augmenter l'efficacité des cheminements piétonniers, notamment au départ du domicile. La structure du réseau de voirie explique d'un côté la pratique de la marche comme mode de déplacement : elle peut favoriser quantitativement la pratique de la marche à pied. D'un autre côté, elle explique aussi des caractéristiques des trajets, notamment en termes de longueurs (les trajets tendent à sembler moins long). Un deuxième exemple est celui apporté par Piombini (2006) qui, dans son travail de thèse, a également recours à des enquêtes téléphoniques auprès des habitants de Besançon et de Lille en leurs demandant quels sont leurs trajets pédestres réguliers dont le point de départ est leur domicile. Les questions portent d'abord sur les rues qu'ils empruntent pour chaque trajet, tandis que les enquêteurs eux-mêmes localisent les itinéraires empruntés et les tracent sur un plan de la ville. Ensuite, un certain nombre de questions portant sur le motif, la fréquence ou le ressenti du trajet complètent la description. Certaines caractéristiques individuelles comme l'âge, le sexe, la profession et le taux de motorisation sont également enregistrées. Ainsi, il enregistre 628 itinéraires effectués à pied à Besançon (371) et à Lille (257). Finalement, toutes les données concernant les origines, les destinations et les itinéraires des personnes sont géoréférencées. De cette façon, il est possible d'établir une carte d'intensité du trafic pédestre de tous les participants, laquelle comportent les origines et les destinations des déplacements. Ensuite, il étudie l'ensemble des comportements au niveau individuel concernant différentes caractéristiques des trajets tels que la longueur métrique, la longueur topologique et le paysage perçu lors du trajet. Ou encore, Piombini et Foltête (2007) utilisent les données du programme de recherche Action Concertée Incitative « Ville », dirigé par Foltête et *al*. (2002).

Ces données sont les résultats d'une enquête téléphonique sur 1600 trajets pédestres recensés à Lille et à Besançon. À propos de chaque trajet, de nombreuses informations sont enregistrées : localisation précise du parcours sur le réseau de voirie, origines et destinations des déplacements, motifs, fréquences, durées estimées, etc. À partir de ces données, Piombini et Foltête (2007) analysent les choix d'itinéraires des piétons, en comparant les résultats issus des différentes simulations d'itinéraires possibles pour chaque OD aux trajets pédestres réellement effectués. Nous avons constaté que les enquêtes téléphoniques peuvent fournir une base de données rigoureuse à propos des déplacements à pied, notamment en ce qui concerne les informations des itinéraires réellement empruntés. De plus, ces travaux prouvent que les enquêtes téléphoniques peuvent être appliquées à de petits échantillons tout comme à de grands échantillons de participants. Néanmoins, ils sont coûteux et nécessitent un groupe d'enquêteurs afin de saisir les données, de les enregistrer et de les numériser via les logiciels adéquats.

Le « *Think-aloud* » : Pour finir, il existe également des stratégies d'entretien qui se distinguent des autres. Nous pouvons citer celle du « *Think-aloud* » pratiqué par Passini (1984), Golledg (1995), Hölscher et *al*. (2011) et Vaez et *al*. (2016). Par exemple, Vaez et *al*. (2016) appliquent cette méthode dans le but d'analyser le comportement d'orientation des piétons, de comprendre comment ils créent des images mentales de la structure du réseau de voirie et comment ils s'en servent pour s'orienter dans la ville. Le « *Think-aloud* » correspond à un enregistrement vocal *in situ* des perceptions des individus lors du déplacement. Ainsi, au moment du déplacement à pied, les personnes sont invitées à « penser » à voix haute à ce qu'elles perçoivent et la façon dont elles naviguent, tout en explorant leurs cognitions spatiales de la ville. Ceci est enregistré et donne la possibilité d'étudier l'orientation et les images mentales des individus dans la ville. Ces auteurs combinent cette technique à un enregistrement des parcours via GPS. Comme les personnes peuvent verbaliser leurs ressentis et leurs perceptions du trajet, il s'agit d'une méthode intéressante pour les études cognitives. Nous pensons qu'elle peut également être appliquée pour enregistrer les itinéraires empruntés. En revanche, le « *Think-aloud* » ne permet pas de géolocaliser les itinéraires.

Abordons maintenant les limites des méthodes d'acquisition des données par l'entretien

Dans la méthode de collecte de données des déplacements à pied reposant sur les descriptions des personnes elles-mêmes, les chercheurs sont confrontés à certaines contraintes et à des inconvénients. En effet, dans les procédés d'entretiens, il existe une probabilité de

biais de mémoire de la personne enquêtée et ce, quelle que soit la technique adoptée (l'entretien oral, la conversation téléphonique, le carnet de déplacements, etc.) et particulièrement lorsqu'il s'agit de récits de déplacements *a posteriori* (Drevon et *al*., 2014). Drevon et *al*. (2014) et Thao-Pham (2016) soulignent également que dans les démarches d'entretien *a posteriori*, il est possible que les informations issues des entretiens soient imprécises et incomplètes, à cause d'oublis des individus. Ainsi, les techniques d'entretien conduisent à des approximations ou à des erreurs sur les horaires de déplacement, les lieux d'activités (les origines ou les destinations des déplacements), à des informations parfois trop générales et imprécises sur la zone fréquentée, voire sur le moyen de déplacement utilisé. Nous pouvons aussi ajouter la volonté de donner une bonne image de soi (se montrer rationnel, intellectuel, etc.) et donc éventuellement de ne pas tout dire. De plus, il est même probable que le résultat des entretiens directs des personnes et les enquêtes de suivis soient biaisées par la propre perception de l'enquêteur (Drevon et *al*., 2014).

De ce fait, les informations reconstruites à partir de descriptions des individus peuvent être en décalage par rapport à la réalité et leurs comportements réels. Ceci repose sur les perceptions et les représentations des personnes se rapportant à leurs caractéristiques individuelles et aux conditions des déplacements. Ainsi, comme le soulignent de nombreuses études (Frémont, 1999 ; Paulet, 2002 ; Huriot et Perreur, 1990 ; Paulet, 2002 ; Pumain, 2004 ; Charron et Shearmur, 2005 ; Derycke et *al*., 1993 ; Zekri, 2010 ; Vacher, 2017 ; Thao-Pham, 2016), les informations issues de la déclaration des individus, telles que la durée du déplacement ou la distance parcourue, peuvent être sujettes à une sous-estimation ou à une surestimation par rapport à la réalité. Ou encore, le décalage de temps entre la période de la perception de la personne et la réalisation de l'enquête peut provoquer un oubli ou une déformation des éléments de l'espace vécu (Bailly, 1974). Pourtant, puisque notre thèse porte sur les trajets réellement pratiqués et les représentations des personnes, l'accès aux informations réelles des déplacements effectués et aux informations déclarées issues des représentations des individus nous semblent particulièrement intéressantes.

5-4- Les comptages de personnes

Dans l'intention d'obtenir des informations quantitatives sur les piétons (nombre de piétons) dans les espaces urbains, une grande majorité des études adoptent le comptage de personnes qui parcourent les segments des rues. Cela permet de saisir la quantité de flux de piétons. Ce comptage peut se faire par différentes méthodes :

(1) **Les observations directes par les enquêteurs eux-mêmes :** de manière très simple, les enquêteurs s'installent directement en différents points du réseau de voirie et comptent et enregistrent le nombre de passants pendant des durées prédéterminées, en répétant plusieurs fois ce comptage au cours d'une même journée. Par exemple, Choi et *al*. (2006) emploient ce procédé afin d'accéder aux données en 135 points d'un quartier de Séoul (Corée de sud). Les observations durent cinq minutes et sont effectuées à 10 reprises entre 8h et 20h. Cette démarche est également appliquée pour l'ensemble de la ville de Séoul en 2010, ce qui constitue une source de données complète et unique au monde sur le volume des piétons dans le réseau de voirie d'une ville. Comme l'indiquent Lee et Seo (2013), cette enquête de comptage des piétons a été réalisée dans 10 000 points de la ville de Séoul, pendant une semaine, et de 7h30 à 20h30. Utilisant la même technique, Space syntaxe (2007) s'appuie sur des observations directes par comptage des piétons en 51 points de passage appelés « portes », afin d'enregistrer l'effectif des déplacements à pied dans les rues du quartier européen de Bruxelles. Le nombre de passages est enregistré une fois par heure et pendant 2,5 minutes en moyenne par 5 observateurs qui se déplacent d'une façon régulière d'un point de comptage à l'autre. Ou encore, dans une autre étude, Dai et Yu (2013) mettent en place cette méthode de comptage des piétons et des cyclistes dans 71 points de passage de 7h à 19h d'un jour de la semaine, en vue d'évaluer la corrélation entre la configuration spatiale et le flux de mouvement des piétons et des cyclistes à Hangzhou (en Chine). Cette méthode de comptage directe est également adoptée dans les travaux de Lerman et *al*. (2014) et de Lerman et Omer (2016) pour collecter les données de déplacement pédestre à Bat Yam et à Tel-Aviv (en Israël). Ces comptages ont lieu un jour de la semaine, à 7h, à 12h, à 15h et à 18h, pendant un intervalle de 10 minutes, dans tous les segments de rues étudiés.

(2) **Filmer les lieux de passages des piétons et ensuite compter la fréquence :** pour ne pas compter directement le nombre de personnes, Zekri (2010) opte pour une observation directe et au moment des déplacements. Il produit des enregistrements vidéo qu'il exporte ensuite sur un outil d'analyse. Ainsi, comparée à l'observation directe, cette méthode permet, si nécessaire, de vérifier et de recompter les fréquences de passage.

(3) **Les détecteurs automatiques** : certaines villes de France, comme Nantes et Bordeaux, appliquent la technologie et le comptage automatique par détecteurs (Monjaret, 2017).

Abordons maintenant les limites des méthodes de comptage

La construction d'une base de données de déplacements pédestres via le comptage des piétons se concentre principalement sur la mesure du flux de piétons et sur la fréquence de la marche sur des tronçons de rues, sur des ponts, aux intersections ou sur une zone donnée. La méthode par suivi s'attache à l'étude des quantités de flux de piétons. Elle relève donc de l'ordre du collectif, fournissant des données sur l'ensemble des piétons d'un segment et sur une durée de temps de manière agrégée. Dès lors, elle n'apporte pas les renseignements des piétons au niveau individuel. En outre, cette méthode ne se préoccupe absolument pas d'autres renseignements sur les déplacements des personnes, uniquement de la quantité des passants et ce, quelle que soit la technique adoptée (manuelle, automatique ou filmographique). Elle ne peut donc pas collecter toutes les autres informations du déplacement telles que le motif, le point de départ ou de destination, la durée, la longueur, l'itinéraire emprunté, etc. La méthode de comptage ne fournit pas non plus les caractéristiques individuelles des personnes. D'après nous, il y a donc beaucoup de contraintes pour qu'elle soit utilisable dans les domaines d'étude de la mobilité de manière plus élargie. Sous certains aspects, il s'agit d'une méthode intéressante, mais elle n'est pas adaptée à notre problématique de recherche. Nous ne pouvons donc pas l'utiliser pour cette thèse.

5-5- L'enquête de suivi des individus

En complément des études présentées précédemment, nous constatons l'existence d'une autre technique de recueil de données. Certains travaux (Bonnet et Lassarre, 2008 ; López, 2015 ; Victor, 2016 ; Huguenin-Richard et *al*., 2015) appliquent la méthode de suivi des individus. Par exemple, Bonnet et Lassarre (2008), afin de collecter des données sur les comportements des piétons lors de la traversée de passages piétons, les suivent en traçant leurs déplacements sur une photographie aérienne, afin de produire une base de données géographiques. Ils enregistrement également manuellement les différentes informations sur le déplacement (temps passé aux croisements, interactions avec les automobilistes, etc.). Ensuite, pour pouvoir analyser les données des observations, celles-ci sont transmises à des logiciels adaptés, par exemple à un système d'information géographique (SIG).

Ayant la même vocation d'étude et dans le souci d'étudier les comportements des piétons au moment de traverser la rue, López (2015) adopte lui aussi la méthode de suivi. En revanche, il a recours aux enregistrements vidéo. Ainsi, il installe des caméras et filme pendant deux heures chaque côté de certaines rues à Mexico City.

Victor (2016) met en place une stratégie de suivi des individus de manière un peu plus développée, en couplant la méthode de suivi des piétons avec d'autres méthodes. Il opte pour des parcours accompagnés d'un observateur et des entretiens semi-directifs *a posteriori*, durant lesquels l'observateur suit l'enquêté jusqu'au point de destination, selon l'itinéraire qu'il prend habituellement dans un contexte où il n'est pas pressé par le temps. Pendant le trajet, l'enquêteur prend note de ses observations et localise manuellement l'itinéraire sur une carte. Il est également muni d'un podomètre lequel permet de mesurer la vitesse de la personne enquêtée. Une fois parvenus au lieu d'arrivée, un entretien semi-directif permet d'obtenir des informations complémentaires, ainsi que des retours des personnes enquêtées sur les évènements rencontrés lors du trajet. Ce travail vise à observer les comportements des piétons lors de leurs déplacements quotidiens et leurs réactions face à des obstacles ou barrières qu'ils peuvent rencontrer. Huguenin-Richard et *al.* (2015) procèdent de façon très similaire au travail que nous venons de citer. Dans le but d'évaluer les pratiques de mobilité à pied et la sécurité des déplacements à pied des personnes âgées de plus de 65 ans, ils appliquent la méthode de suivi pendant la marche, au maximum pour une durée de 6 minutes de trajet et ils mènent un entretien *a posteriori.*

Nous pouvons aussi ajouter les travaux de Newman (1973), Whyte (1980), Jacob (1961) et Gehl (1980) comme des exemples d'utilisation de la méthode de suivi des piétons. Précisons qu'ils ne suivent pas les piétons depuis le lieu de départ jusqu'à la destination. Néanmoins, ils étudient les comportements des piétons en s'installant directement dans les espaces publics et en observant des personnes, en enregistrant l'ambiance de l'environnement, etc. En effet, ils cherchent à étudier le lien entre le comportement des piétons et les caractéristiques de l'environnement construit.

Abordons maintenant les limites des méthodes de suivi des individus

En général, cette méthode d'enquête peut être très adaptée aux études comportementales des piétons. Elle a également le potentiel d'être utilisée pour l'enregistrement d'itinéraires effectués par les piétons, notamment pour les travaux dans lesquels l'origine et la destination

du déplacement sont prédéterminées et peu nombreuses. Pourtant, relativement à notre sujet de thèse, nous constatons plusieurs contraintes concernant cette méthode :

- nous ne cherchons pas à nous focaliser sur un nombre d'origines et de destinations prédéterminées de déplacements. Cette méthode peut, premièrement, nous empêcher d'étudier la structure du réseau de voirie dans sa globalité. Deuxièmement, elle peut nous limiter à certains motifs spécifiques et restreints de déplacement. Par exemple, si les paires d'OD correspondent à l'université-station de transport en commun, le motif de la marche et la catégorie des personnes enquêtées sont très similaires, ce qui peut produire des biais sur les résultats d'analyse. Troisièmement, cette méthode peut rendre difficile la sélection de participants potentiels pour notre enquête.

- la nécessité d'embaucher plusieurs enquêteurs pour pouvoir réaliser l'enquête de suivi de nombreuses personnes exige des coûts de financement qui ne sont pas envisageables pour un travail de thèse.

- en outre, il est possible que la présence de l'enquêteur influence le comportement des piétons et donc qu'elle provoque des biais par rapport à la réalité et aux habitudes courantes des individus, comme par exemple, le fait de choisir un trajet plus court que d'habitude, ou encore de passer par des milieux où il ne passe pas habituellement, etc.

- enfin, une autre limite importante de cette méthode est qu'il n'est pas évident de trouver des participants qui acceptent d'être suivis pendant leurs activités quotidiennes. De plus, si nous utilisons cette méthode sans prévenir les personnes, nous ne pouvons pas accéder aux informations complémentaires concernant leurs déplacements, notamment lorsqu'il s'agit de leurs représentations de l'environnement de la marche.

5-6- Les dispositifs de géolocalisation

Afin de mieux cerner les pratiques spatiales et les mobilités, il est possible d'avoir recours aux technologies numériques comme le système de GPS (Global Positioning System). Ces techniques permettent l'enregistrement automatique des relevés spatiaux des déplacements.

Le GPS est un système de radiopositionnement par satellites développé par l'armée américaine et conçu au début des années 1970 et qui, à partir des années 1990 intéresse

également la communauté civile scientifique (Drevon et *al*., 2014 ; Thao-Pham, 2016). Par exemple, aux États-Unis, depuis la fin des années 1990, les GPS sont employés pour la collecte de données de mobilité en complément des enquêtes traditionnelles de la mobilité (Feildel, 2014 ; Thao-Pham, 2016). Par la suite, plusieurs recherches dans plusieurs pays du monde, y compris en France, en Australie, en Angleterre, etc., utilisent le GPS pour servir différents objectifs comme le fait d'évaluer ou de compléter les données d'une enquête classique de mobilité (Thao-Pham, 2016). En effet, le système de GPS à la particularité de pouvoir déterminer les coordonnées géographiques et la vitesse d'un objet ou d'une personne mobile dans un système de référence mondial (appelé WGS[1] 84[2]) avec une précision spatiale de l'ordre de la dizaine de mètres et d'une précision temporelle d'une seconde. Les coordonnées des points sont obtenues à l'aide de signaux radio. Leur distance est obtenue par quatre satellites qui ont une couverture mondiale, et en appliquant le principe de triangulation[3] (Drevon et *al*., 2014 ; Thao-Pham, 2016). Cependant, il faut préciser que, dans les espaces fermés comme les bâtiments ou les tunnels, la réception des signaux des satellites est faible, voire impossible (Bonnet et Lassarre, 2008 ; Drevon et *al*., 2014 ; Misslin et *al.*, 2015 ; Thao-Pham, 2016).

Concernant le fonctionnement des traceurs GPS du point de vue technologique, il existe deux types de technologies d'enregistrement automatique des données par les traceurs GPS : les *loggers*, qui stockent les données dans la mémoire interne de l'appareil, et les *trackers* qui envoient les données en temps réel sur un serveur qui est connecté à internet et qui est considéré comme davantage intrusif pour les enquêtés (Depeau et *al*., 2016). Cette dernière

[1] World Geodetic System (système géodésique mondial)

[2] Correspond à l'année dans laquelle ce système géodésie est établi, c'est-à-dire en 1984.

[3] La méthode la plus couramment utilisée pour déterminer la position d'un point à la surface de la Terre repose sur le principe de la triangulation. Elle permet de déterminer automatiquement la position d'un point précis sur Terre grâce à au moins trois satellites constituant les points de référence. Notons que chaque satellite a une position précise et définie dans un espace à 3 dimensions. Par exemple, à un instant *t*, un satellite émet son signal vers le récepteur d'un GPS qui le reçoit à un instant t_1. Ainsi, en fonction de l'intervalle de temps qu'a mis le signal pour arriver et la vitesse du signal, il est possible de calculer la distance *d* (distance *d* = temps intervalle de t_1 - t × vitesse). Ceci conduit à déterminer une sphère, correspondant au centre du satellite et d'un rayon *d*. En effet, la sphère représente l'ensemble des positions que peut avoir le récepteur GPS sur la terre dans un rayon *d* depuis le centre du satellite. De la même manière, un deuxième et un troisième satellite doivent intervenir, afin de déterminer une deuxième et une troisième sphère. Lorsque ces trois sphères se recoupent, l'intersection de ces trois sphères donne deux points (X, Y), lesquels déterminent la localisation du récepteur sur la Terre. Afin de connaître l'altitude de l'utilisateur (récepteur), il faut rajouter une quatrième distance et donc un quatrième satellite. Dès lors, les distances qui séparent ces satellites du récepteur, et l'intersection des sphères représentant les signaux émis par ces différents satellites fournissent les coordonnées X, Y et Z du récepteur GPS (Lahaye et Ladet, 2014).

technologie offre la possibilité de traiter des données à distance et en temps réel, ainsi que de solliciter, si besoin, l'individu au moment de son déplacement, afin d'obtenir immédiatement des informations telles que le motif ou le mode utilisé, au sujet de son déplacement (Drevon et *al*., 2014). Ainsi, comme le souligne Thao-Pham (2016), cette méthode est une sorte de « suivi passif » des individus. De même, Depeau et Quesseveur (2014) précisent que le GPS permet de systématiser le recueil de données en tant que méthode indirecte passive. « *Cette technique est passive au sens où elle utilise seulement un récepteur au niveau du mobile à géolocaliser* » (Drevon et *al*., 2014, p. 17).

Dans la suite de notre propos, nous citons quelques travaux construisant leurs bases de données de déplacements à l'aide de traceurs GPS.

Dans le but de saisir les informations de la mobilité des habitants périurbains de l'agglomération de Tours, Martouzet et *al*. (2012), dans le cadre de la recherche Périvia[1], équipent 37 individus d'un récepteur GPS. Ils enregistrent ainsi les traces spatiales des déplacements quotidiens et hebdomadaires des individus, à l'échelle d'une ou de deux semaines (incluant des plages de jours travaillés et des plages de jours chômés), de 6h à 23h, pour chacun des individus enquêtés. Ces données permettent d'opérer une mesure quantitative des pratiques spatiales réelles des personnes, telles que le temps et la durée des déplacements, leurs moyens, leurs origines et leurs destinations, etc., et un traitement cartographique de l'ensemble des trajets réalisés. Puis, ces informations sont complétées par des entretiens approfondis sur le sens des mobilités des participants, et sur leurs représentations individuelles et sociales des espaces périurbains. À la fin, chaque enquêté est confronté aux représentations cartographiques de son propre enregistrement par GPS reporté sur une image satellitaire (Google Earth). Ainsi l'individu est confronté à la réalité de ses déplacements, ce qui le conduit à se questionner et à exprimer et commenter ses représentations de sa mobilité. De même, nous considérons que, dans cette recherche, un ensemble de démarches sont mises en place afin de comprendre le comportement de mobilité des individus. Pourtant, ce travail ne se limite pas forcément au déplacement à pied des participants.

Il en va de même pour le travail de Nicolas et Fillod-Barbarino (2011), qui étudient les déplacements des individus, tous modes confondus. Dans un premier temps, ils confient des boîtiers GPS à 32 salariés du Grand Lyon pour enregistrer le tracé géographique de

[1] Recherche intitulée PériVia : « Le périurbain à l'épreuve des modèles d'habiter - La viabilité périurbaine entre théorie(s) et pratique(s) ».

l'ensemble de leurs déplacements quotidiens, donnant ainsi la possibilité de la localisation spatiale et temporelle de leurs déplacements. Ceci constitue une information des « déplacements observés » des personnes. Ensuite, ils mettent à disposition de chaque individu un carnet de bord dans lequel certains renseignements de déplacement tels que l'heure de départ, le motif du déplacement, le moyen de transport sont remplis par la personne elle-même de manière subjective. Ce carnet constitue donc les « déplacements déclarés » des personnes interrogées. Le croisement des données observées et des données déclarées permet de comprendre la complexité des chaînages de déplacements et d'analyser les stratégies individuelles des comportements de mobilité.

En ce qui concerne l'étude de la mobilité à pied, l'usage du GPS peut aussi permettre de collecter les informations de la marche de manière relativement rigoureuse et fine, telles que la géolocalisation d'itinéraires réellement effectués, la vitesse, le temps et la durée des déplacements. Les travaux de Martouzet et *al*. (2010) et de Martouzet et *al*. (2014), montrent également qu'il est même possible de déduire le mode de transport utilisé ainsi que le motif. Comme l'expliquent Bonnet et Lassarre (2008), le GPS a le mérite d'enregistrer des données régulièrement et en temps réel, ainsi que les coordonnées géographiques des déplacements de chaque individu, en les représentants par une série de points superposés sur la carte. Associées à ArcGIS, il est possible de transformer ces points en une polyligne qui représente le trajet de chaque piéton (Ramadier et Bronner, 2006 ; Bonnet et Lassarre, 2008). Dès lors, il est possible d'effectuer une analyse quantitative des itinéraires réels, c'est-à-dire de facteurs comme la longueur temporelle et métrique des trajets. Ainsi, certaines études utilisent le GPS spécifiquement dans le but d'enregistrer le parcours des itinéraires des piétons (Depeau et Quesseveur, 2014 ; Misslin et *al*., 2015 ; Depeau et *al*., 2016 ; Hahm et *al*., 2017).

Par exemple, Hahm et *al*. (2017) appliquent également la méthode de recueil de données par GPS ainsi que des enquêtes complémentaires par questionnaires auprès de 82 visiteurs du quartier commercial de Hongdae, près de l'université Hongik (Séoul). Ils se concentrent sur le déplacement à pied et ont pour but de révéler la préférence des piétons en matière de choix d'itinéraires. Ils enregistrent donc les comportements des piétons depuis la station de métro du quartier Hongdae, auprès des personnes qui viennent uniquement pour faire des achats et n'ont pas de destination spécifique, afin que leurs comportements ne soient pas prédéterminés. Les participants sont invités à installer et à activer une application de suivi GPS sur leur téléphone portable (MyTracks-The GPS-Logger 3.2.2, réglé pour enregistrer

toutes les secondes). Ensuite, ils doivent envoyer les informations enregistrées à l'équipe de recherche.

Pour ce qui est de l'évaluation des fréquences, des durées et des localisations précises de la pratique de la marche et du vélo, Misslin et *al*. (2015) mettent à disposition de 28 volontaires à Paris et à Strasbourg des traceurs GPS et un accéléromètre pour enregistrer pendant sept jours consécutifs (du lever au coucher, sauf pendant la douche ou les activités aquatiques) les activités de marche et de vélo. Ils demandent également à ces volontaires de remplir tous les soirs un carnet d'activité sous format papier et d'enregistrer directement sur un site internet leurs commentaires concernant leurs déplacements et les informations telles que la date, les horaires (départ et arrivée), les lieux (départ et arrivée), le(s) mode(s) de transport, si le sujet était accompagné lors du déplacement et l'intensité de l'activité telle que perçue par le sujet. Ainsi, l'application GPS fournit les informations sur la localisation et sur les mouvements des personnes enquêtées. Néanmoins, nous constatons que cette méthode exige de la bonne volonté de la part des participants et de la disponibilité, à la fois pour accepter d'être enquêtés pendant une durée relativement longue d'une semaine et pour consacrer du temps tous les soirs afin de remplir le carnet d'activité.

Ou encore, dans l'intérêt d'étudier le contexte des déplacements des enfants dans des dispositifs de pedibus (trois lignes au total) dans une commune périurbaine de Rennes, Depeau et Quesseveur (2014) et Depeau et *al*. (2016) réalisent une enquête via des dispositifs GPS auprès d'un ensemble de 10 familles (soit 22 individus au total). Ils enregistrent leurs données de déplacements pour une période de 48 heures à l'aide de traceurs GPS. Appliquant une méthodologie mixte de recueil de données, ils mènent ensuite un entretien semi-directif individuel *a posteriori*, au domicile de chaque enfant, pour obtenir des données complémentaires sur les trajets effectués. Ces études visent, d'une part, sur le plan méthodologique, à tester l'acceptabilité de l'outil GPS par les familles et les enfants et, d'autre part, à dépasser l'approche d'enquêtes origine-destination en testant des hypothèses portant sur des empreintes spatiales du déplacement afin de caractériser le contexte du déplacement quotidien des enfants. Enfin, ils soulignent que cette technique de recueil de données des déplacements ne pose aucune difficulté particulière en matière d'acceptabilité par les familles et les enfants. Ce travail met également en avant la qualité des données des référentiels géographiques enregistrés par GPS. Pour ce qui est de l'acceptabilité des traceurs GPS auprès d'étudiants volontaires, Thao-Pham (2016, p.67) confirme également que « *les*

enquêtés qui répondent à une enquête de transport à l'aide de récepteur GPS sont plus consciencieux et décrivent mieux leur mobilité ».

Notre dernier exemple de recours à l'utilisation de GPS concerne le travail de Koohsari et *al*. (2014), lequel a pour but d'enregistrer les itinéraires empruntés par des piétons pour se rendre au parc en Australie. Il tente de comprendre, tout d'abord, si le critère de choix d'itinéraire des personnes est en fonction de la distance topologique ou métrique. Deuxièmement, il évalue s'il existe des relations entre pratiques d'activité physique (marcher et courir) des habitants et la configuration du réseau de voirie. Ce travail confirme la crédibilité de l'application du traceur GPS pour enregistrer l'itinéraire réellement parcouru par les piétons.

Abordons maintenant les limites de l'utilisation des capteurs GPS

Bien que les avantages du recueil de données via les traceurs GPS soient nombreux, les travaux précédents dévoilent certaines contraintes liées à l'usage de cet outil, notamment en rapport avec les attentes et l'objectif qu'ils se donnent pour recueillir des informations sur les déplacements. Nous présentons maintenant ces limites.

Tout d'abord, l'appareil lui-même peut présenter des dysfonctionnements au niveau de son logiciel interne, comme par exemple une saturation de sa mémoire interne (surtout quand il faut enquêter sur des déplacements de plusieurs jours), ou une faiblesse de batterie (Drevon et *al*., 2014 ; Depeau et *al*., 2016). Cependant, nous pensons que, de nos jours, les nouvelles versions de traceurs GPS et l'avancée technologique tendent à diminuer ce genre de problème. Le dysfonctionnement des traceurs GPS peut également être la conséquence de défauts d'autres composants techniques, comme du fonctionnement des satellites : « *pendant la période d'enquête, la précision du point collectée par GPS est influencée par plusieurs facteurs, la répartition géométrique des positions des satellites, l'irrégularité de leur orbite, la réflexion des signaux sur les couches de l'ionosphère et de la troposphère, etc.* » (Thao-Pham, 2016, p. 70). Toujours en ce qui concerne le fonctionnement de l'appareil, certaines situations peuvent provoquer une perturbation du signal des GPS, ce qui génère des aberrations au niveau de l'enregistrement des données. Bonnet et Lassarre (2008), Drevon et *al*. (2014), Depeau et Quesseveur (2014), Misslin et *al.* (2015) et Thao-Pham (2016) constatent que la qualité de la réception du signal est impactée par les caractéristiques de l'environnement des déplacements. D'après eux, les conditions ci-après engendrent une perte de signal satellite ou bien d'imprécision spatiale des données collectées : à l'intérieur des

bâtiments, dans certains trains, quand la personne est dans une voie souterraine (un tunnel ou une station de métro), dans un quartier très dense, dans une rue étroite bordée par de hauts bâtiments ou encore lorsque le récepteur est placé dans de mauvaises conditions. « *Ces conditions génèrent notamment un "effet canyon" qui réduit considérablement le nombre de satellites visibles* » (Drevon et *al*., 2014, p. 31). Ceci peut entraîner soit la perte de certaines données, soit des enregistrements erronés qui génèrent des résultats incorrects (Thao-Pham, 2016). Or, l'imprécision des mesures due à la perte du signal GPS entraîne soit une récupération partielle des données et la perte d'informations d'une partie des déplacements (comme dans les tunnels, par exemple), soit la dispersion anarchique et erronée des points autour du bâtiment à des distances plus ou moins importantes suscitant des erreurs de géolocalisation, particulièrement au niveau des points d'arrêts. Cette perte de signal GPS mène à des erreurs et à des difficultés lors du traitement et de l'analyse des données. Précisons à ce sujet, que lorsque la durée de stationnement de l'enquêté est longue, cela peut générer des sautes de points autour de ce lieu d'arrêt, même à l'extérieur des bâtiments. Par exemple, quand la personne est à l'intérieur d'un bâtiment pendant plusieurs heures (son lieu de travail ou chez elle), l'appareil enregistre beaucoup de données répétitives dispersées dans tous les sens. En outre le traitement de ces données dont les positions des points sont aberrantes est particulièrement difficile. Néanmoins, nous pensons que les limites liées aux satellites ne sont pas si répandues, notamment dans les milieux urbains qui ne sont pas très denses (les bâtiments ne sont pas très hauts). De plus, puisque nous nous intéressons au déplacement à pied dans les milieux urbains, le dysfonctionnent des satellites dans les tunnels, à l'intérieur des bâtiments, etc., ne nous concerne pas : les piétons pénètrent très rarement dans les tunnels ou dans ce type d'ouvrages et, par ailleurs, lorsqu'ils entrent dans un bâtiment, notre analyse ne les prend plus en compte.

Deuxièmement : une des autres limites des traceurs GPS réside dans l'utilisation de l'appareil par les enquêtés. Par exemple, le dispositif peut être oublié au domicile, la batterie de l'appareil peut avoir été oubliée d'être rechargée à la maison, le dispositif peut avoir été perdu ou même échangé au sein du ménage. Par ailleurs, il est nécessaire de bien expliquer le fonctionnement de l'appareil à l'enquêté (Depeau et *al*., 2016).

En outre, la géolocalisation particulièrement précise des situations spatiales par les traceurs GPS et son caractère intrusif dans la vie des personnes peut même poser des problèmes aux personnes enquêtées, notamment en ce qui concerne la difficulté à anonymiser les données récoltées (Feildel, 2014 ; Thao-Pham, 2016 ; Depeau et *al*., 2016). C'est pourquoi ces auteurs

soulignent qu'il n'est pas rare que cette particularité fasse l'objet d'un refus par certains enquêtés potentiels, ce qui peut entraîner des biais de sélection des enquêtes. Il est même possible que l'enquêté accepte au départ l'appareil, mais qu'il l'oublie volontairement ou involontairement pendant ses déplacements (Baptiste et *al*., 2018).

Troisièmement : le chercheur peut être confronté à des difficultés *a posteriori* de l'enquête et à certaines difficultés relatives au traitement des données. Si l'étude concerne l'enregistrement des données de plusieurs jours, la masse des données enregistrées est importante. En effet, il faut parfois retravailler les données, ce qui nécessite alors qu'un temps considérable soit dédié au traitement des données (Depeau et *al*., 2016). En outre, si l'appareil enregistre des points aberrants et imprécis, le traitement des données est doublement compliqué. Ceci impose, lors de cette procédure, le filtrage et le nettoyage des traces enregistrées de façon manuelle ou bien à l'aide de logiciels adaptés. Par exemple, lorsque l'utilisateur du GPS est dans un bâtiment pour une certaine durée, le traceur enregistre souvent les données qui sont dispersées aux alentours de ce bâtiment, ce qui nécessite une vérification du temps enregistré pour pouvoir distinguer les points aberrants. Le chercheur est également confronté à la complexité du traitement des données lorsque les échantillons sont très nombreux. Ainsi, la constitution de bases de données statistiques, géographiques et temporelles peut s'avérer chronophage. Par exemple, Nicolas et Fillod-Barbarino (2011), qui étudient les déplacements de 32 salariés du Grand Lyon, déclarent avoir consacré 8 mois au traitement des données.

Quatrièmement : un autre type de défaut des récepteurs GPS concerne les caractéristiques des informations enregistrées. Ainsi, les données brutes collectées ne donnent aucune information directe, ni sur le moyen de déplacement utilisé, ni sur le changement du mode de transport au cours du trajet, ni sur le motif du déplacement (Drevon et *al.*, 2014 ; Depeau et *al*., 2016 ; Thao-Pham, 2016). Cependant, il est possible de saisir ces données indirectement et à partir de certaines informations enregistrées comme la vitesse et les trajets parcourus. Le récepteur GPS ne donne par ailleurs aucune information sur la personne qui l'a porté. Par exemple, il n'est pas possible de distinguer le conducteur et le passager du véhicule ou d'identifier l'âge de l'enquêté (Thao-Pham, 2016).

C'est en raison de ces défauts et dans l'idée de combler ces limites que Martouzet et *al*. (2010), Martouzet et *al*. (2014), Drevon et *al*. (2014) et Depeau et *al*. (2016) couplent l'utilisation des enquêtes par GPS avec d'autres stratégies de recueil de données comme l'entretien et/ou le questionnaire de mobilité.

Ainsi, pour cette thèse, nous retenons deux points importants. Ceux-ci concernent d'une part les démarches complémentaires antérieures telles que l'exigence au niveau du choix des participants et la précision de l'appareil. D'autre part, les démarches complémentaires ultérieures, comme l'entretien semi-directif avec les personnes et l'enquête par questionnaires sont, elles aussi, importantes, car elles peuvent enrichir les informations collectées par GPS, apportant de cette façon une meilleure compréhension des pratiques spatiales des personnes.

5-7- Le choix de la méthode de recueil de données des éplacements à pied pour cette thèse : les capteurs GPS

Dans ce qui précèdent, nous avons présenté un ensemble de méthodes variées, permettant de saisir les données de déplacements à pied. Nous avons également évoqué les limites de chacune de ces techniques relativement à notre objectif de recherche. Puisque notre thèse porte sur l'étude d'itinéraires de piétons lors de déplacements pédestres, nous cherchons une méthode de recueil de données peu coûteuse, permettant de saisir les itinéraires pratiqués avec le plus de précision possible. Nous constatons que la plupart des techniques mentionnées telles que l'Enquête ménages déplacements, l'Enquête Nationale de Transport (ENT), l'entretien, le questionnaire, ou le comptage des piétons ne permettent pas d'accéder aux informations des itinéraires parcourus.

En revanche, la méthode de suivi *in situ* des individus (l'observation de l'enquêteur au moment du déplacement des individus) et l'entretien *a posteriori* accompagné d'une carte, ou bien les dispositifs de géolocalisation (GPS), permettent de saisir les itinéraires effectués. Cependant, comme nous l'avons décrit précédemment, lors de l'utilisation des méthodes de suivi *in situ* et d'entretien *a posteriori*, le chercheur est confronté à certaines limites. Leurs principaux inconvénients sont le coût relativement élevé de la méthode de suivi des individus pour un travail de thèse, la possibilité que les données soient biaisées, en raison de la présence de l'enquêteur. Par ailleurs, certaines de ces méthodes sont limitées en matière de variété et d'effectifs des origines-destinations. De plus, un décalage entre les trajets réalisés et ceux déclarés est possible. Par contre, l'utilisation des dispositifs de géolocalisation (GPS) nous semble plus avantageuse comparée aux autres méthodes.

Nous constatons qu'un des apports essentiel et particuliers de l'usage du GPS concernant tous les autres moyens de recueil de données est sa capacité à collecter les données géolocalisées des déplacements (Feildel, 2014). Le traceur GPS dispose d'un grand atout : il

permet d'identifier des itinéraires réellement effectués avec le plus de précision possible. Il dispose donc de cet avantage non négligeable de pouvoir restituer l'ensemble d'un parcours entre le point de départ et le point d'arrivée, depuis l'origine jusqu'au point de destination, quelle que soit la longueur du parcours. Ainsi, en ce qui concerne notre objectif de travail, les avantages principaux de cette méthode de recueil de données sont :

- **Premièrement**, la possibilité de cartographier les itinéraires empruntés, ainsi que les origines et les destinations des déplacements, comme l'ont fait Martouzet et *al*. (2010), Martouzet et *al*. (2012), Martouzet et *al*. (2014), Feildel (2014) et Baptiste et *al*. (2018).

- **Deuxièmement**, comme le montrent les études précédentes (Drevon et *al*., 2014 ; Feildel, 2014 ; Depeau et Quesseveur, 2014 ; Depeau et *al*., 2016 ; Thao-Pham, 2016), les données enregistrées sont très précises et elles sont collectées de manière continue (aux niveaux temporel et spatial). Cette finesse et cette continuité des informations collectées concernent l'emprise spatiale et temporelle des déplacements et des lieux pratiqués. Avec du très bon matériel, et selon son paramétrage, cette précision géographique peut aller de 5 à 10 mètres avec des enregistrements jusqu'à toutes les secondes. Ainsi, les traceurs GPS saisissent des informations telles que l'altitude et la longitude des lieux pratiqués et parcours, la vitesse et la durée du déplacement, le temps (l'horaire) réel du déplacement (Martouzet et *al*., 2010 ; Martouzet et *al.*, 2012 ; Martouzet et *al*., 2014 ; Drevon et *al*., 2014 ; Feildel, 2014 ; Thao-Pham, 2016). La précision des données enregistrées permet donc d'obtenir des informations que les autres méthodes ne parviennent pas à fournir avec autant de finesse.

- **Troisièmement**, une autre particularité des données enregistrées est qu'elles correspondent aux informations objectives des déplacements des personnes, sans faire l'objet d'interventions subjectives des perceptions de l'enquêté ou de l'enquêteur (Depeau et Quesseveur, 2014).

- **Quatrièmement**, comme le remarque Victor (2016), l'outil GPS a l'avantage de conserver[1] les informations géolocalisées sous la forme de données numériques diverses, notamment de couches de cartes et de tableaux. Ceci facilite

[1] Précisons que la capacité de mémoire interne de certains appareils GPS donne la possibilité de réaliser l'enquête sur un période longue (deux semaines par exemple). Ceci a rendu possible l'enquête de Feildel (2014).

l’analyse des données collectées par différents logiciels complémentaires comme ArcGIS, Excel, SPSS, etc. qui les convertissent en cartes, en diagrammes et en tableaux.

- **Cinquièmement**, certains appareils GPS disposent de la possibilité de programmer au préalable des enregistrements automatiques d‘informations sans nécessiter aucune manipulation ou effort particulier de l’enquêté, ce qui rend leur utilisation extrêmement facile pour celui-ci et diminue la possibilité d’erreurs et d’oublies. De ce fait, l’enquête peut se dérouler dans des conditions plus détendues et avec moins de difficultés.

Conclusion du chapitre V

Dans ce chapitre, nous avons abordé le choix d'un cadre méthodologique adéquat pour notre travail, afin de saisir les comportements réels des piétons en matière de choix du trajet dans les milieux urbains. Nous avons donc présenté les différentes manières dont les travaux précédents obtiennent des données empiriques sur les déplacements pédestres dans les milieux urbains, dans l'objectif de construire notre propre méthodologie de recherche. Ces études adoptent des méthodes variées, relatives aux objectifs qui sont les leurs et aux moyens disponibles.

Dans le tableau suivant, nous présentons une synthèse de ces méthodes, ainsi que les avantages et les limites associées à chacune, en lien avec notre thèse. D'après notre revue de littérature, nous identifions donc les méthodes suivantes :

- l'utilisation de sources de données préalablement disponibles, comme les enquêtes Nationales de mobilité des ménages, mais qui ne permettent pas d'accéder aux données des trajets empruntés, ni d'étudier le déplacement pédestre au niveau individuel ;

- l'enquête directe ou indirecte par entretien avec les personnes (conversations orales téléphoniques ; groupes de discussion ; enregistrements de la voix ; utilisation de photographies aériennes pendant l'entretien), et par questionnaire (par courrier postal ou/et électronique, etc.). Nous constatons qu'afin d'obtenir le maximum d'informations, une grande partie de ces études combinent un ensemble de techniques d'entretiens et de questionnaires. La plupart de ces méthodes permettent de collecter des données variées, par exemple, des informations au sujet des trajets empruntés. Cependant, ces informations peuvent être en décalage entre la réalité, car elles sont récoltées à partir de récits et de déclarations des personnes, faits *après* les déplacements. De plus, ces méthodologies nécessitent souvent un groupe d'enquêteurs, ce qui peut être coûteux pour un travail de thèse :

- le comptage (manuel, filmographique ou par détecteurs automatiques) de personnes permet d'obtenir des informations sur l'effectif des piétons dans les espaces urbains. Néanmoins, cette méthode n'est pas adaptée pour collecter des informations sur les itinéraires de trajets ;

- l'enquête de suivi des individus qui permet d'étudier le comportement des piétons dans le milieu urbain, par exemple au moment de traverser, leur choix d'itinéraires, etc. Un entretien semi-directif apporte les informations complémentaires nécessaires. Pourtant, puisque notre thèse ne se limite pas à un nombre d'origines et de destinations restreint et prédéterminé, cette méthode semble ne pas être adaptée à notre travail ;

- la dernière méthode présentée concerne les dispositifs de géolocalisation et l'utilisation de traceurs GPS. Celle-ci permet d'obtenir des données géolocalisées des déplacements, y compris les OD et les trajets empruntés, la durée et l'heure du déplacement. En outre, le GPS permet d'obtenir des informations d'une très grande précision. Il peut être utilisé *in situ* (lors de déplacements), sans l'intervention des enquêteurs et de l'enquêté. Ceci permet une saisie d'informations réelles des déplacements, sans décalage par rapport à la réalité.

Ainsi, après avoir comparé les avantages et les limites de chaque méthode au regard de notre hypothèse, de nos exigences et des moyens qui sont à notre disposition, nous faisons le choix d'utiliser le GPS comme outil de collecte de données empiriques sur les déplacements pédestres des personnes. Ce choix concerne les trajets réellement empruntés des piétons sur le réseau de voirie et les origines et les destinations associées à ces trajets. Cependant, nous avons constaté certaines limites concernant l'utilisation du traceur GPS en ce qui concerne les motifs de déplacement des individus et leur perception de l'environnement de la marche et du trajet. Ainsi, afin de compléter les données enregistrées par les traceurs GPS, notre choix se porte sur la méthode des entretiens semi-directifs *a posteriori* avec les enquêtés et des questionnaires. Ceci permet d'accéder aux représentations des participants de l'espace urbain, notamment de leurs trajets, et de saisir les critères qu'ils déclarent avoir mis en place lors du choix d'itinéraire. De plus, l'analyse de ces entretiens permet éventuellement d'évaluer les préférences déclarées des piétons en matière de choix de trajet. Dès lors, le couplage de ces méthodes permet de croiser les déplacements effectivement réalisés avec ceux verbalisés par les participants. Il est ainsi possible d'étudier le comportement des piétons lorsqu'ils sont réellement confrontés à l'espace urbain.

Ainsi, dans le chapitre IX, nous analysons les itinéraires simulés et pratiqués et nous déterminons les préférences théoriques, révélées et déclarées des piétons en matière de choix de trajet. C'est pourquoi nous présentons au préalable, dans le chapitre VI, nos terrains d'étude, auxquels nous appliquons nos méthodes de recueil de données théoriques et

empiriques des déplacements à pied des personnes. Pour rappel, comme présenté dans le chapitre IV, notre choix de méthode de recueil des données théoriques des déplacements et de l'analyse du réseau de voirie porte sur la Syntaxe spatiale et l'algorithme de *Dijkstra*.

Méthodes	Données préalablement disponibles	Entretiens	Comptage	Suivi des individus	Dispositifs de géolocalisation (**GPS**)
Caractéristiques	Enquête ménages déplacements, Enquête Nationale de Transport (ENT), etc.	Conversation orale téléphonique, ou par courrier (postal ou électronique) ; questionnaires, Groupes de discussion ; enregistrement de la voix ; etc.	Manuel, Détecteurs automatiques ou Filmographies	Accompagnement des participants	Traceurs GPS, Applications sur téléphone portable
Type de données	Agrégées	Désagrégées	Agrégées	Désagrégées	Désagrégées
Données saisies	OD, motifs	OD, motifs, **itinéraires**, perceptions	Effectifs des piétons	OD, motifs, **itinéraires**, durées, heures	OD, **itinéraire**, durées et heures de déplacement
Avantages (pour notre thèse)	-	Permet d'accéder aux représentations des personnes	-	-	Précision des données, informations réelles
Limites (pour notre thèse)	-	-	-	Coûteux, restreint au niveau de la variété et des effectifs d'OD	Nécessité d'une autre méthode complémentaire

Tableau 5. Synthèse des différentes méthodes de recueil de données de déplacement à pied, avantages et limites de chacune pour notre thèse, d'après notre synthèse de la revue de la littérature

CHAPITRE VI - Présentation des deux terrains d'étude

Introduction du chapitre VI

Notre choix de terrains s'est porté sur deux terrains d'étude distincts : la ville d'Ispahan, en Iran, et la partie centrale du noyau urbain d'Indre-et-Loire en France, plus précisément Tours et ses communes avoisinantes. Ainsi, dans ce chapitre, nous décrivons les spécificités de chacun de ces terrains. Ceci nous permet d'abord de mettre en avant une éventuelle différence d'ordre structurelle, morphologique, aussi bien au niveau du système de transport que de la taille, la population, etc. de chaque terrain, mais aussi d'appréhender les différences et les similitudes qu'il peut y avoir au niveau de la structuration spatiale et de la configuration des réseaux de voirie.

En effet, notre but n'est pas uniquement de comparer ces deux terrains. Nous cherchons surtout à vérifier la validité de notre hypothèse (le lien entre le choix d'itinéraire des piétons et la configuration de la structure spatiale) sur ces deux cas d'études distincts. Cependant, la confrontation des résultats d'analyse des itinéraires (effectués et simulés) des déplacements pédestres avec la structure du réseau de voirie de ces deux terrains est un exercice délicat. Cette partie de la recherche peut demander une double quantité de travail, notamment en ce qui concerne le recueil des données (empiriques et théoriques), ainsi que la modélisation de la structure spatiale. Mais c'est au prix de cette comparaison que nous pourrons éviter les écueils d'une analyse trop dépendante des spécificités locales.

Ainsi, par la suite, nous faisons brièvement connaissance avec les villes d'Ispahan et de Tours, en nous concentrant plus particulièrement sur l'évolution de leurs structures spatiales dans le temps, ainsi que sur leurs systèmes de transport. En effet, nous estimons que ces entrées sont les facteurs les plus influents sur la configuration spatiale et le déplacement des personnes.

6-1- Le ville d'Ispahan

Ispahan est un des premiers centres urbains établis sur le plateau iranien. Cette ville date de la période préislamique, plus précisément de l'époque des Achéménides[1]. À cette époque, elle s'appelait Yahoudié et elle constituait le refuge des juifs esclaves de Babylone, libérés par Cyrus le Grand (Hedayat, 2001 ; Pourjafar et *al*., 2013 ; Falahat et Shirazi, 2014 ; Namdarian et *al*., 2017). Par le passé, la ville a été le lieu de cohabitation pacifique et parfois de confrontation des différentes religions telles que les zaratoustrians, les juifs, les catholiques, les musulmans (les chiites, les sunnites, les hanafites, etc.). Ce mélange de populations constitue la richesse et le caractère multiculturel du passé d'Ispahan. Elle est une des principales métropoles de l'Iran actuel et une des villes les plus touristiques du pays.

Ispahan est une oasis située au sud-ouest du pays, à 400 kilomètres au sud de Téhéran, et qui est perchée à plus de 1500 mètres d'altitude. Elle est la troisième ville du pays, comptant environ 2 millions d'habitants en 2019. Elle est répartie en 15 arrondissements municipaux. La superficie totale de la ville d'Ispahan est de 550 km² et sa densité moyenne est d'environ 3600 hab/km².[2]

La structure générale de la ville est marquée par le passage d'est en ouest de la rivière Zayandeh-Roud (qui signifie « la rivière de vie » en persan) au sud du centre-ville, par la traversée de l'avenue Tcharbagh (qui signifie « quatre jardins » en persan) sur un axe nord-sud, ainsi que par la proximité de montagnes au sud et à l'ouest de la ville. La topographie est en grande partie plane, notamment au centre, au nord et à l'est. En revanche, elle est légèrement escarpée au sud et à l'ouest. Ces éléments essentiels déterminent la forme générale de la ville ; ils orientent également l'expansion urbaine de la ville. Les parties nord et sud de la ville sont reliées par plusieurs ponts sur la rivière Zayandeh-Roud, dont 4 sont historiques : le Si-o-Seh Pol (« pont aux 33 arches » en persan), le pont de Khajou, le pont de Marnan et le pont de Shahrestan.

Ispahan est composée de 199 quartiers (répartis en 15 arrondissements municipaux) avec des caractéristiques historiques, économiques et sociales assez diversifiées. Les périmètres de ces quartiers sont définis dans le Schéma directeur de la ville et en fonction des caractéristiques historiques, culturelles et démographiques des différentes zones de la ville.

[1] Les achéménides sont les premiers souverains de l'Empire perse de 550 à 300 av. J.-C.

[2] http://isfahanold.ir/Index.aspx?tempname=jamiat&lang=1&sub=36

Le centre de la ville est constitué des quartiers les plus anciens où se trouvent des dizaines de monuments historiques et touristiques tels que les mosquées, les cafés traditionnels, les bains (hammams), les palais, les moulins et la grande place de Naghsh-e-Jahan (aussi appellé depuis la révolution place Emam). Parmi ces monuments, trois sont inscrits au patrimoine mondial de l'UNESCO : la place de Naghsh-e-Jahan, le palais de Tchehel-Sotoun (« quarante colonnes » en persan et la mosquée de Djamé. La place de Naghsh-e-Jahan mesurant 560×160 mètres (Karimi, 1998) est la seconde plus grande place au monde. Elle est entourée de monuments historiques comme les grandes mosquées de Cheykh Lotfollah et de *Shah*, le palais Aali-Qapu et le bazar qui sont reliés par une série d'arcades à deux étages. Précisons que ce grand bazar est un pôle du savoir-faire d'artisanat et d'art populaire dans différents domaines tels que le tissage (de tapis et de tissu), la ferronnerie, la menuiserie, la céramique, différentes formes de peinture, etc. C'est une des raisons pour lesquelles Ispahan est une des cinq villes du pays à avoir obtenu la reconnaissance de l'UNESCO en intégrant le « Réseau des villes créatives ». Ainsi, la diversité fonctionnelle, la richesse culturelle et architecturale du centre-ville et de la place, tout comme le bazar rendent ces lieux attractifs pour les personnes. Par conséquent, ce sont des lieux de récréation, de shopping et de coprésence d'habitants et de touristes, qui sont donc intéressants pour les déplacements à pied.

6-1-1-L'évolution générale de la structure spatiale

Les racines de la ville remontent au moins à deux millénaires. Mais elle est devenue la ville la plus importante du pays lorsqu'elle a été choisie comme capitale à deux périodes historiques : une fois aux XI-XIIème siècles (l'empire Seldjoukides) et une autre fois aux XVI-XVIIème siècles (la dynastie Safavides) (Falahat et Shirazi, 2003 ; Karimi, 1998). Ispahan a retrouvé son importance grâce à sa situation centrale dans le pays d'une part et parce qu'elle est située sur l'une des principales branches de la route de la soie d'autre part (Karimi et Motamedi, 2003 ; Haghighat-Bin et Bostani, 2016). Ces routes rendent la ville accessible au reste du pays. En outre, sa distance par rapport aux frontières confère un certain degré de sécurité vis-à-vis des pays voisins. La Zayandeh-Roud et la fertilité des terres constituent un autre avantage important de la ville, lui fournissant de l'eau potable et des produits agricoles. Au cours de cette longue histoire, trois périodes principales peuvent être distinguées qui ont influencé de manière importante la structure spatiale de la ville, autrement dit le développement de ses éléments structurants et notamment son réseau de voirie :

L'époque de l'empire Seldjoukides (1050-1120) : actuellement, la structure principale de la ville repose sur celle de l'époque de l'empire Seldjoukides. À cette époque, le schéma de configuration du réseau de voirie était à la fois organique et centrique. Le cœur central de la ville contenait une grande place bordée par la mosquée principale de la ville (Masjed Djamé) et par le bazar (Falahat et Shirazi, 2003 ; Karimi, 1998 ; Azarm et *al*., 2019) (representé dans la figure 21). Ceux-ci constituent la structure linéaire et monocentrique de la ville (*id.*). Ainsi, les voies principales et le bazar se sont développés à partir de cette place pour s'étendre jusqu'aux portes d'Ispahan. En outre, la ville était fortifiée ; elle était entourée d'une haute enceinte percée de 12 portes (Falahat et Shirazi, 2014).

Après les Seldjoukides, Ispahan a subi plusieurs conquêtes, notamment l'invasion par des Mongols (Tamerlan) au XIIIème siècle (Karimi et Motamedi, 2003). Pendant ces périodes extrêmement difficiles, les habitants ont souffert de massacres, de la famine, etc. et la ville n'a pas eu la possibilité de se développer. Ainsi, « *le développement urbain d'Ispahan a connu une longue stagnation qui a duré jusqu'à l'avènement de la dynastie Safavides au début du XVI*^{ème} *siècle* » (Falahat et Shirazi, 2003, p.10). C'est pourquoi, pendant une longue période (jusqu'au XVIème siècle), le périmètre de la ville reste à l'intérieur des limites de son enceinte (*ibid*).

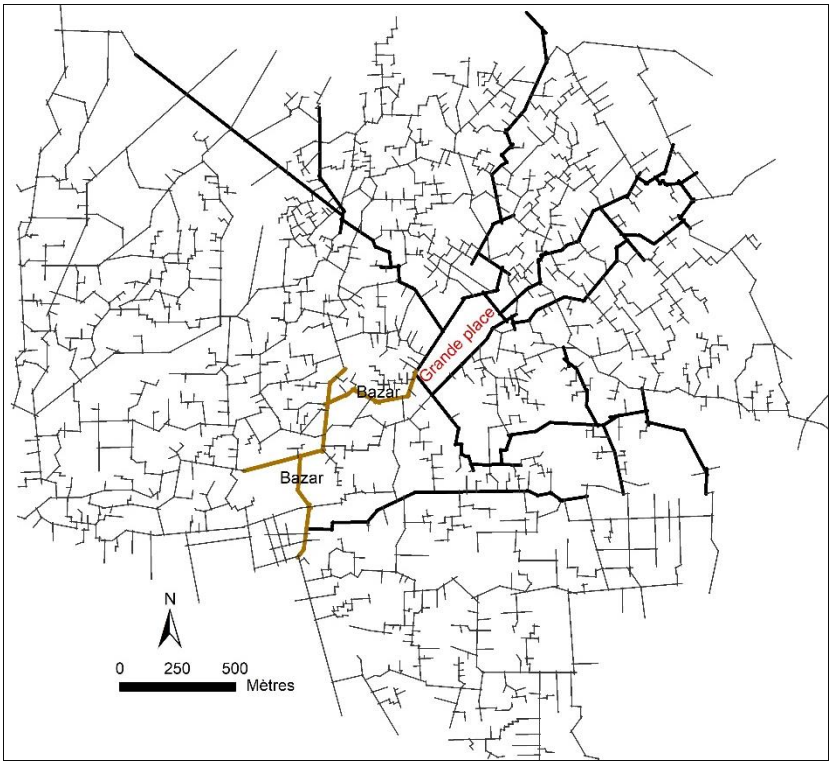

Figure 21. Périmètre et structure spatiale principale d'**Ispahan** entre 1050 et 1120 (l'empire Seldjoukides)

La ville est marquée par la construction du bazar et une grande place bordée par la mosquée principale de la ville et un réseau de voirie organique et centrique. Source : à partir de Sadeghi et *al.* (2013)

Période de la dynastie Safavides (1600-1720) : Ispahan est à nouveau désignée comme la capitale de l'Iran. Au cours de cette période, elle s'est transformée en une ville très renommée, combinant la splendeur de ses bâtiments à la grandeur de ses espaces urbains, ainsi qu'à des infrastructures fonctionnelles (Karimi et Motamedi, 2003). Une des particularités de cette époque est la construction d'un nouveau centre et d'une nouvelle grande place nommée Naghsh-e-Jahan, en concurrence avec les constructions de l'empire *Seldjoukides* (figure 22). L'importance des fonctions urbaines de ces constructions préalablement construites, notamment le centre qui préexistait, diminue en faveur du nouveau centre. Cependant, ce nouveau centre est complémentaire avec la structure précédente, notamment grâce au bazar. En effet, le nouveau cœur de la ville rejoint et complète l'ancien centre par le bazar, tandis que l'ancienne place perd progressivement de son importance (Sadeghi et *al.*, 2013). La grande place de Naghsh-e-Jahan étant entourée par le bazar, les ateliers artisanaux, deux mosquées (Cheykh Lotfollah était une mosquée royale et *Shah* une mosquée publique), le palais royal (Aali-Qapu), etc. constituait le centre culturel, économique, religieux, social et politique de cette époque (Falahat et Shirazi, 2003 ;

Haghighat-Bin et Bostani, 2016). Ainsi, au cours de cette période, la ville s'étend tout en préservant sa structure précédente, notamment son bazar, Karimi (1998). Le squelette principal d'Ispahan évolue donc d'une structure linéaire monocentrique vers une structure en réseau quadrillé et polycentrique (deux centres). Cette nouvelle structure est constituée de voies organiques et le bazar relie le centre ancien (de l'époque des Seldjoukides) à ce nouveau centre (construit à cette époque).

Une autre particularité de cette époque est la construction de l'avenue Tcharbagh (selon un axe nord-sud), qui est une avenue d'environ 40 à 50 mètres de large et 5 km de long, bordée de chaque côté par 2 lignes d'arbres (majoritairement des platanes). Elle constitue un des éléments structurels les plus importants de la ville, reliant la rive nord de la Zayandeh-Roud à sa rive sud - où il y avait les jardins royaux - via le pont historique de Si -o-seh Pol (Falahat et Shirazi, 2003 ; Haghighat-Bin et Bostani, 2016 ; Namdarian et *al*., 2017 ; Azarm et *al*., 2019). Ainsi, la ville a pu se développer également vers le sud de la rivière. Ultérieurement, dans le but d'installer les familles aisées, de nouveaux quartiers résidentiels se sont développés autour de cette avenue (Karimi, 1998). Certaines voies sur les axes est-ouest, perpendiculaires à l'avenue Tcharbagh, favorisent l'accessibilité de ces quartiers.

Un autre élément structurel de la ville qui apparaît à cette période est un réseau hydraulique complexe de canaux (appelé Maadi en persan) destiné à acheminer l'eau de la rivière (Zayandeh-Roud) vers la ville et à la distribuer dans tous les quartiers (Karmi, 1998 ; Falahat et Shirazi, 2003 ; Namdarian et *al*., 2017 ; Haghighat-Bin et Bostani, 2016). Précisons que les canaux principaux de ce réseau fonctionnent toujours. Comme ils sont bordés par de la végétation, ils constituent des lieux d'attraction de la ville.

Depuis la fin de la dynastie Safavide jusqu'à avant l'époque moderne (la dynastie Pahlavi), Ispahan a à nouveau subi une invasion (par les Afghans). Depuis cette période, c'est la dynastie Qadjar qui règne sur l'Iran. Ispahan a perdu son importance et elle n'est plus la capitale du pays. En raison de la situation économique du pays, elle fait face à des crises variées telles que la famine et sa population diminue. Ainsi, l'urbanisation de la ville cesse de se développer (Azarm et *al*., 2019). Elle subit même la destruction de certains de ces monuments historiques issus des dynasties précédentes (Hedayat, 2001).

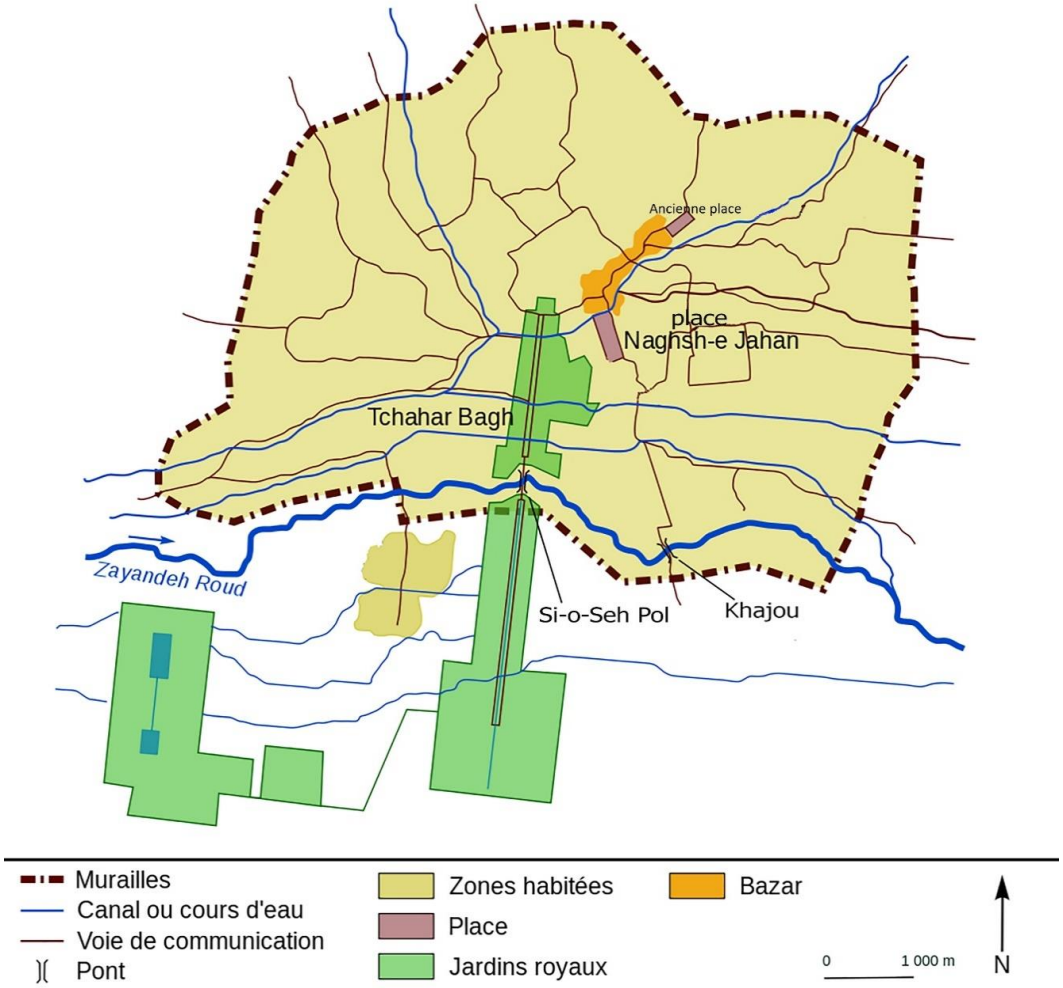

Figure 22. Périmètre et structure spatiale principale d'Ispahan en 1600-1720 (dynastie Safavides)

La ville est marquée par la construction de l'axe nord-sud appelé Tcharbagh qui est bordé par les jardins royaux. Nous pouvons aussi voir la construction d'un nouveau centre pour la ville, la place de Naghsh-e-Jahan. Nous constatons que cette dernière est reliée par le Bazar à l'ancienne place (centre précédent de la ville issu de la période Seldjoukides). À partir d'Ayvazian et *al*. (2002, page 250)

L'époque moderne, la dynastie Pahlavi (depuis 1925) puis la révolution islamique (depuis 1979) : Durant cette période, la ville connaît d'un côté la révolution industrielle de la période moderne et de l'autre côté, à cause d'une croissance démographique[1] élevée, un développement rapide (Azarm et *al*., 2019). La période de la dynastie Pahlavi est marquée par la destruction de la grande place construite à l'époque des Seldjoukides2, par l'élargissement des voies, la construction d'artères faisant des coupures dans les tissus urbains des quartiers anciens (Hedayat, 2001). En outre, par la localisation des grandes industries telles que l'industrie textile, une raffinerie de pétrole, l'industrie pétrochimique, l'aciérie, la cimenterie, la défense, etc. Ispahan devient un des pôles industriels du pays.

Depuis la révolution islamique, et dans la continuité de la dynastie Pahlavi, la ville évolue avec la construction de larges avenues dédiées aux voitures. La motorisation de la ville s'accélère. De plus, l'industrialisation de la ville continue d'augmenter et d'influencer la démographie en accueillant des vagues d'immigration des autres villes et des zones rurales. Par ailleurs, la guerre Iran-Irak (1980-1988) renforce encore les vagues d'immigration, particulièrement depuis les villes du sud du pays. Dès lors, plusieurs quartiers résidentiels sont construits pour répondre à cette hausse de la population, notamment dans les parties nord, sud et est de la ville (figure 23).

Ainsi, pendant la période moderne, la structure urbaine a très rapidement changé et elle n'a pas suivi la même morphologie qu'auparavant. Pourtant, Tcharbagh constitue toujours l'un des axes nord-sud principaux de l'Ispahan actuelle et la ligne de métro récemment inaugurée (en 2017) passe au-dessous de cette avenue. Ainsi, en plus d'être un axe touristique, elle est toujours un des éléments les plus importants de la structure spatiale d'Ispahan. Dans ce qui suit, nous présentons le réseau de voirie actuel d'Ispahan que nous avons structuré en deux catégories.

[1] La croissance démographique débute avec la révolution industrielle et s'accélère avec la révolution islamique.

[2] Depuis 2008, la mairie d'Ispahan a lancé un grand projet de destruction-reconstruction et de réhabilitation, en reconstruisant cette ancienne grande place et ses quartiers alentour. Dans ce projet, le trafic motorisé est transféré au sous-sol, permettant de réserver la place uniquement aux modes doux de déplacement.

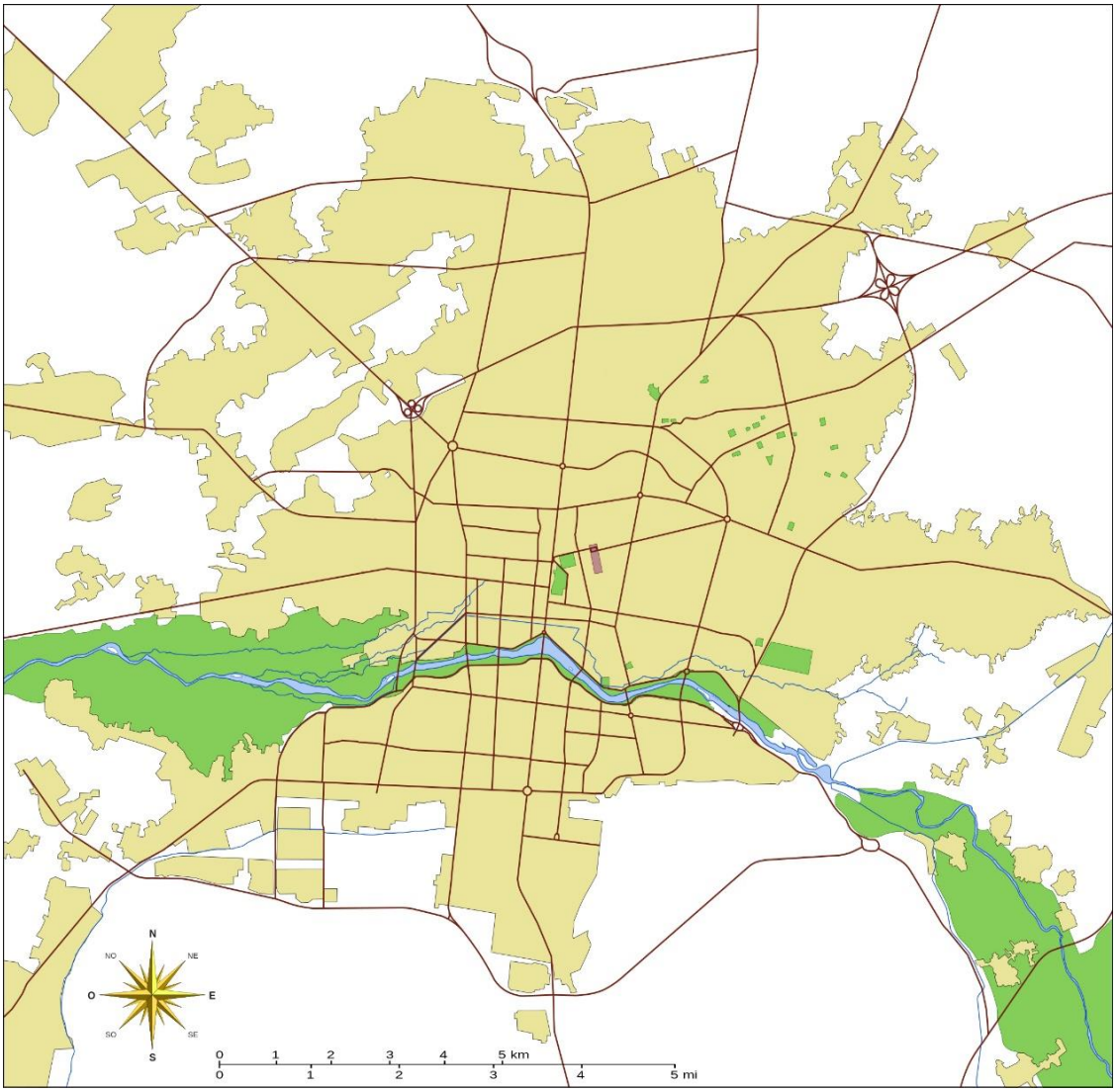

Figure 23. Structure générale des réseaux actuels de voirie d'**Ispahan**
Nous constatons que le réseau des rues principales est plutôt quadrillé. Source : à partir de https : //commons.wikimedia.org/wiki/File: Isfahan_city_map.svg?uselang=fr

Un réseau de voirie organique irrégulier

Premièrement, dans les quartiers anciens localisés dans les zones centrales et historiques de la ville, le réseau de voies locales est en grande partie organique et non géométrique (figures 24 et 25). Il s'agit donc de tracés de rues irrégulières, étroites et en courbes, ayant beaucoup d'angles et avec une forte densité de culs-de-sac. De plus, ces quartiers comprennent des îlots relativement petits , de formes irrégulières, avec une forte densité résidentielle et des bâtiments de hauteur maximale de 2 ou 3 étages, afin de ne pas dépasser la hauteur des monuments historiques[1].

Deuxièmement, dans les zones périphériques, notamment à l'ouest et à l'est de la ville, nous constatons l'existence de réseaux de voirie organiques (figure 26). En effet, en raison de l'extension très rapide d'Ispahan dans les années suivant la révolution islamique[2] et la guerre Iran-Irak[3], les noyaux d'habitats des zones rurales et les terrains agricoles sont intégrés à la ville, tout en conservant leurs caractéristiques structurelles organiques irrégulières initiales. De plus cette période est marquée par des vagues d'immigration provoquées par la guerre Iran-Irak, depuis des villes du sud du pays vers les villes du centre (y compris Ispahan).

[1] Ceci est imposé par l'UNESCO

[2] En 1979

[3] De 1980 à 1988



Figure 24. Réseaux organiques et irréguliers de voies locales à l'intérieur des quartiers centraux d'**Ispahan**

Nous constatons que les voies principales entourant ces quartiers sont rectangulaires. L'avenue Tcharbagh constitue l'axe nord-sud principal d'Ispahan et notamment celui de la partie centrale de la ville.

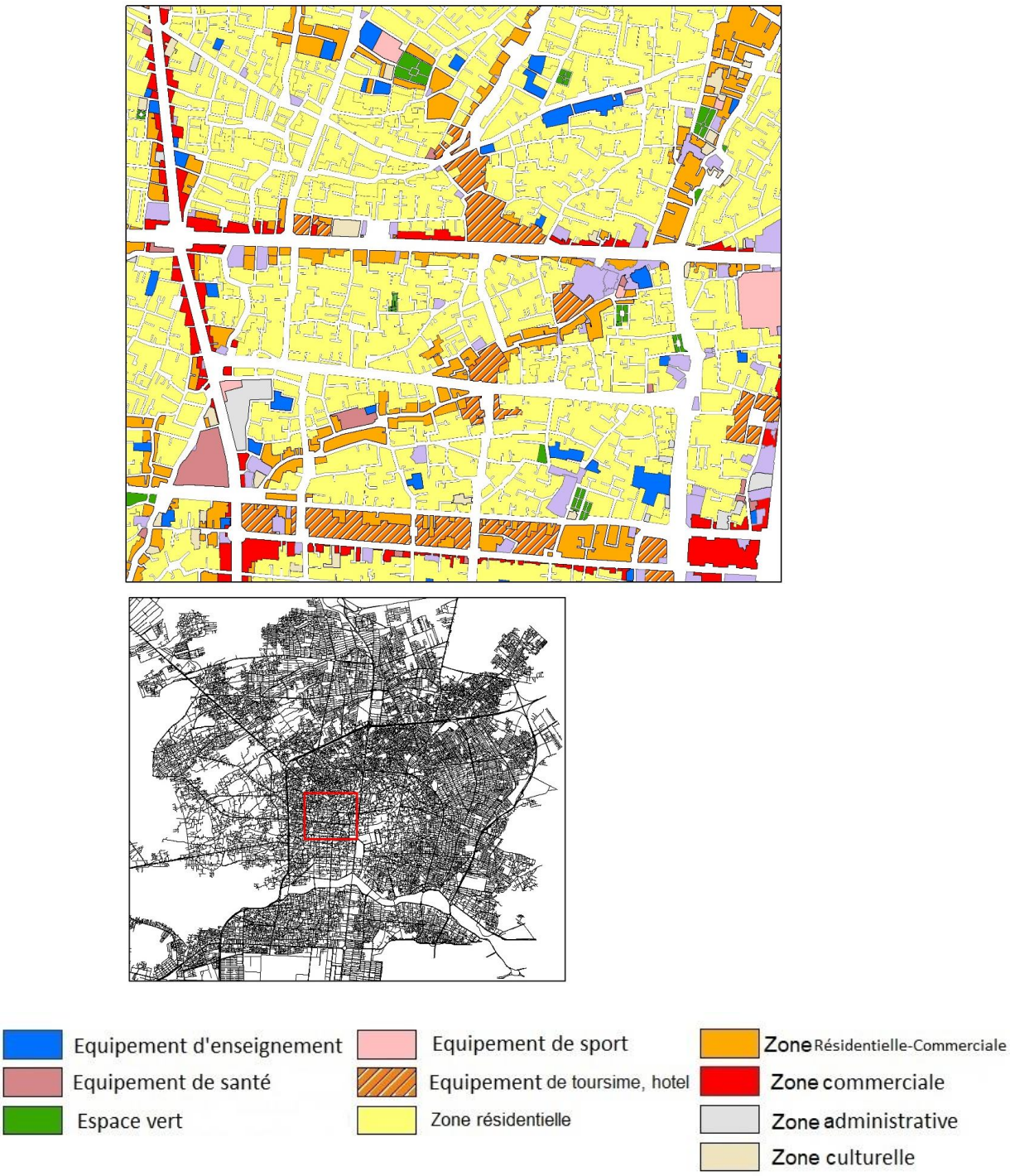

Figure 25. Quartiers multifonctionnels centraux et historiques d'**Ispahan**

Ces quartiers sont issus du développement de la ville à l'époque de la dynastie Safavide. Le tracé des rues est organique et irrégulier à l'intérieur du quartier, tout en étant entouré par des voies rectilignes quadrillées construites à l'époque moderne.

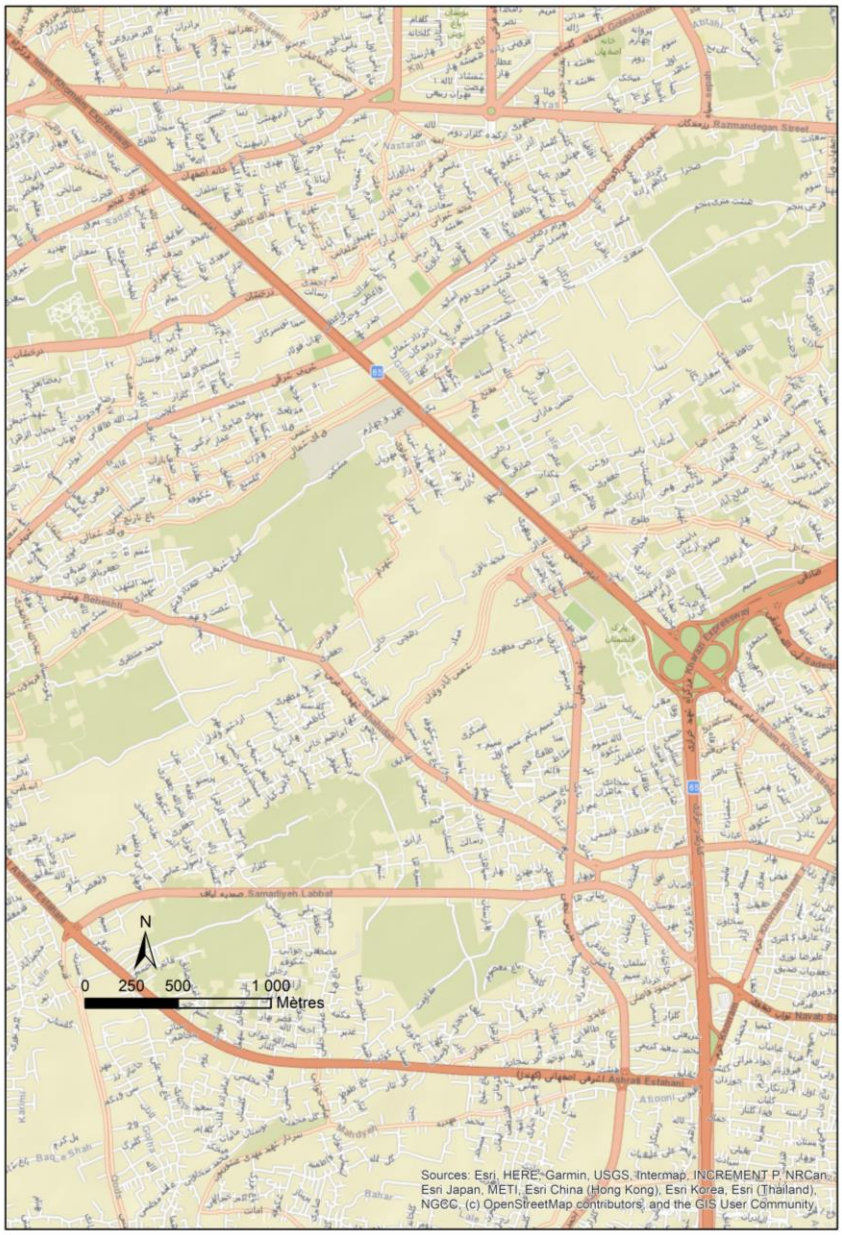

Figure 26. Réseaux organiques et irréguliers de voirie des quartiers périphériques de l'ouest d'**Ispahan**

Ces quartiers correspondent aux noyaux d'habitation des zones rurales, intégrés à la ville ces 25 dernières années. Les terrains agricoles sont représentés en vert.

Un réseau de voirie rectangulaire

Au cours de la période contemporaine, plus précisément durant la dynastie Pahlavi (depuis 1925), certains quartiers historiques centraux ont été coupés à cause de la construction de larges boulevards, dans le but de moderniser la ville et de faciliter l'usage des moyens motorisés de déplacements. Ainsi, les voies préexistantes permettant à l'origine les déplacements à pied ou les déplacements d'animaux (de chevaux ou d'ânes) sont élargies en faveur des moyens motorisés de déplacements. Dès lors, la structure du réseau de voirie principale a beaucoup évolué, passant des formes organiques à des formes rectangulaires, au bénéfice de la circulation des voitures. C'est pourquoi les quartiers anciens et centraux sont désormais entourés par des avenues larges et droites quadrangulaires (figures 27). Rappelons que les voies locales à l'intérieur de ces quartiers ont conservé leurs formes organiques et irrégulières.

En outre, les quartiers issus des développements contemporains qui entourent les quartiers anciens situés au nord (figure 28), à l'est (figure 29) et au sud de la ville sont marqués par des réseaux de voies (locales et principales) quadrillés et réguliers. Ainsi, à mesure que l'on s'éloigne du centre-ville vers la périphérie, la ville est façonnée *par* et *pour* l'automobile. Une grande partie de ces quartiers ont été construits à partir d'un plan de développement officiel (le schéma directeur de la ville) au cours des dernières décennies (figure 29). Leurs réseaux de voirie se caractérisent donc par : (a) un réseau de voirie rectangulaire, (b) une faible densité de culs-de-sac et (c) un grand nombre d'immeubles de hauteur moyenne, ce qui a augmenté la densité résidentielle (Mirzaei et *al*. 2018). De ce fait, le réseau de voirie dans ces quartiers est peu dense et les îlots urbains sont grands. De plus, dans ces quartiers, l'occupation du sol n'est pas diversifiée et ils sont généralement monofonctionnels et résidentiels.

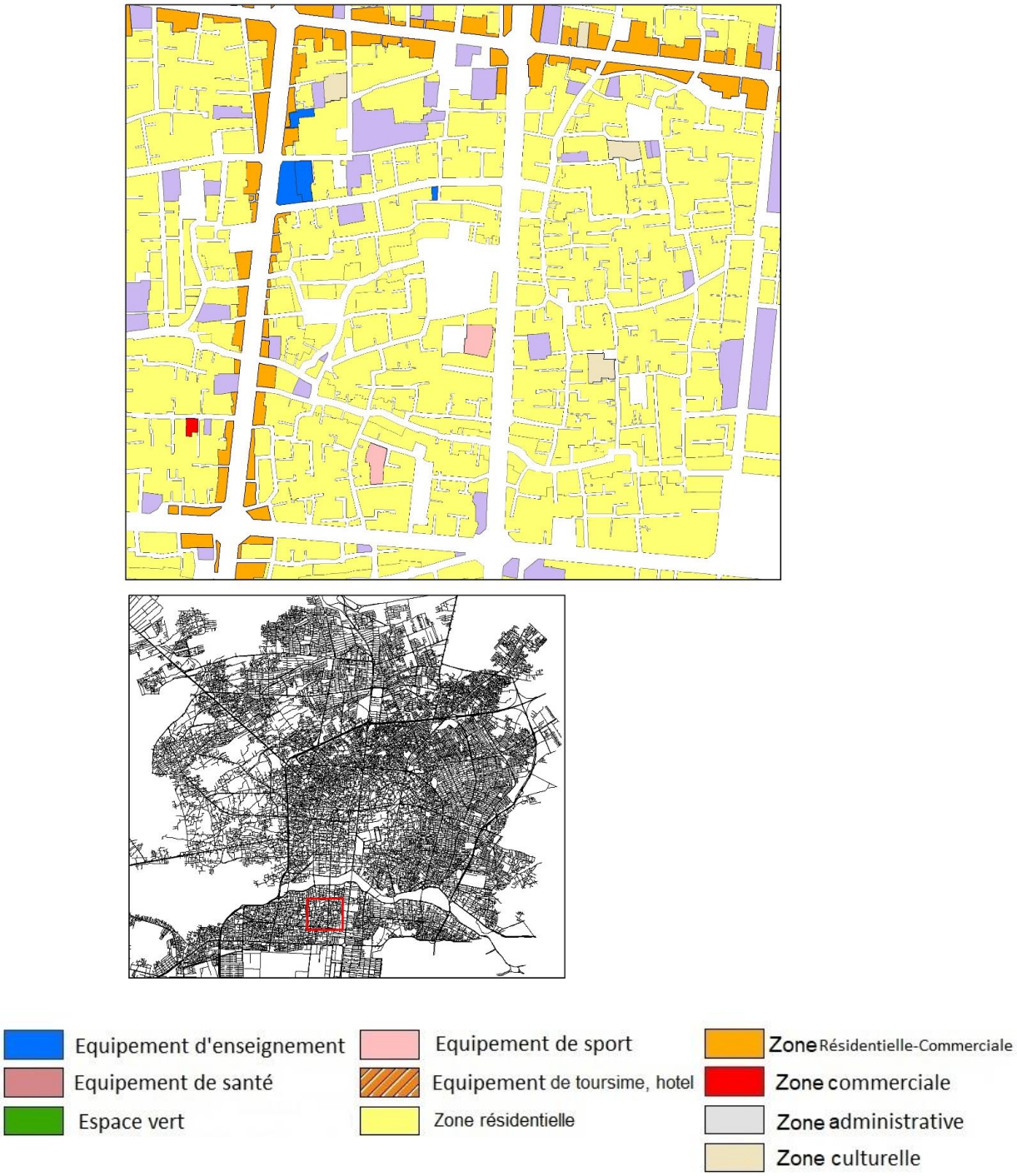

Figure 27. Quartiers résidentiels sud d'**Ispahan**

Ces quartiers sont issus du développement de la ville durant les 3 dernières décennies et l'absorption des noyaux d'habitats ruraux et des terrains agricoles. Le tracé des rues est organique et irrégulier à l'intérieur du quartier, tout en étant entouré par des voies rectilignes quadrillées.

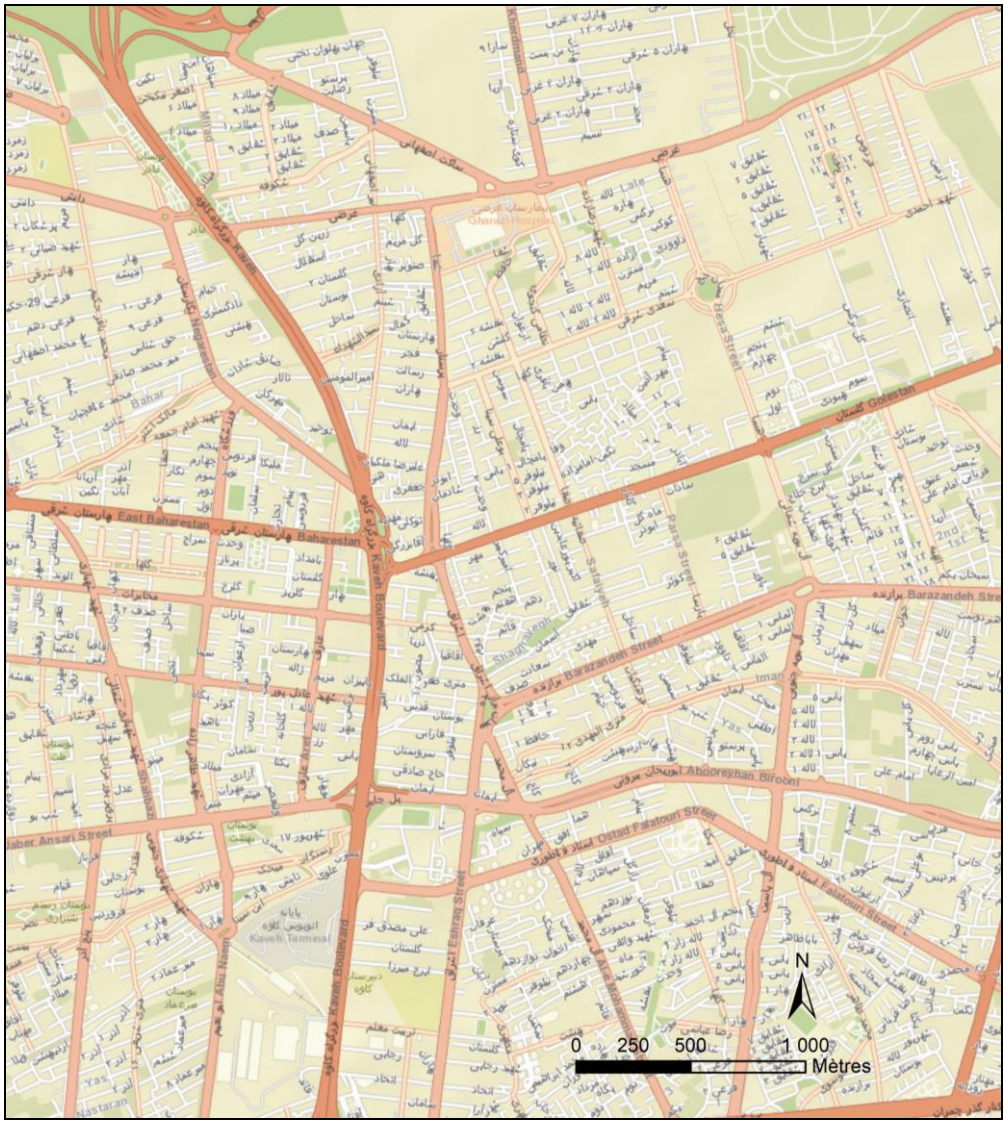

Figure 28. Réseaux de voies principales et locales majoritairement rectangulaires et réguliers des quartiers périphériques du nord d'**Ispahan**

Ces quartiers résidentiels sont issus des nouvelles constructions après la révolution islamique.

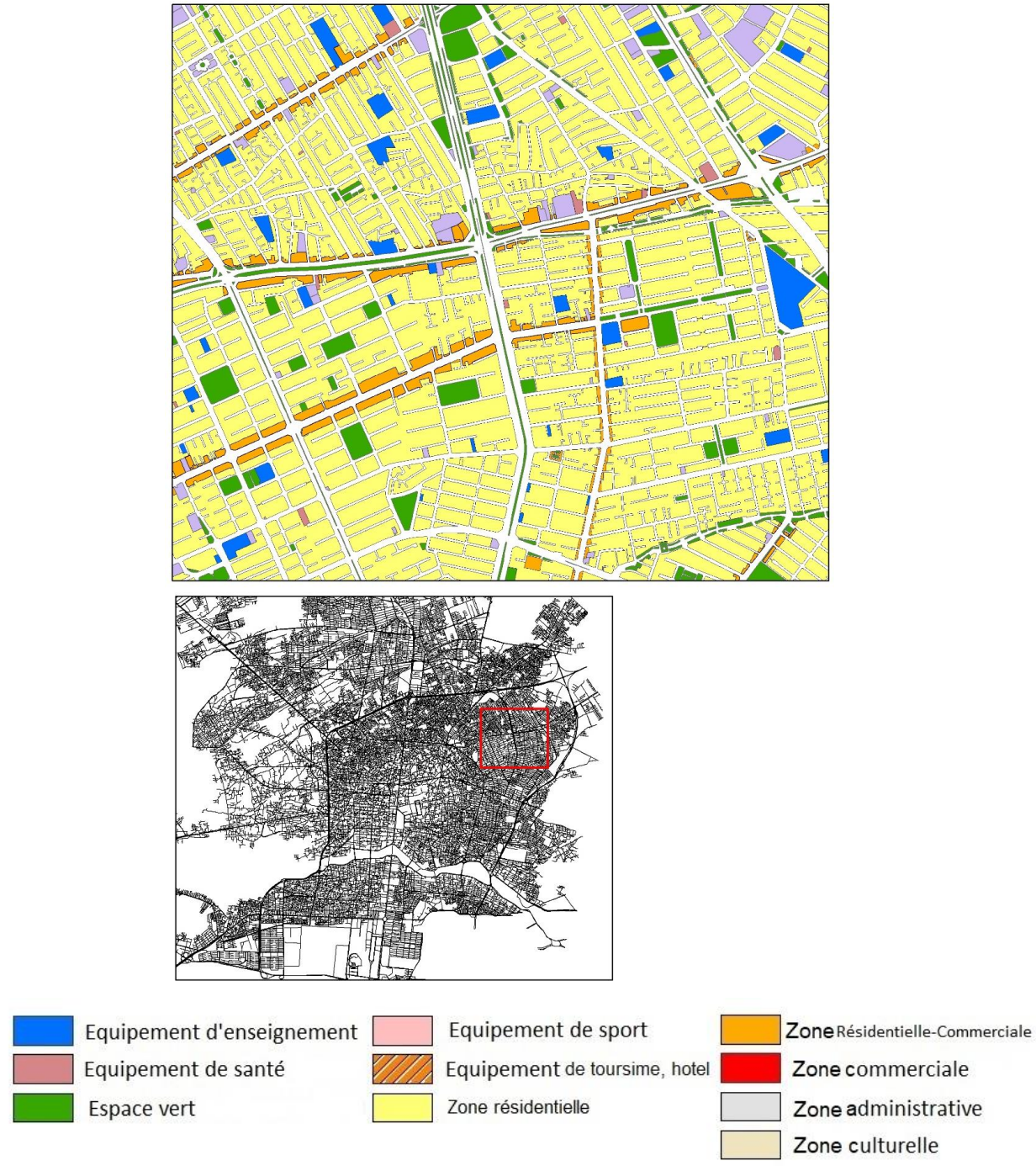

Figure 29. Quartiers résidentiels aménagés récents dans la partie Est d'**Ispahan**
Le tracé des rues est régulier et quadrillé.

6-1- 2 - Le système de transport

Le système de transport d'Ispahan est composé de divers modes de déplacement collectifs : réseau de bus (97 lignes), BRT[1] (3 lignes), minibus, taxis et, depuis 2017, une ligne de métro.

[1] Bus Rapid Transit (Bus à haut niveau de service/BHNS) qui circulent sur des voies dédiées (site propre).

Le fonctionnement du système de taxis en Iran est très singulier[1] . Il est considéré comme un moyen de transport semi-collectif, assuré par une variété de taxis formels[2] et informels[3], collectifs ou privés. Quant à leurs tarifs, comparés aux bus et au métro, ils sont plus élevés, mais pas autant que les taxis en Europe. En Iran, les taxis sont considérés comme plus confortables et plus rapides que les bus et comme dédiés à certains trajets, notamment ceux qui sont longs.

En raison de sa singularité, la complexité du système de taxis d'Ispahan mérite d'être décrite. (Elle est la même dans toutes les grandes villes iraniennes). Les taxis collectifs (formels ou informels) sont relativement bon marché et ne fonctionnent pas de porte-à-porte. Ils prennent les passagers dans la rue, de manière aléatoire, en leur demandant leur destination pour savoir si celle-ci correspond au trajet qu'ils parcourent. Ils prennent maximum trois passagers à la fois à l'arrière du véhicule et un à l'avant. Ensuite, au cours du trajet, le taxi les dépose à la demande et un par un sur le chemin, sans dévier de son trajet et uniquement sur les artères principales de la ville, à l'endroit le plus proche de leur destination. Il est possible qu'un passager descende en même temps qu'une autre monte et le remplace aussitôt. De fait, le chauffeur n'a pas un trajet prédéterminé ; il peut le changer au cours de la journée et en fonction de son lieu de résidence, de ses préférences individuelles ou s'adapter aux demandes des passagers qu'il embarque. Cela convient majoritairement aux trajets directs qui ne sont pas très longs. Les taxis fonctionnent souvent comme des moyens de transport intermédiaire. Ainsi, certains déplacements entre une paire d'origine et de destination peuvent donner lieu à plusieurs changements de taxis ou à l'utilisation d'autres moyens de déplacement.

Cependant, lorsqu'il s'agit de parcourir des trajets plus longs et plus complexes, une grande majorité de taxis s'arrêtent à des points d'arrêts fixes qui correspondent à certaines intersections ou aux places principales de la ville, en criant leurs destinations. Les passagers

---

[1] Vu l'importance économique et sociale des taxis en Iran et la particularité de leur système complexe à Téhéran, nous avons dédié notre mémoire de Master 2 à ce sujet. Nous l'avons intitulé : « *Le service de mobilité intermédiaire et l'usage de l'automobile dans la métropole de Téhéran (fonctionnement des taxis formels et informels)* ». Ce mémoire a été réalisé dans le cadre d'un stage au sein de direction de la recherche de Renault (Guyancourt, France).

[2] Ils sont gérés par l'organisation des taxis rattachés à la mairie ainsi que par certaines entreprises privées. Leur apparence se distingue de celle des autres voitures par leur couleur.

[3] Toutes les personnes ayant une voiture peuvent travailler comme conducteur de taxi en véhiculant des passagers. Cette activité est illégale mais néanmoins courante et tolérée. Les automobilistes qui cherchent à arrondir leurs fins de mois embarquent ainsi des passagers sur leurs chemins, en rentrant le soir du travail ou à n'importe quel moment de la journée. Notons que les femmes sont plus prudentes concernant l'usage de ces « taxis », plus particulièrement le soir et dans les zones peu denses de la ville.

s'assoient dans le taxi. Dès qu'il est plein (4 passagers), il part vers la destination (une autre place ou une intersection importante de la ville). Si un passager est pressé et ne souhaite pas attendre que le taxi soit plein, il peut payer à la place des trois autres passagers et partir vers sa destination. Ces taxis s'appellent les « taxis de lignes ». Leurs trajets et leurs tarifs sont prédéterminés par l'Organisation des Taxis de la Mairie d'Ispahan. Ceux-ci doivent être affichés sur la vitre avant du véhicule. Les chauffeurs de « taxis de ligne » sont très solidaires entre eux. Par exemple, ils payent un « chef de ligne » pour qu'il surveille les taxis informels afin de les empêcher de leur « piquer » leurs clients. Celui-ci organise aussi de manière équitable le tour de tous les taxis dans le but que tout le monde effectue le même nombre de circuits.

Les taxis à la demande et qui effectuent des trajets de porte à porte ne sont pas collectifs. Ils sont gérés par des entreprises privées ou par la mairie comme les taxis d'aéroport, les « remote taxis »[1]/« taxis bisime » (pouvant être spécifiques aux hommes ou aux femmes), les « taxis-écoles »[2] (pour déplacer les écoliers), les taxis Tap30 ou Snap[3] qui sont d'autres formes de taxis ayant des tarifs plus élevés que les taxis collectifs.

Selon les estimations de l'Organisation du Transport et de la Mobilité de la Mairie d'Ispahan (OTMMI, 2019), les taxis formels sont environ au nombre de 10 000. Leur part dans les déplacements quotidiens des ispahanais était de minimum 12 % en 2019. Précisons qu'elle était d'environ 15 % avant l'inauguration des lignes de BRT et de la ligne de métro.

À Ispahan, le taux de possession de voiture est en moyenne de 480 véhicules pour 1000 habitants (OTMMI, 2019). Nous n'avons malheureusement pas trouvé d'indications sur la motorisation des ménages. Par ailleurs, les déplacements des habitants d'Ispahan sont en général fortement motorisés, ce qui peut s'expliquer en partie par un prix de carburant relativement moins cher qu'en France. En effet, en 2020, en Iran, le prix d'un litre de

[1] Ils fonctionnent comme les taxis en France.

[2] En Iran, une grande majorité des écoliers de 5 à 18 ans se déplacent collectivement en taxis, de sorte qu'au début de l'année scolaire, les familles signent un contrat avec une entreprise privée dédiée. Les tarifs sont fixés par la mairie et 4 à 5 enfants partagent leur trajet domicile-école.

[3] Il s'agit de l'équivalent d'Uber. En effet, Tap30 et Snap sont les noms de deux applications qui permettent de demander un taxi de porte à porte à partir d'un téléphone portable. Le tarif est prédéterminé avant confirmation de la demande. Il est possible d'évaluer l'automobiliste. Toutes les personnes ayant 23 ans ou plus (hommes ou femmes), qui sont au chômage ou en activité peuvent exercer cette activité, à condition de disposer d'une voiture (pas trop ancienne), d'un casier judiciaire vierge et d'un test de drogue négatif.

carburant était équivalant à 5 centimes d'euros pour moins de 60 litres par mois, et d'environ 10 centimes à partir du 60ème litre. Précisons que le SMIC est d'environ 120 euros par mois.

Selon les estimations de l'Organisation du Transport et de la Mobilité de la Mairie d'Ispahan en 2019 : environ 59 % des déplacements quotidiens sont réalisés en véhicules particuliers, 8 % en deux-roues motorisés, 13 % en bus, 2 % en métro, 2 % à vélo et 5 % avec d'autres modes de transport (les bus et les minibus réservés aux administrations et aux fonctions publiques pour déplacer leurs employés). Cependant, il n'existe aucune enquête qui nous informe sur la part modale de la marche à pied à Ispahan. En revanche, selon une étude réalisée en 2019 par ce même organisme, environ 60 % des utilisateurs du métro se déplacent à pied pour accéder aux stations de métro. Ceci confirme le rôle important de la marche à pied comme moyen de déplacement complémentaire. Nous estimons que la part de la marche à pied pour accéder aux taxis doit également être très importante.

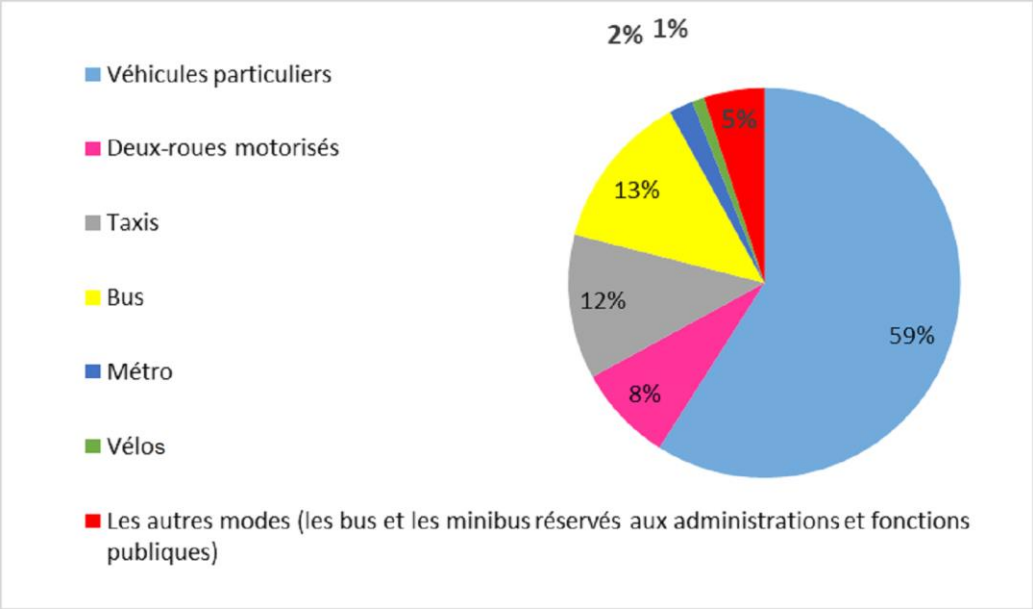

Figure 30. Parts modales du nombre de déplacements quotidiens à **Ispahan** en 2019
Nous constatons que les transports collectifs représentent plus du quart des déplacements quotidiens ispahanais. À partir des données de l'Organisation du Transport et de la Mobilité de la Mairie d'Ispahan

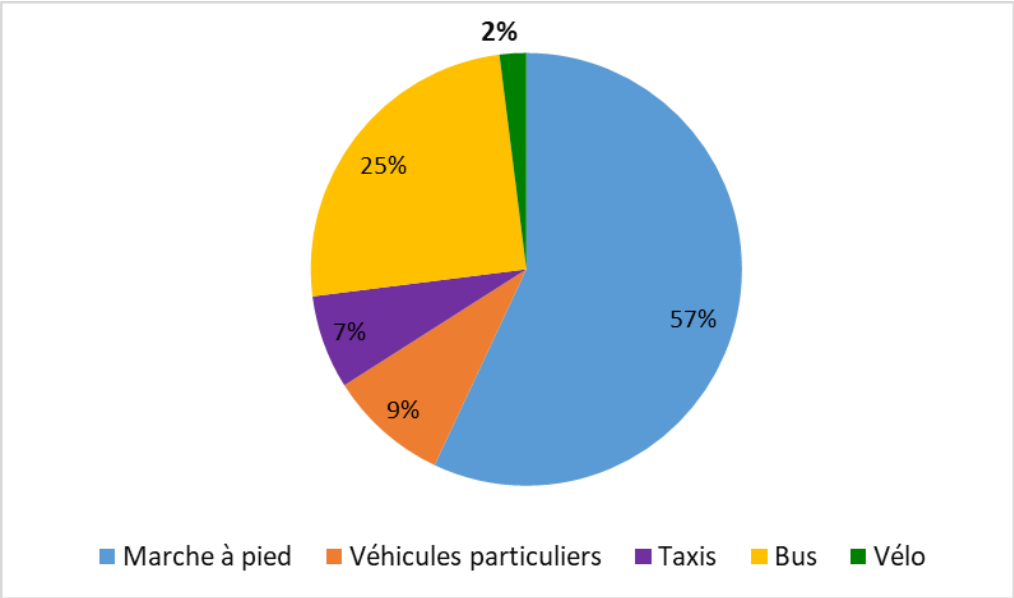

Figure 31. Parts modales des modes de déplacements pour joindre les stations de métro d'**Ispahan**



Figure 32. Place Naghsh-e-Jahan (**Ispahan**)



Figure 33. Avenue Tcharbagh (**Ispahan**)



Figure 34. Les rues locales des quartiers centraux d'**Ispahan**



Figure 35. Les rues locales des quartiers récents du nord d'**Ispahan**

6-2- L’agglomération de Tours

L’agglomération de Tours regroupe 22 communes totalisant près de 354 000 habitants (en 2017) sur une superficie de 390 km². La densité moyenne de la population est d’environ 750 hab./km². La densité est répartie de façon inégale d’une commune à l’autre. La plus grande commune dispose d’une superficie 7 fois plus importante que la plus petite. Les densités minimale et maximale des communes se trouvent dans un rapport de 1 à 100, alors que ce rapport concernant le nombre d’habitant est de de 1 pour 188. Il s’agit donc d’une agglomération classique en matière de distribution des populations. La diversité évoquée traduit une concentration centripète de la population, tempérée ou accentuée par l’histoire des découpages communaux hérités du XVIIIème siècle et des regroupements de communes du XXème.

6-2-1- L’évolution générale de la structure spatiale de Tours

La commune du centre de cette agglomération est la ville de Tours qui compte 136 000 habitant (en 2017). Il s’agit d’une ville moyenne de la région Centre-Val de Loire, chef-lieu du département d’Indre-et-Loire. Elle est traversée d’est en ouest par le fleuve Loire et par la rivière Cher. La topographie est plane en sa partie centrale, entre la Loire et le Cher. Elle est bien délimitée de chaque côté par des coteaux et très légèrement escarpée au sud et au nord (constitué d’un plateau). Tours a un passé riche et multiculturel. Nous présentons maintenant l’évolution chronologique générale de sa structure spatiale (figure 36).

La structure spatiale durant l’Antiquité

Entre le Ier et le IIIème siècles, la ville de Tours est marquée par la construction d’un pont permettant de franchir la Loire, mais aussi de monuments publics comme l’amphithéâtre à l’est de la ville actuelle et de deux établissements thermaux romains. En effet, à l’époque, la ville s’appelait Caesarodunum, un nom romain qui signifie « la ville de César » (Rodier et Galinié, 2006 ; Galinié, 2007). À cette époque, la trame viaire de la Cité reposait sur le croisement perpendiculaire de deux voies principales suivant les axes nord-sud et est-ouest (Galinié, 2007 ; Lefebvre, 2008).

Au IVème siècle, l’histoire de la ville est marquée par l’importance qu’elle prend en tant que chef-lieu administratif de la province et par le début de la christianisation de l’espace urbain par la construction de la cathédrale et de la basilique Saint-Martin (Rodier et Galinié, 2006).

Durant cette période, la Cité se développe autour de son amphithéâtre (dans l'est de la ville actuelle), tout en conservant ses voies principales est-ouest et nord-sud (Rodier et Galinié, 2006 ; Lefebvre, 2008). En outre, depuis le IVème siècle, Tours est une cité fortifiée, entourée par une muraille défensive.

La structure spatiale depuis le Vème siècle

Entre le V et le VIème siècle, le rôle de la religion se renforce à Tours grâce à la promotion du culte de saint Martin à l'ouest de la ville (Rodier et Galinié, 2006). Durant le siècle suivant, la Cité continue de se développer autour de la basilique Saint-Martin, accueillant les évêques, les moines, leur entourage et les pèlerins. C'est ainsi que pendant plusieurs siècles, elle demeure le siège de l'autorité civile et ecclésiastique (*ibid.*).

La Cité s'agrandit au XIIème siècle puis au XIVème siècle, adoptant donc de nouvelles enceintes (Galinié, 2007 ; Lefebvre, 2008 ; Fondrillon et Laurent, 2010 ; Morin et *al*., 2013). Elle s'étend désormais de plus en plus vers l'ouest, parallèlement à la Loire. Son axe principal est-ouest prend plus d'importance et la Cité s'étire dans ce sens.

Similairement à Ispahan, pour la deuxième fois, Tours est désignée comme la capitale de la France au XVème siècle (entre 1430 et 1530). Les rois séjournent donc en Touraine. Ainsi, la ville bénéficie de la présence royale, principalement de la finance publique ou privée. Son économie se développe grâce à l'installation de l'industrie de la soie, de manufactures d'armes, de broderie, d'orfèvrerie, etc. (Rodier et Galinié, 2006). Jusqu'à aujourd'hui, la trame viaire est-ouest est conservée. Il s'agit des boulevards Heurteloup et Béranger qui s'étendent dans la continuité l'un de l'autre, de La Riche à Saint-Pierre-des-Corps, constituant l'axe principal de la ville. Cependant, depuis la construction de la route royale nord-sud au XVIIIème siècle, la structure spatiale de la ville s'appuie sur ce nouvel axe (Rodier et Galinié, 2006). C'est ainsi que le réseau de voirie prend sa forme actuelle. Précisons qu'à cette époque, le périmètre de la ville reste toujours restreint à l'espace situé entre la Loire et son axe est-ouest.

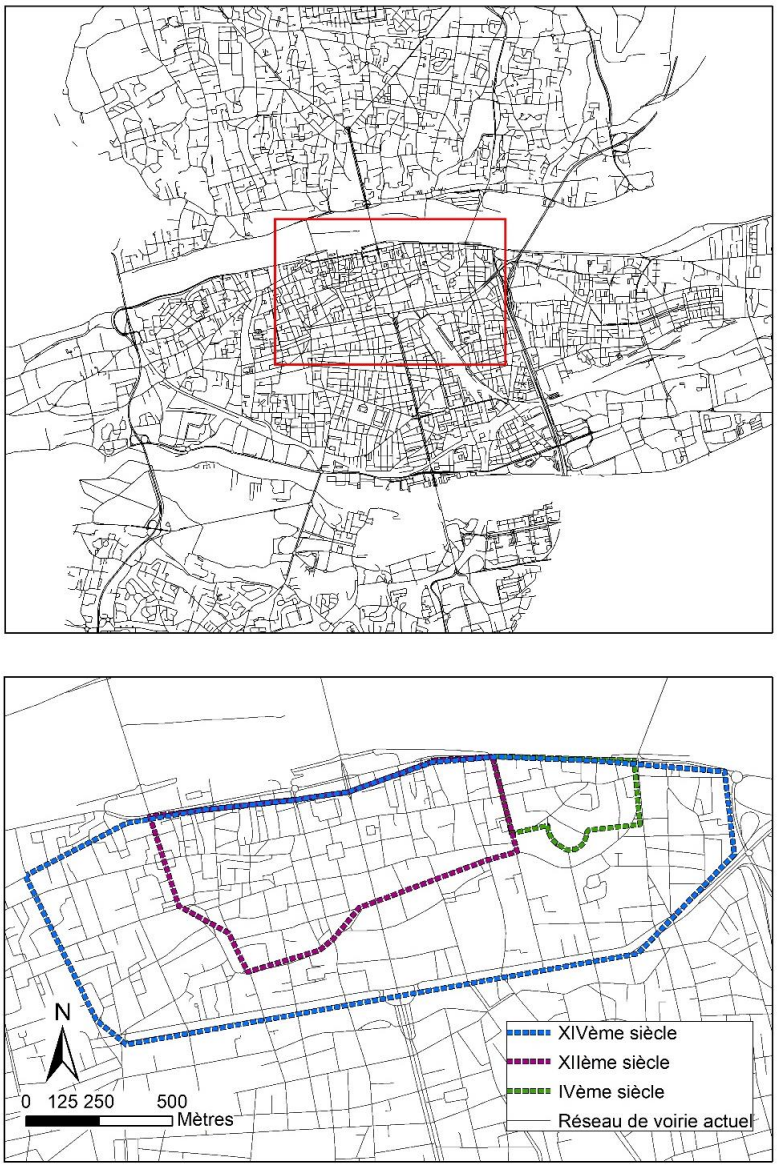

Figure 36. Périmètre de la Cité de **Tours** durant les différents périodes historiques, ainsi que sa localisation par rapport au réseau de voirie actuel.
(À partir de revue de littérature)

La structure spatiale à partir du XIXème siècle

Au milieu du XIXème siècle, avec la destruction de l'enceinte de la ville et l'arrivée du chemin de fer, la ville s'ouvre vers l'extérieur et se développe jusqu'au Cher. Néanmoins l'axe nord-sud reste l'axe principal de la structure de la ville.

Cette structure est conservée pendant les reconstructions après la Seconde Guerre mondiale. Depuis le milieu des années 1950, et particulièrement depuis les années 1980, l'agglomération tourangelle, y compris la ville de Tours, fait face à la croissance démographique et donc à l'étalement urbain avec la construction de zones pavillonnaires

(Lussault, 1993). La ville se développe de plus en plus vers le nord et le sud. L'axe nord-sud conserve donc son importance.

Quant à la structure du réseau de voirie, un axe rectiligne nord-sud constitue l'axe principal de Tours. Cet axe débute au nord de la Loire, traverse le centre de Tours, puis la rivière du Cher. Il est constitué de l'avenue de la Tranchée, du pont de Wilson, de la rue Nationale et de l'avenue Grammont, du pont du Sanitas et du pont du Lac. L'axe nord-sud fait environ 6 kilomètres de long (figure 37). En outre, les boulevards Heurteloup et Béranger correspondent à l'axe principal est-ouest de Tours.

La structure spatiale de Tours-centre (la partie entre la Loire et le Cher) est marquée par un réseau de voirie relativement dense dans lequel les rues sont très interconnectées, et majoritairement régulières et quadrangulaires. Le réseau de voirie est constitué de rues parallèles et perpendiculaires à la rue Nationale et au boulevard Heurteloup-Béranger (figure 38). Les îlots urbains sont quadrangulaires et petits. Précisons que cette partie est dense, aussi bien en ce qui concerne la population qu'en matière d'occupations des sols (figure 39). Les activités urbaines y sont très diversifiées. Elles sont principalement composées d'activités à vocations commerciale, éducative et culturelle.

En revanche, le réseau de voirie du quartier situé entre la rive nord de la Loire et la place de la Tranchée se caractérise par des réseaux de rues irréguliers et complexes, des culs-de-sac et des rues sinueuses desservant des quartiers résidentiels (figure 40). À partir de la fin de l'axe nord-sud (au niveau de la Place de la Tranchée), une grande partie de Tours-nord retrouve un réseau de voirie plutôt régulier et mixte (quadrangulaire - sinueuse), avec un réseau de voirie peut dense et donc de grands îlots urbains (figure 38). Il s'agit principalement de quartiers résidentiels pavillonnaires, ainsi que d'équipements grands consommateurs d'espace tels que des centres commerciaux (figure 41).

En outre, dans les quartiers résidentiels nouvellement aménagés de la partie extrême sud et de l'est de Tours, ainsi que dans les communes limitrophes de Tours (telles que Saint-Cyr-sur-Loire, Joué-lès-Tours, Saint-Pierre-des-Corps), le réseau de voirie est constitué de culs-de-sac et de rues sinueuses et parfois irrégulières.

Ajoutons que de manière générale, la Loire, le Cher, le réseau ferroviaire, les grandes infrastructures routières (par exemple l'autoroute A10) et les grandes surfaces constituent les éléments principaux de la structure spatiale actuelle de la ville. Ainsi, la présence de ces éléments structurels crée d'un côté des ruptures importantes au sein des tissus urbains de la

ville, en isolant certains quartiers et en rompant la continuité du réseau de voirie, notamment pour les déplacements à pied. D'un autre côté, ces éléments structurels relient la ville et ses zones limitrophes. Ils facilitent donc les échanges à l'échelle nationale.

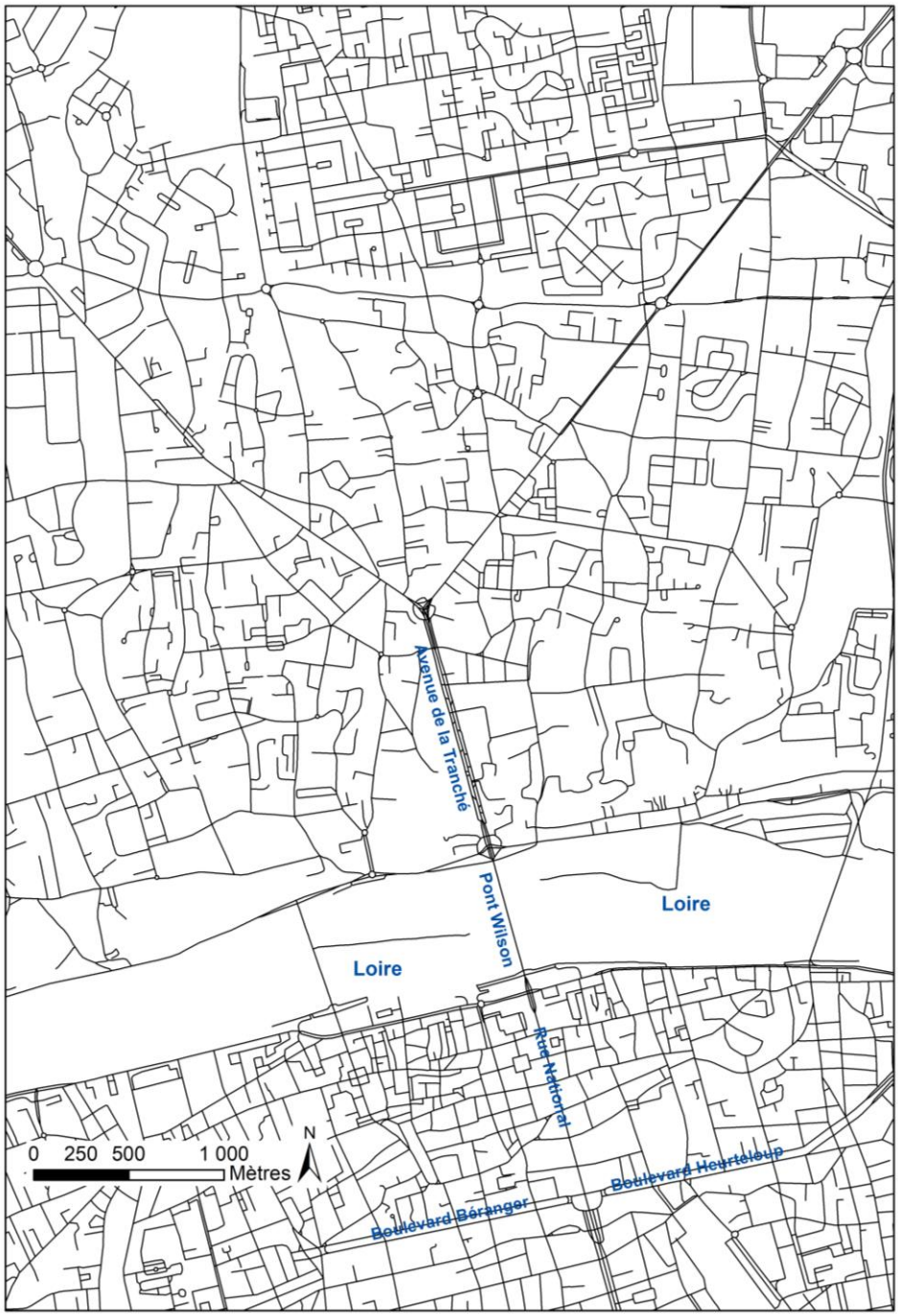

Figure 37. Structure spatiale de **Tours**, partie nord de la Loire
Le réseau de voirie est majoritaireemnt irrégulier et organique

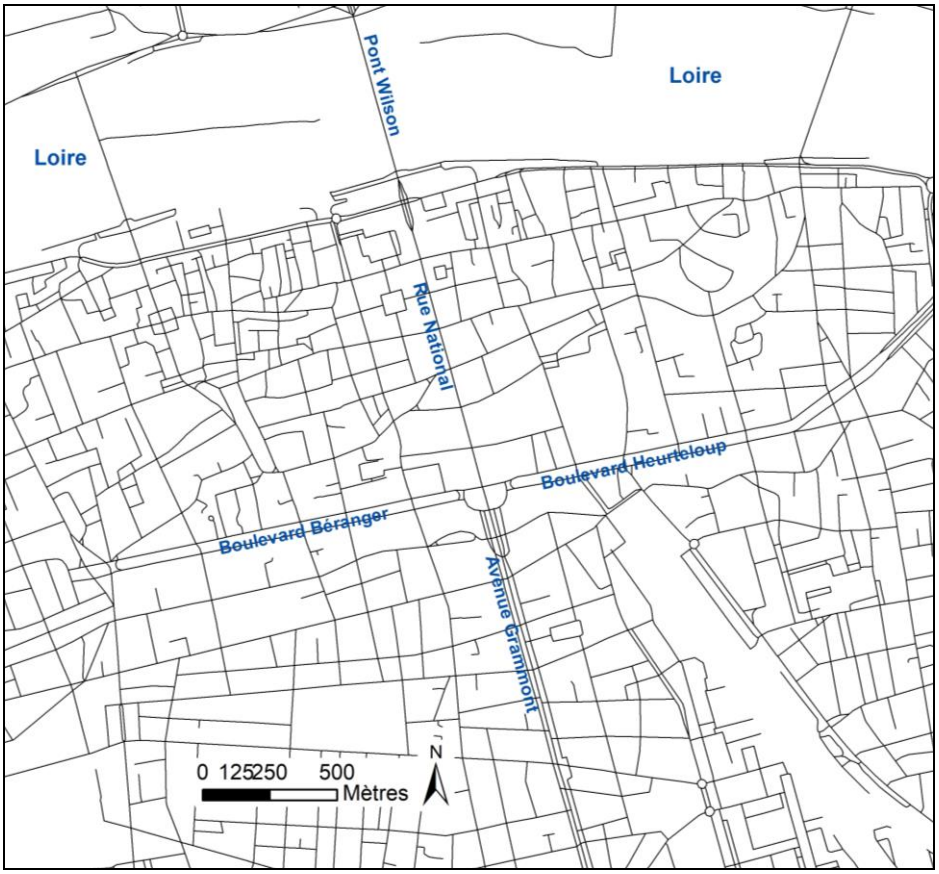

Figure 38. Structure spatiale des quartiers centraux de la commune de **Tours** (au sud de la Loire)

Nous constatons qu'elle est marquée par l'axe principal nord-sud et les boulevards Béranger et Heurteloup, perpendiculaires à cet axe.

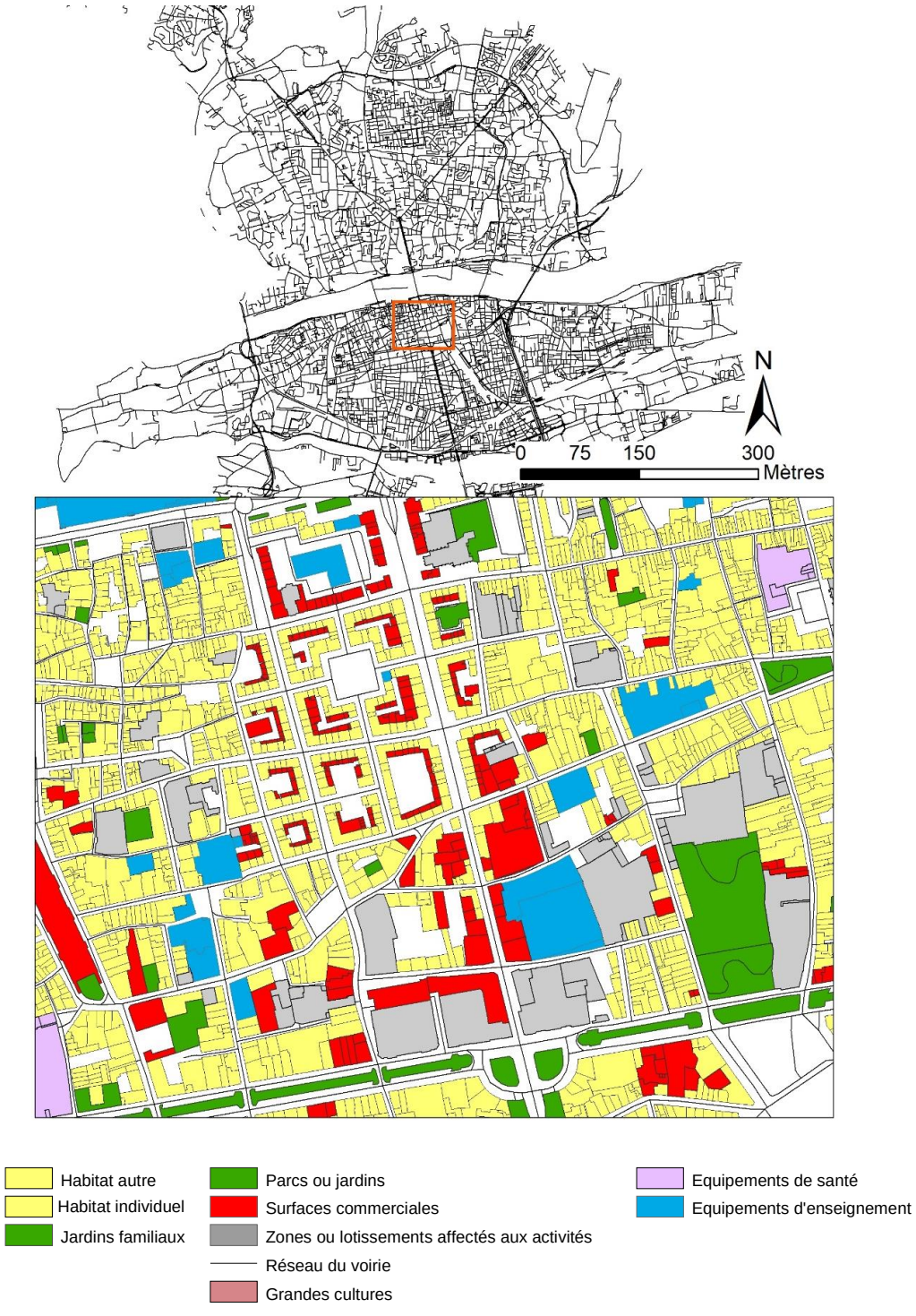

Figure 39. Quartiers anciens et historiques de **Tours**-centre

Des tracés des rues plutôt réguliers et quadrangulaires desservant des activités urbaines diversifiées.

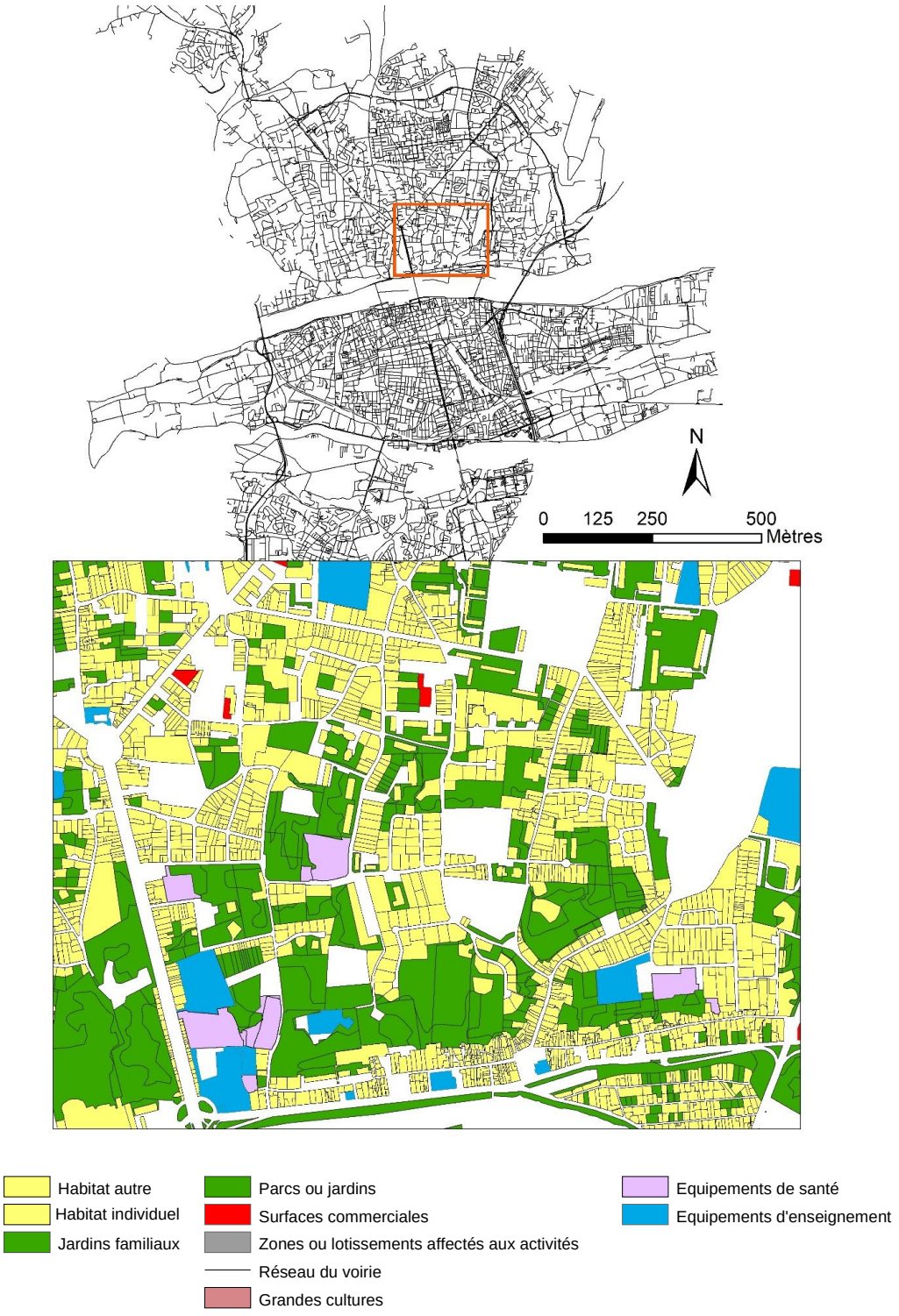

Figure 40. Partie nord de la Loire : des tracés de rues irréguliers et complexes et des rues sinueuses desservant les quartiers monofonctionnels résidentiels

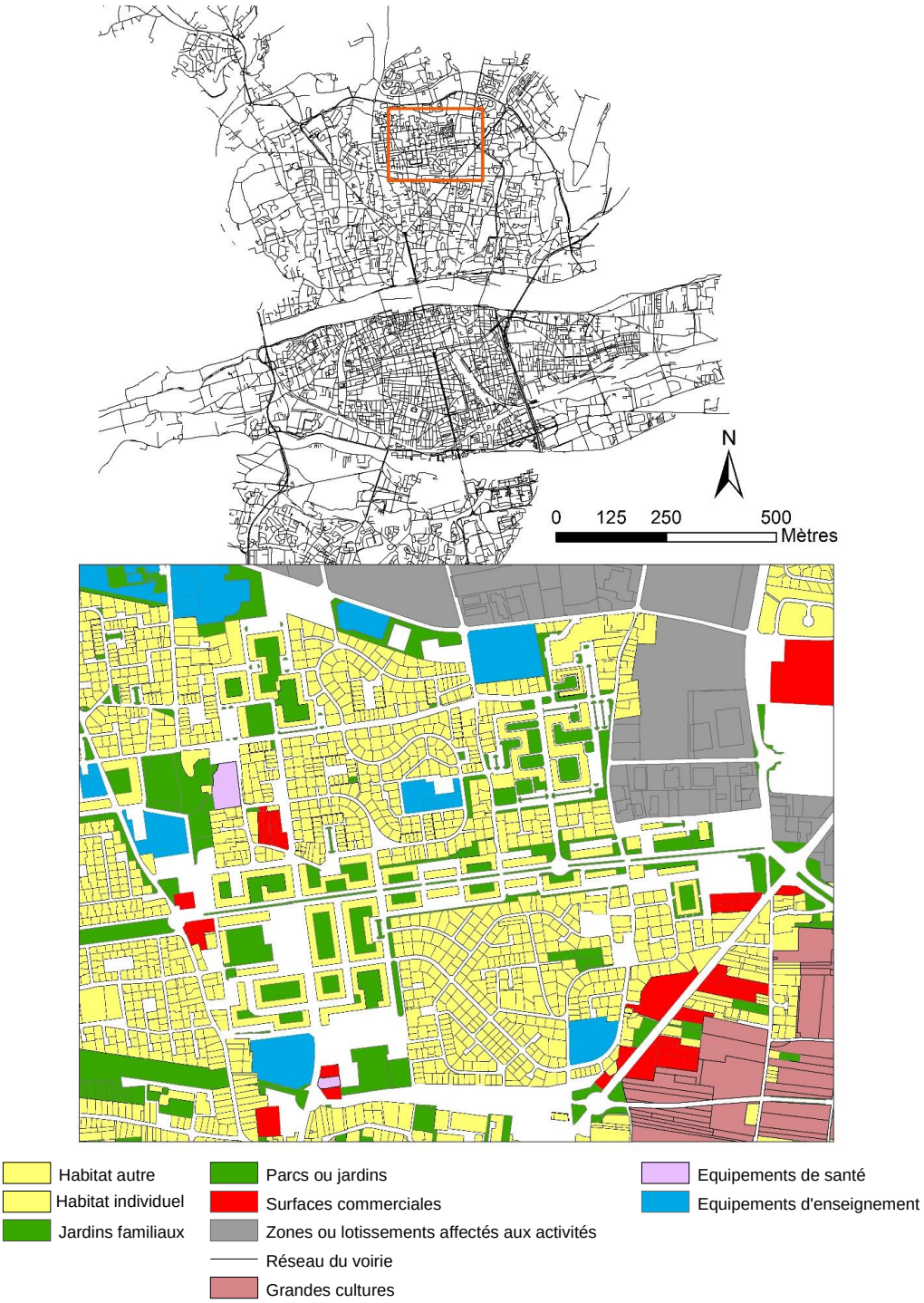

Figure 41. **Tours**-nord, au-delà de la Place de la Tranchée : les quartiers résidentiels pavillonnaires ont des tracés de rues réguliers et mixtes

6-2-2- Le système de transport

Le système de transport d'Indre-et-Loire est composé du réseau de transport collectif comprenant des bus, une ligne de tramway et un réseau ferroviaire. À ces modes de transports s'ajoutent les voitures particulières, le vélo, les deux-roues motorisés et la marche. Dans le but

de nous renseigner sur les pratiques de déplacement, nous nous sommes appuyée sur les résultats de la grande Enquête de Mobilité[1] Certifiée Cerema (EMC²), commandée par le Syndicat des mobilités de Touraine et menée en 2019. C'est une enquête quantitative qui s'intéresse particulièrement aux parts modales pour chaque mode de transport et à la répartition des flux (les origines-destinations) des habitants du département d'Indre-et-Loire. Cette enquête a mis en lumière les spécificités des pratiques de déplacement des habitants du noyau urbain[2] du département d'Indre-et-Loire.

- 36 % des déplacements sont effectués[3] à pied, 47 % en voiture, 13 % en transport en commun et seulement 4 % à vélo. Il faut préciser que la part modale[4] de la marche est encore plus élevée dans certains secteurs comme dans le centre historique de Tours, où elle peut monter jusqu'à 65 %, et dans le centre-ouest de Tours, où elle monte jusqu'à environ 57 %. Dans le centre-est de Tours, à Saint-Pierre et à La Riche, la part modale de la marche n'est que de 40 %. Ceci met en évidence l'importance du déplacement pédestre dans notre périmètre d'étude. Dans cette enquête, il est précisé que seuls les déplacements réalisés uniquement à pied sont comptabilisés comme mode principal. Ainsi, quand la personne a marché pour rejoindre un autre moyen de transport (par exemple se rendre à sa voiture ou à un arrêt de transport en commun), ce déplacement n'est pas pris en compte dans la chaîne des déplacements et il n'est par conséquent pas considéré comme un autre mode. Ceci montre que la part de la marche à pied est plus importante que ce que disent les chiffres cités plus haut.

- L'analyse croisée entre la distance moyenne des déplacements effectués et les parts modales nous informe de façon plus détaillée sur la marche des habitants du noyau urbain d'Indre-et-Loire : 87 % des déplacements de moins de 500 mètres et 70 % des déplacements de 500 à 1000 mètres sont effectués à pied. Pourtant, pour les distances de 1000 à 2000 mètres, la part modale de la marche

[1] https : //emc2-touraine-mobilites.scan-datamining.com/home

[2] Le noyau urbain du département d'Indre-et-Loire correspond à la commune de Tours et à sa première couronne (les 5 communes situées autour) contenant 40 % de la population de ce département. Celui-ci recouvre notre périmètre d'étude.

[3] Ceci est calculé à partir du nombre de déplacements quotidiens effectués par chaque mode, comparé aux au nombre total des déplacements.

[4] Le « part modale » définit la part prise par les différents modes dans tous les déplacements effectués.

descend à 44 %, et pour les distances de 2000 à 3000 mètres celle-ci est seulement de 18 %. Ainsi, sans surprise, la pratique de la marche diminue avec l'augmentation de la distance, sachant que la longueur moyenne des déplacements à effectuer à pied est de 0,9 kilomètre, alors qu'elle est respectivement de 7,3 et de 7 kilomètres pour les déplacements en voiture et en transport en commun. Quant à la durée moyenne des déplacements en minutes, elle est de 12 minutes pour les déplacements à pied, de 18 minutes pour les déplacements en voiture et de 35 minutes pour les déplacements en transport en commun. C'est pour cette raison que bien que, la part modale des déplacements à pied (quantité) soit de 36 %, la distance cumulée parcourue à pied (longueur) est seulement de 8 %.

- Concernant les modes de déplacement selon l'âge, plus de la moitié des personnes qui ont entre 75 ans et plus, ainsi que plus de la moitié des enfants de 5 à 10 ans effectuent leurs déplacements à pied. La marche à pied constitue également le mode de déplacement d'environ 45 % des personnes qui ont entre 11 et 24 ans. Par contre, la part de la marche chez les individus de 25-49 ans est seulement de 34 %.

- Ce sont les personnes au foyer qui marchent le plus avec environ 60 % de leurs déplacements quotidiens, ensuite les chômeurs, les scolaires, les personnes à la retraite et les étudiants qui effectuent environ la moitié de leurs déplacements à pied. En revanche la part de la marche dans les déplacements quotidiens des personnes qui sont actives à temps plein est uniquement de 27 %. Ces dernières se déplacent principalement (65 %) en modes motorisés.

- Le taux de motorisation (le nombre moyen de véhicules à disposition d'un ménage) est de 0,98 voiture par ménage, avec un intervalle allant de 0,78 (pour Tours centre historique) à 1,7. Sachant que le nombre moyen de personnes par ménage est de 1,88.

- Selon les données de l'enquête ménages déplacements, le genre n'est pas un critère déterminant en matière de taux de mobilité, de mobilité motorisée, ainsi que de pratique de déplacement à pied. Les taux de mobilité sont en moyenne de 4 déplacements par jour et par personne. Cependant, l'intérêt porté aux détails permet d'observer de petites différences : les femmes se déplacent un peu plus à pied que les hommes. Ainsi, 41 % d'entre elles se déplacent à pied contre 39 %

des hommes. En revanche, les femmes se déplacent moins en voiture particulière que les hommes : 50 % d'entre eux utilisent leur voiture et seulement 44 % des femmes. Celles-ci prennent plus les moyens de transport collectifs que les hommes : 14 % contre 11 %.

Ainsi, ces résultats ont mis en évidence l'importance de la pratique de la marche à pied dans les déplacements quotidiens des habitants du noyau urbain du département d'Indre-et-Loire.

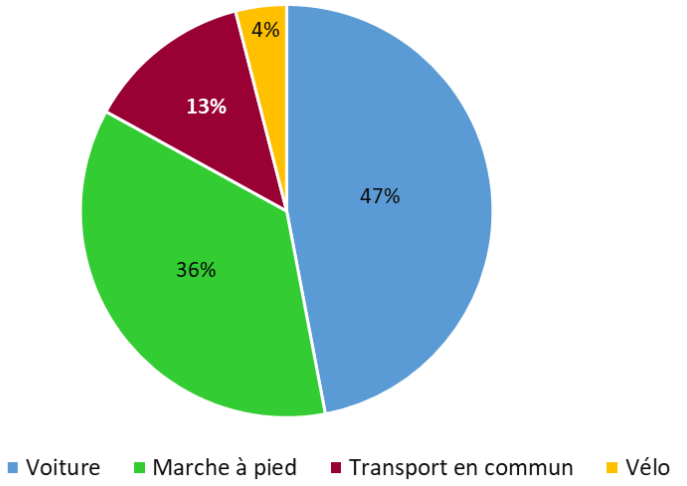

Figure 42. Parts modales des déplacements quotidiens effectués dans le noyau urbain d'Indre-et-Loire, d'après l'enquête de mobilité de Touraine en 2019

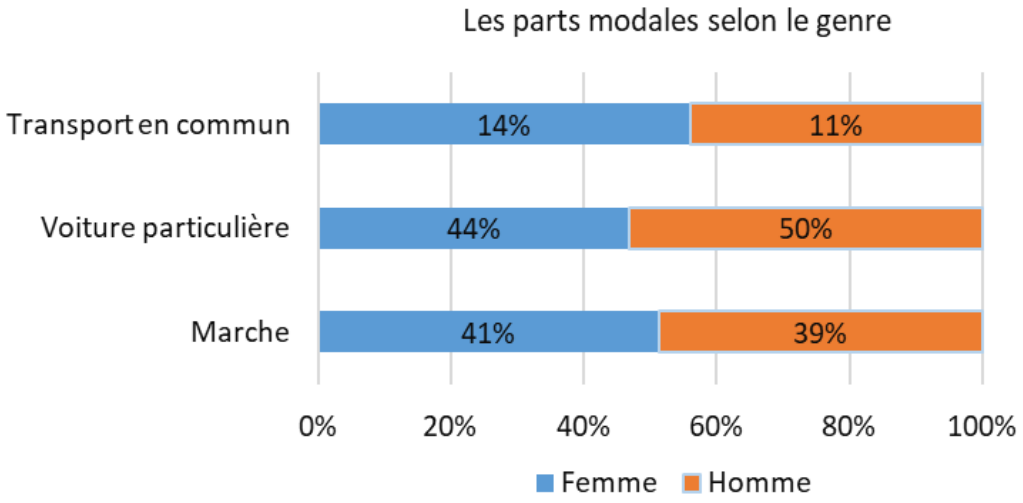

Figure 43. Parts modales des déplacements selon le genre (en %) pour le noyau urbain d'Indre-et-Loire, d'après l'enquête de mobilité de Touraine en 2019



Figure 44. Les rues locales de **Tours**-centre



Figure 45. Les rues locales de **Tours**-centre



Figure 46. Rue Nationale (photo gauche), Place Plumereau (photo droite), **Tours**

Conclusion du chapitre VI

Notre terrain d'étude est double : il est constitué d'une part de la ville d'Ispahan, et d'autre part de celle de Tours et de ses communes avoisinantes. Le terrain tourangeau présente les caractéristiques d'un ensemble de villes de tailles moyennes, dans lequel un tiers des déplacements quotidiens s'effectue à pied. Quant à Ispahan, elle correspond à une grande ville (tant au niveau de sa taille que du nombre d'habitants) historique et touristique, fortement motorisée, dans laquelle la marche est un mode de déplacement tellement marginalisé qu'il n'existe même pas d'enquête globale sur ce mode.

Par ailleurs, il nous semble évident que nos terrains d'études sont fondamentalement différents du point de vue de leurs spécificités socioculturelles, économiques, du fonctionnement de leur système de transport, de la taille, du nombre d'habitants, etc. Ainsi, ils sont beaucoup trop différents pour que nous réalisions une comparaison des comportements des déplacements pédestres au sens strict entre ces deux terrains. En dépit de toutes les différences, il existe des points communs entre Tours et Ispahan, et ce à plusieurs égards : leurs particularités topographiques et géographiques sont équivalentes, et ces deux villes sont situées au centre de leur pays respectif (l'Iran et la France). Par ailleurs, elles ont toutes les deux une histoire riche. À ceci, nous ajoutons d'autres ressemblances qui concernent leurs structures spatiales. Nous les considérons comme particulièrement importantes dans le cadre de notre thèse :

- Leur structure spatiale s'est complétée dans le temps, formant un réseau mixte et particulièrement complexe de voirie, qui est à la fois irrégulière et quadrillée. En effet, ces deux terrains sont caractérisés par des modèles de tracés urbains très similaires dans leurs parties historiques, ainsi que dans leurs quartiers résidentiels pavillonnaires récents.

- Leurs réseaux de voirie respectifs sont structurés autour d'un axe central principal nord-sud. De ce fait, ces deux villes ont une colonne vertébrale nord-sud et une partie plus ancienne où sont concentrés l'essentiel des monuments historiques et les utilisations du sol, notamment les commerces et les facilités de transport en commun.

- Les réseaux de rues sont majoritairement parallèles et perpendiculaires à l'axe central nord-sud.

- Ces villes sont marquées par le passage est-ouest d'un ou de deux cours d'eau qui croisent les liaisons nord-sud, ce qui produit des coupures urbaines et une discontinuité de chacun des deux réseaux de voirie et donc du cheminement des piétons.

Différences	Ressemblances
Taille (superficie) Population Fonctionnement du système de transport Spécificités socioculturelles et économiques	Importance historique Axe principal nord-sud historique Tracés de rues mixtes et variées Partie centrale multifonctionnelle et dense (au niveau du réseau de voirie et des activités urbaines) Passage est-ouest d'un cours d'eau majeur Existence de zones semi-rurales et de terrains agricoles Localisation au centre du pays Particularités topographiques

Tableau 6. Synthèse des ressemblances et des différences entre nos deux terrains d'étude pouvant influencer le comportement et le cheminement des piétons dans ces deux villes

Étant consciente de ces différences et de ces ressemblances, résumées dans le tableau ci-dessus, nous cherchons, dans les chapitres suivants, à évaluer si ces facteurs peuvent avoir une influence sur les déplacements à pied, notamment en ce qui concerne le choix d'itinéraire. Ainsi, dans un premier temps (dans le chapitres VII), nous constituons nos données théoriques et empiriques. Pour rappel, les données théoriques sont construites en modélisant la structure spatiale et en simulant les trajets potentiels de nos deux réseaux. Les données empiriques sont, pour leur part, construites en collectant les comportements spatiaux des personnes et leurs représentations par rapport au contexte de leurs déplacements à pied. Dans un second temps (dans les chapitres VIII et IX), nous analysons les données qualitatives constituées dans le chapitre VII. De cette façon, nous confrontons les itinéraires effectués avec : (a) les itinéraires simulés, (b) les caractéristiques des structures spatiales de nos terrains d'étude respectifs, (c) les résultats issus de notre enquête. À partir de l'ensemble de ces démarches quantitatives et qualitatives, nous pouvons appréhender les **préférences individuelles théoriques**, **révélées** et **déclarées** des piétons par rapport aux spécificités des réseaux de voirie.

Ainsi, dans le chapitre suivant, nous présentons l'application des démarches méthodologiques choisies, à partir desquelles nous avons constitué nos bases de données empiriques et théoriques de ces deux terrains d'études.

CHAPITRE VII - Constitution de la base de données théoriques et empiriques pour cette thèse

Introduction du chapitre VII

Dans ce chapitre, nous mettons en œuvre nos méthodes de constitution de base de données théoriques et empiriques. Ainsi, nous cherchons, **dans un premier temps**, à modéliser la structure spatiale de nos terrains d'études (l'agglomération de Tours et la ville d'Ispahan) en employant la Syntaxe spatiale. Ceci constitue la première étape de la démarche méthodologique de notre thèse et nous permet de faire un diagnostic **quantitatif** de l'état de la configuration spatiale du réseau de voirie. De plus, en nous appuyant sur la Syntaxe spatiale, nous pouvons simuler les **préférences théoriques** des piétons en matière de choix d'itinéraire, au prisme des représentations que les piétons se font de la structure du réseau d'espaces. En effet, comme décrit dans le chapitre IV (sous-section 4-3-3), la Syntaxe spatiale suppose que l'individu en déplacement perçoit les espaces publics ouverts de l'environnement urbain sous forme de lignes de vue droites consécutives. Ainsi, cette théorie applique des méthodes d'analyse quantitative afin de pouvoir évaluer la configuration de l'espace et les relations topologiques entre ces lignes de vue. C'est pourquoi nous commençons ce chapitre par la transformation du réseau de voirie de nos terrains d'études en cartes axiales (cartes des lignes de vue), ce qui nous permettra ensuite de les analyser.

Dans un deuxième temps, nous appliquons l'étape suivante de la démarche méthodologique de notre thèse, dans l'objectif de recueillir des données empiriques sur les comportements des piétons liés à leurs d'itinéraires. Ainsi, nous menons une enquête sur la marche à pied sur nos terrains d'études. Afin de tenir compte des avantages et des limites des différentes méthodes de collecte de données mentionnées dans le chapitre VI, nous utilisons des traceurs GPS. Cela permet un enregistrement particulièrement précis des itinéraires empruntés et des OD des déplacements effectués. Ceux-ci nous permettent d'accéder aux informations réelles et objectives des déplacements pédestres et donc d'appréhender les **préférences individuelles révélées** des piétons en matière de choix de trajet.

Dans un troisième et dernier temps, nous complétons notre base de données empiriques par une enquête qualitative *a posteriori* (des entretiens semi-directifs et des questionnaires)

avec les participants de notre enquête. Cette phase qualitative permet d'envisager l'importance des phénomènes cognitifs et d'évaluer la manière dont les individus perçoivent le contexte de leurs déplacements à pied. Elle permet également de prendre en compte les déterminants du choix des participants et donc d'appréhender les **préférences individuelles** déclarées des piétons en matière de choix de trajet. Rappelons que ce travail de thèse consiste à comparer les **préférences individuelles théoriques**, **révélées** et **déclarées**.

7-1- La constitution de la base de données théoriques : l'application de la Syntaxe spatiale

Dans le chapitre IV, nous avons montré que la Syntaxe spatiale, en tant que théorie et que méthode, a le potentiel de modéliser la configuration à la fois du réseau de voirie et du comportement des piétons dans l'espace urbain. Ainsi, dans le but de prédire quelles sont les **préférences théoriques** des piétons en matière de choix d'itinéraire, nous appliquons cette méthode quantitative. Comme nous l'avons décrit dans le chapitre IV (sous-section 4-3-3), dans la Syntaxe spatiale, la première étape de la modélisation de la structure spatiale correspond à la constitution d'une carte axiale des espaces publics. Une fois que la structure spatiale est modélisée telle qu'elle est perçue par les personnes en déplacement sous forme de carte axiale, nous pouvons calculer les indices syntaxiques des lignes axiales (les segments de rues vus par les piétons). Ceci nous permet :

- premièrement, d'analyser quantitativement les caractéristiques de la configuration du réseau de voirie, à partir des perceptions des piétons ;
- deuxièmement, de prédire les segments de rues qui ont le potentiel pour être parcourus par les flux de piétons, autrement dit : les itinéraires potentiels des piétons.

Dans cette section, nous décrivons le déroulement de ces démarches.

7-1-1- La modélisation de la configuration du réseau de voirie : la carte axiale

Dans le but de dessiner les lignes axiales (les lignes de vue) des personnes dans un milieu urbain ou un bâtiment, nous devons avoir accès à un plan qui représente de manière précise la forme des espaces ouverts librement accessibles de l'espace. Pour cela, nous avons recours au plan cadastral numérique de nos terrains d'étude qui mettent à notre disposition les couches de l'ensemble des espaces publics urbains ouverts et du réseau de voirie.

La carte axiale peut être dessinée, soit automatiquement à l'aide de logiciels spécialisés comme DepthMap ou bien Axman, soit à la main à l'aide du logiciel AutoCad. Comme DepthMap et Axman ont été développés par Alasdair Turner à l'Université du Collège de

Londres (UCL) au laboratoire Space Syntax, ils sont gratuitement accessibles sur le site[1] internet de Space Syntax de l'UCL. En ce qui concerne nos terrains d'étude, nous n'avons pu produire nos cartes axiales automatiquement, cela pour trois raisons : premièrement, la taille de nos deux terrains d'études (l'agglomération de Tours et la ville d'Ispahan) est relativement grande. Deuxièmement, la qualité et le niveau de précision de nos plans cadastraux numériques sont mauvais. Troisièmement, nos ordinateurs sont insuffisamment puissants. Nous avons donc élaboré une par une toutes les lignes axiales (lignes de vue), manuellement et via le logiciel AutoCad.

Puisque notre travail se concentre sur le déplacement à pied, nous avons vérifié certaines informations de l'espace ouvert et celles du réseau de voirie par d'autres moyens comme « Google Map », « Google Earth » et « OpenStreetMap[2]». Notre objectif était de construire notre base de données théorique avec le plus de précision possible. Ainsi, nous avons, dans un premier temps, mis à jour la situation réelle du réseau de voirie et des espaces ouverts, surtout ceux d'Ispahan. Dans un deuxième temps, nous avons repéré toutes les intersections à deux niveaux (lorsqu'une route passe au-dessus ou en dessous d'une autre) et les chemins dédiés aux piétons (par exemple les ponts piétons) qui ne sont pas sur le plan cadastral numérique du réseau de voirie.

Nous avons donc dessiné manuellement la carte axiale d'Ispahan (figure 47) qui comporte 56 726 lignes (ligne de vues) et celle de l'agglomération de Tours (figure 49) qui comporte 17 015 lignes axiales via le logiciel AutoCad. Enfin, nous avons exporté ces cartes sous format « dxf » afin de les importer dans les logiciels spécifiques de la Syntaxe spatiale.

[1] http : //otp.spacesyntax.net/software-and-manuals/depthmap/

[2] www.openstreetmap.fr



Figure 47. Carte axiale d'**Ispahan**

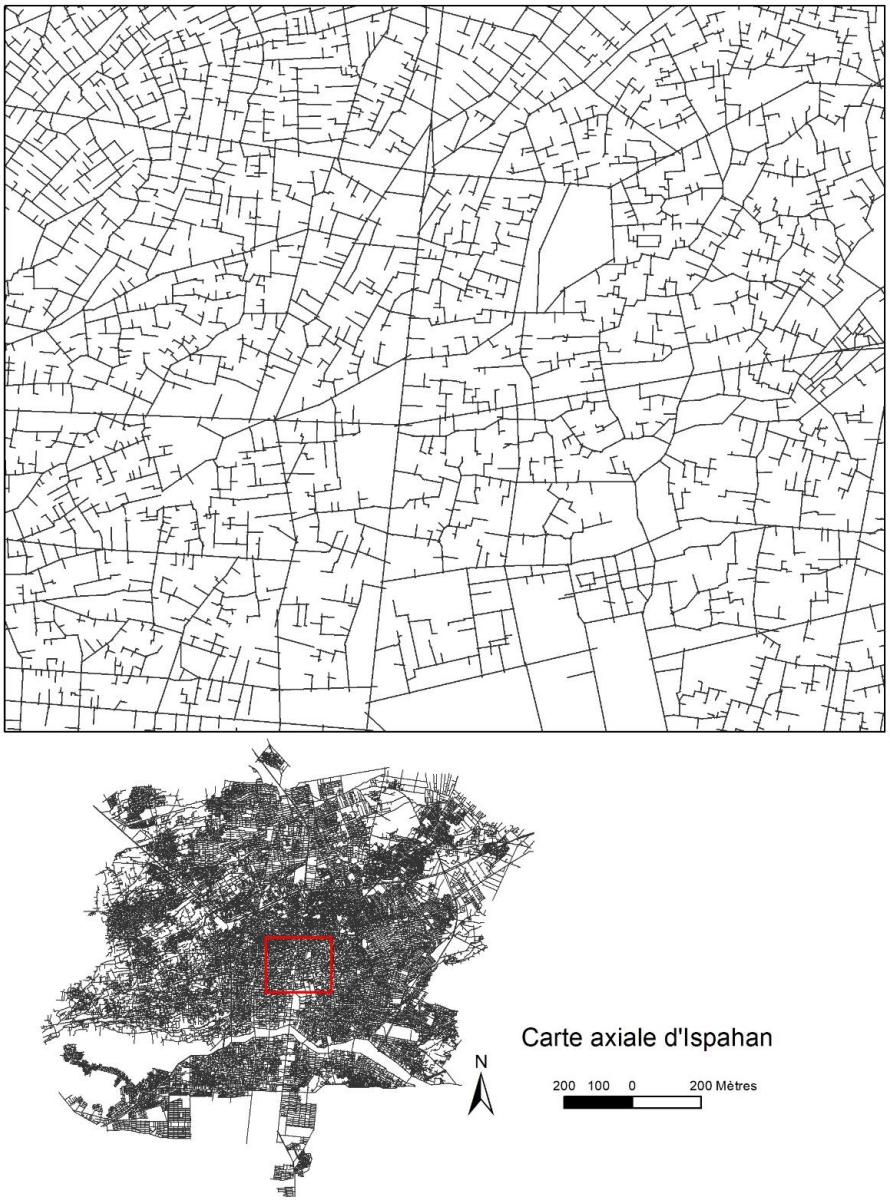

Figure 48. Zoom sur la partie centrale de la carte axiale d'**Ispahan**

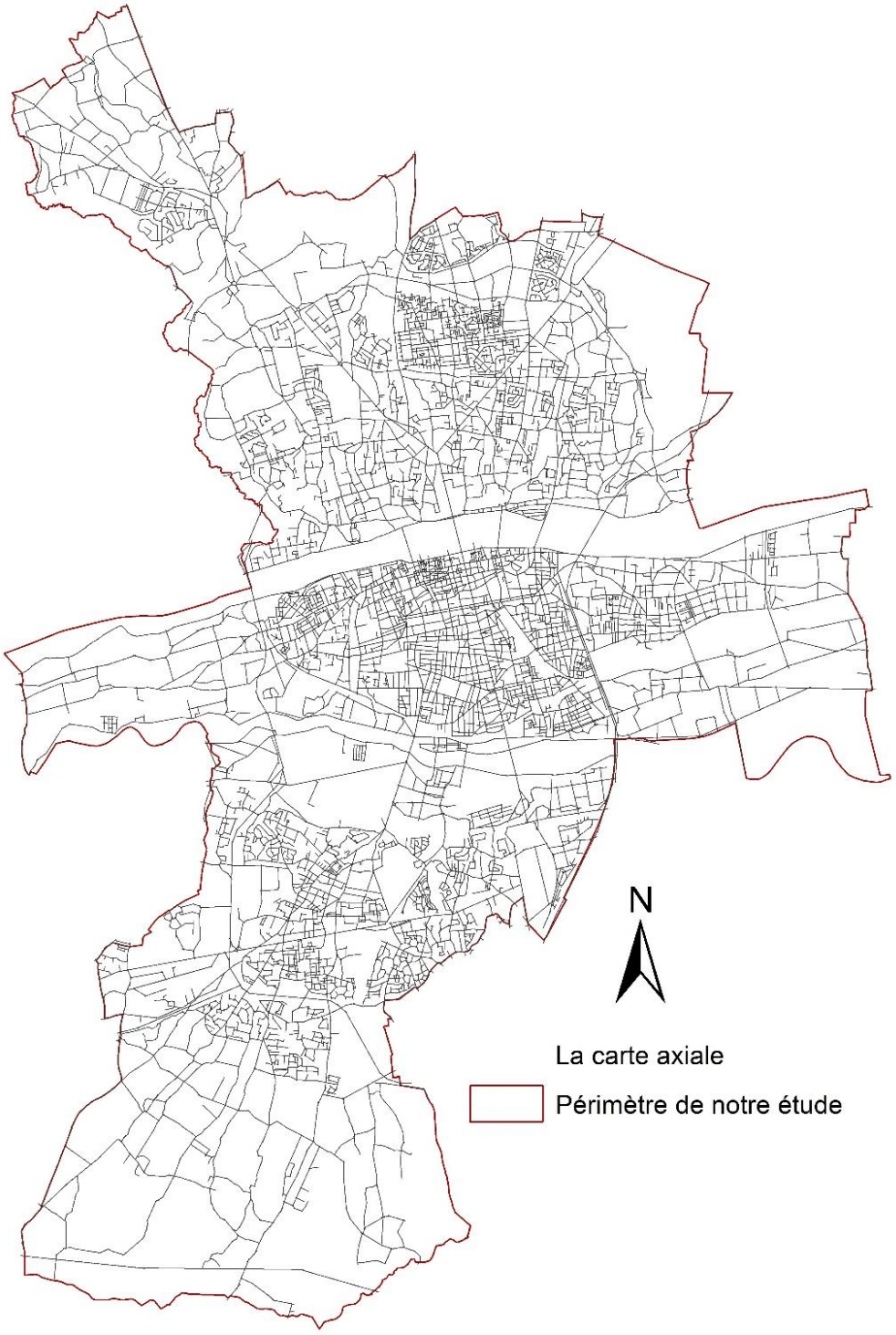

Figure 49. Carte axiale de **Tours**



Figure 50. Zoom sur de la partie centrale de la carte axiale de **Tours**

7-1-2- Le calcul des indices syntaxiques : intégration spatiale et profondeur spatiale

Une fois que les cartes axiales sont dessinées, elles sont prêtes à être analysées via des logiciels spécifiques tels que Axman ou DepthMap. Nous appliquons DepthMap10 dont la capacité essentielle est d'analyser quantitativement la carte axiale, en plus de la dessiner automatiquement. Après l'adaptation des cartes axiales pour les rendent compatibles avec DepthMap10, nous importons les fichiers convertis en format « dxf » dans ce logiciel. Dans le

cadre de cette analyse, ce logiciel convertit d'abord la carte axiale en graphe dual[1]. Puis, à partir d'une grande variété d'indices syntaxiques, il procède à l'analyse de ce graphe. Dans AutoCad, les lignes axiales des intersections à niveaux semblent se croiser, alors qu'en réalité, elles ne se croisent pas mais elles se superposent. C'est pourquoi nous avons dû répéter cette procédure pour l'analyse des cartes axiales avec DepthMap. Ainsi, cette identification des intersections à niveaux dans DepthMap permet d'effectuer une analyse plus réelle du réseau dans ce logiciel. De cette façon, nous avons pu analyser tous les lignes de vue des espaces urbains ouverts et les rues de nos deux cartes axiales en fonction de tous les indices de la Syntaxe spatiale aux niveaux local (R_3), intermédiaire (R_r) et global (R_n).

De ce fait, les résultats d'analyse de sortie de DepthMap sont représentés de deux manières :

- de façon visuelle sous forme de cartes colorées. Ces cartes représentent l'ensemble de la carte axiale, en attribuant des couleurs différentes (dans un dégradé allant du rouge au bleu foncé) à chaque ligne en fonction de la valeur d'indice qui lui est attribuée. Ceci permet de visualiser les caractéristiques syntaxiques des réseaux spatiaux de nos terrains d'études de manière hiérarchique. Ce dégradé représente le degré d'intégration des lignes de la carte axiale, en allant des plus intégrées aux moins intégrées. Les lignes les plus intégrées de la carte axiale sont en rouge et les moins intégrées sont en bleu foncé. Les intégrations intermédiaires sont en orange, jaune, vert et bleu clair. Cela veut dire que, par exemple, concernant la mesure d'intégration spatiale globale (R_n), les lignes les plus intégrées constituant les espaces structurants principaux du réseau sont représentées en rouge (comme on le voit par exemple sur les cartes 51 et 52). Ainsi, en fonction de chaque mesure syntaxique analysée, nous disposons d'une carte distincte qui lui correspond. Celle-ci permet de visualiser comment les centralités sont distribuées dans un réseau spatial (Space Syntax, 2006).
- les résultats d'analyse sont également représentés quantitativement sous forme de tableaux de chiffres. Ces tableaux indiquent les valeurs des mesures syntaxiques correspondants à chaque ligne axiale. Une autre particularité du logiciel DepthMap 10 est que ces tableaux peuvent être transférés dans des

[1] Voir chapitre IV précédent pour comprendre à quoi sert le graphe dual. Nous rappelons que dans ce graphe, les liens (les lignes de vue) sont représentés par les nœuds du graphe et les intersections sont représentées par les liens (arcs) du graphe.

programmes statistiques et/ou spatiaux, tels que ArcGIS, Excel, SPSS (Koohsari et *al.*, 2014). Ceci apporte une meilleure analyse quantitative de la configuration de l'espace. Dès lors, nous avons obtenu, pour la ville d'Ispahan et l'agglomération de Tours, plusieurs cartes et des tableaux associés à ces cartes qui représentent les valeurs des mesures syntaxiques propres à chaque ligne de vue.

Enfin, nous avons converti les tableaux issus de DepthMap au format « mif » pour qu'ils soient compatibles avec ArcGIS. Nous avons ensuite converti ces fichiers « mif » en « shp » pour pouvoir les confronter aux données empiriques des déplacements pédestres (enregistrés par les traceurs GPS[1]). Cependant, puisque dans la Syntaxe spatiale les facteurs structurels tels que l'intégration spatiale et la profondeur spatiale (distance topologique) sont supposées conditionner la distribution spatiale des fréquences piétonnières, nous nous concentrons plus particulièrement sur ces mesures aux niveaux local (R_3), intermédiaire (R_r) et global (R_n).

ÉTAPE 1	
Traçage des lignes axiales (lignes de vue)	
Logiciel	AutoCad
Format de fichier	« dwg »
Tâches complémentaires	Repérage des chemins dédiés aux piétons et des intersections à niveaux
Conversion de fichiers	« dwg » → « dfx »
ÉTAPE 2	
Analyse des cartes axiales	
Logiciel	DepthMap
Format de fichier (entrée)	« dfx »
Tâche complémentaire	Repérage des intersections à niveaux
Résultat du traitement	Graphes en couleur + tableaux
Format de fichier (sortie)	« mif »
ÉTAPE 3	
Comparaison des données théoriques et pratiques	
Logiciel	ArcGIS
Conversion de fichiers	« mif » → « shp »

Tableau 7. Synthèse de différentes étapes de modélisation de la configuration du réseau de voirie de nos terrains d'étude

[1] Nous présentons ceux-ci dans la sous-section 7-3.

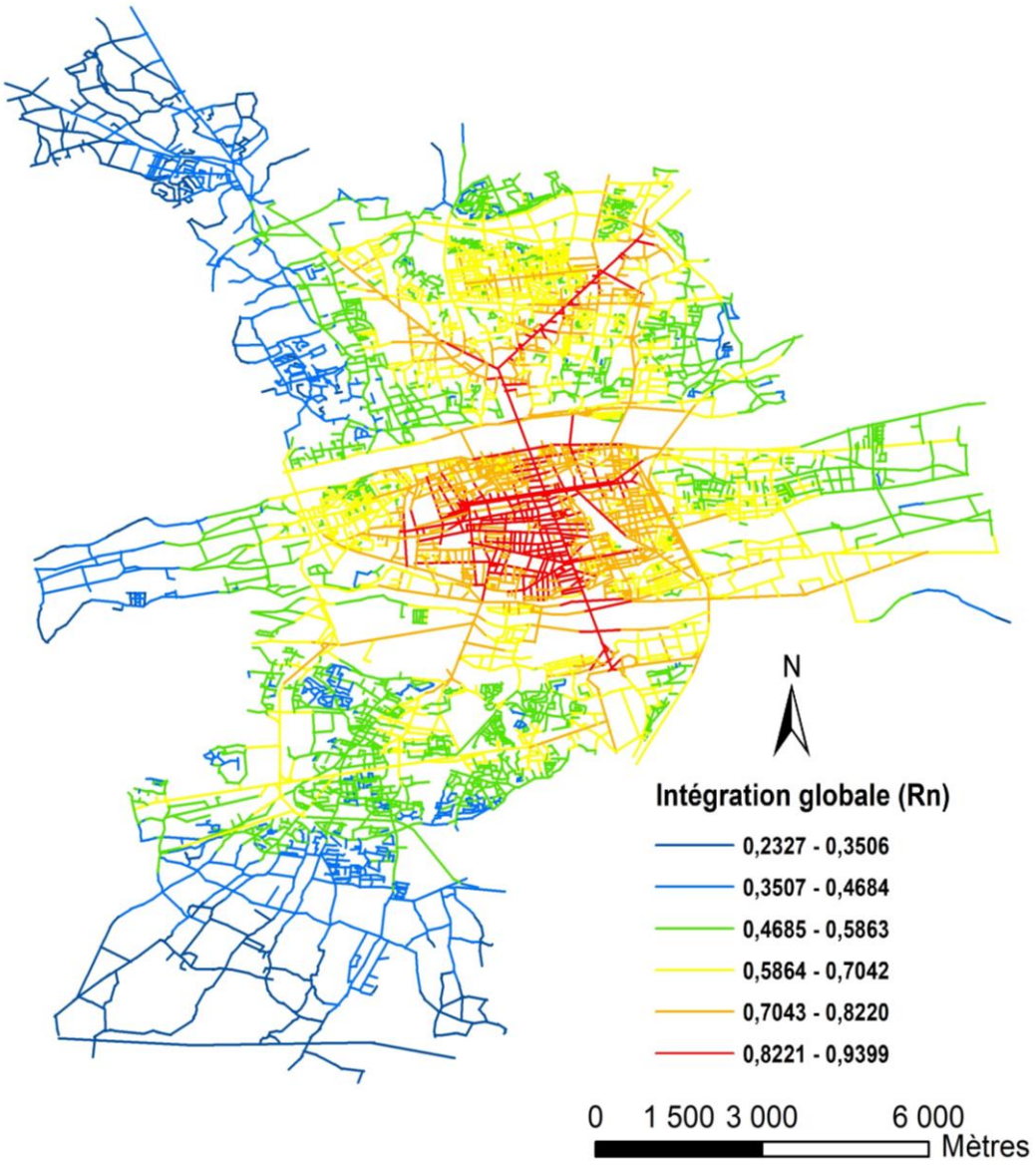

Figure 51. Résultat de l'analyse de la carte axiale de **Tours** à partir de la mesure d'intégration spatiale globale (R_n).

D'après la Syntaxe spatiale, ceci correspond également à la simulation de la répartition du flux de piétons sur la carte axiale, ou bien au degré d'usage de chaque segment de rues au niveau agrégé. Les lignes rouges, qui correspondent aux lignes les plus intégrées au niveau global (R_n), sont supposées être les plus parcourues par les flux de piétons.

Ainsi, en suivant les étapes précédentes, nous avons cherché à identifier la hiérarchisation de la structure spatiale de nos terrains d'études à l'échelle globale de leurs réseaux de voirie respectifs. Nous avons donc calculé la mesure d'**intégration spatiale globale** (R_n)[1] qui nous permet d'explorer l'importance de chaque axe par rapport à l'ensemble du réseau. De cette façon, nous pouvons déterminer les lignes qui sont topologiquement les plus proches des autres lignes et, par conséquent, nous pouvons estimer les axes les plus susceptibles d'attirer des flux de mouvements de piétons.

[1] L'intégration spatiale globale (R_n) désigne la proximité topologique de chaque ligne axiale par rapport à l'ensemble des autres lignes de la carte axiale.

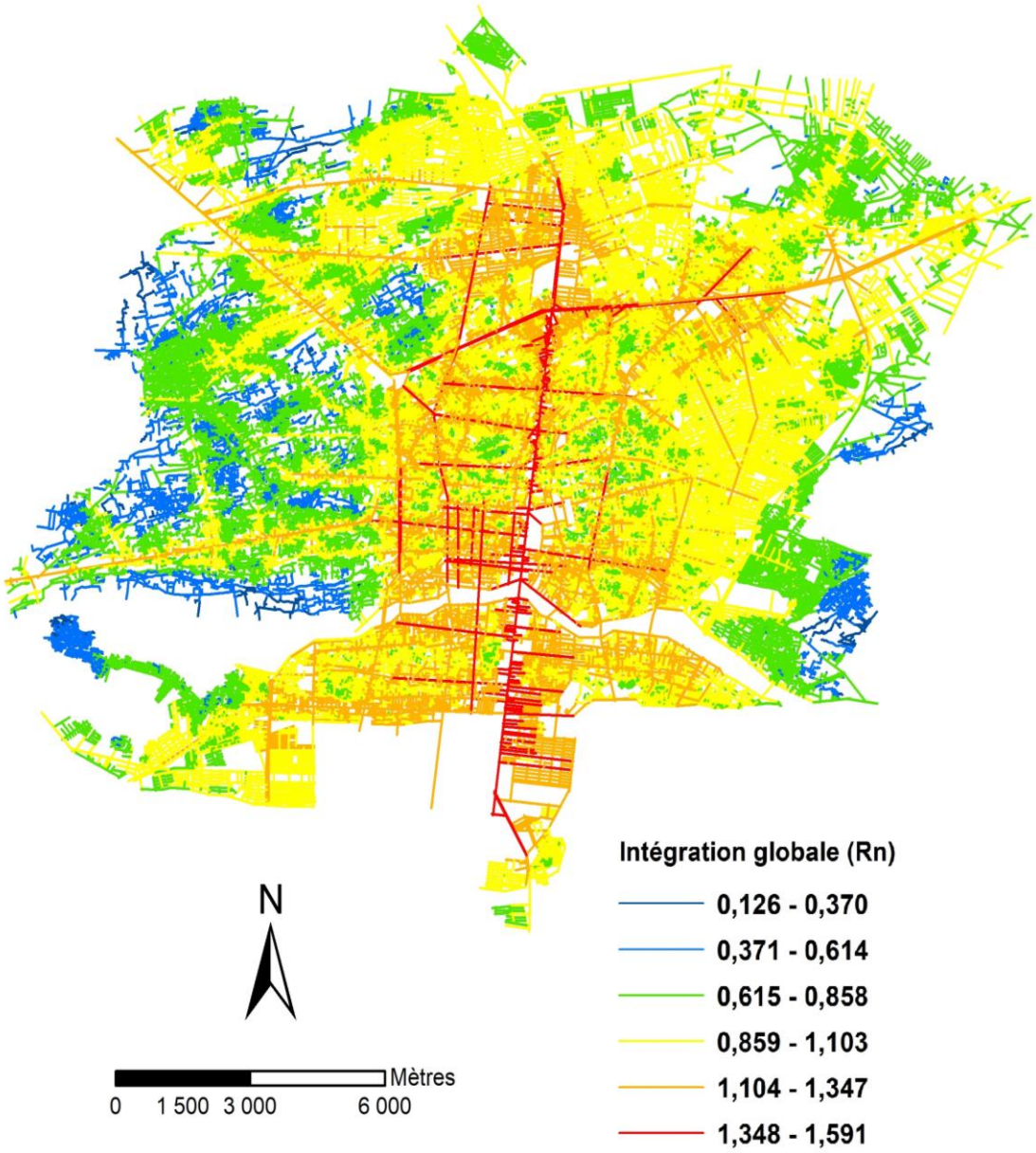

Figure 52. Résultat de l'analyse de la carte axiale d'**Ispahan** à partir de la mesure d'intégration spatiale globale (R_n).

D'après la Syntaxe spatiale, ceci correspond également à la simulation de la répartition des flux de piétons sur la carte axiale ou bien au degré d'usage de chaque segment de rues au niveau agrégé. Les lignes rouges qui correspondent aux lignes les plus intégrées au niveau global (R_n) sont supposées être les plus parcourues par les flux de piétons.

Quant à la mesure d'**intégration spatiale** au niveau **intermédiaire** (R_r), nous avons d'abord déterminé le rayon topologique d'analyse. Par ailleurs, suite à notre description dans le chapitre IV, sous-section 4-3-4-2, ce rayon se détermine par rapport aux caractéristiques topologiques de l'ensemble de la carte axiale. Selon la Syntaxe spatiale, cela signifie que pour mesurer l'intégration spatiale intermédiaire (R_r), le rayon topologique *r* s'obtient à partir de la valeur de la profondeur spatiale globale (R_n) de la ligne axiale la plus intégrée de la carte axiale. Ainsi, pour Ispahan, la ligne axiale la plus intégrée de la carte (laquelle à une valeur d'intégration globale de 1,6) détient une valeur de profondeur spatiale globale de 9 lignes. Le rayon topologique de l'intégration spatiale intermédiaire *r* doit donc être 9 lignes. Ceci signifie que dans cette thèse, pour Ispahan, l'intégration intermédiaire (R_9) correspond à la distance topologique (profondeur) moyenne de chaque ligne donnée par rapport à toutes les autres lignes de la carte axiale qui sont dans un rayon de 9 lignes. Quant à Tours, la ligne axiale la plus intégrée de la carte (qui possède une valeur d'intégration globale de 0.94) détient une valeur de profondeur globale de 12. Dès lors, le rayon topologique d'intégration spatiale intermédiaire de Tours est 12. Ainsi, la distance topologique moyenne de chaque ligne donnée par rapport à l'ensemble de toutes les autres lignes de la carte axiale est 12 (lignes de vue).

L'indice de l'intégration spatiale locale est, en réalité, un indice local, dans le sens où il permet d'identifier la hiérarchisation structurelle des espaces à l'échelle du quartier. Cette mesure nous conduit à explorer les axes structurants au niveau local. Ceux-ci sont à proximité topologique des lignes axiales voisines, c'est-à-dire à deux étapes topologiques (changements de direction/lignes de vue) de chaque ligne donnée. Ainsi, la mesure d'intégration spatiale locale (R_3) apparaît comme un bon indicateur pour observer le comportement des piétons à une échelle adaptée aux déplacements pédestres (Piombini, 2006). De ce fait, les lignes ayant un taux d'intégration spatiale locale plus élevé sont susceptibles d'attirer plus de flux de mouvements de piétons. C'est la raison pour laquelle nous avons calculé la mesure d'**intégration spatiale locale** de rayon topologique 3 (R_3)[1] pour nos deux terrains d'études.

En plus des mesures d'intégration spatiale (locale, intermédiaire et globale) correspondant à chaque ligne axiale, nous avons calculé la moyenne ainsi que l'écart-type de ces indices pour l'ensemble de la carte axiale. Dans le but d'analyser la configuration du réseau de voirie

[1] La valeur d'intégration spatiale produite par tous les axes autour de l'axe considéré dans un rayon topologique de 3 lignes (ou bien trois changements de direction).

de nos terrains d'études, nous avons calculé la valeur moyenne et l'écart-type des taux d'intégration aux niveaux global (R_n), intermédiaire (R_9) et local (R_3) pour **chaque quartier d'Ispahan,** ainsi que **les découpages administratifs IRIS**[1] de Tours. Cette approche par quartier/IRIS, permet :

- tout d'abord, de passer du linéaire au zonal, de la rue au quartier. Ceci permet donc d'évaluer la configuration spatiale à l'intérieur de chaque quartier/IRIS à partir de l'analyse du niveau d'intégration spatiale de ses lignes de vue aux échelles locale, intermédiaire et globale ;

- ensuite, d'avoir une lecture générale de l'interaction de chaque quartier/IRIS avec l'ensemble des autres quartiers/IRIS ;

- enfin, de favoriser une évaluation comparative entre les quartiers/IRIS mettant en évidence les différences structurelles à l'échelle des quartiers/IRIS.

De cette façon, nous identifions les quartiers les plus adaptés au déplacement pédestre et qui sont les plus susceptibles d'être traversés par des piétons.

Nous avons donc construit notre base de données théoriques. Celle-ci contient les structures spatiales de nos terrains d'études, modélisées sous forme d'une carte axiale, ainsi que les calculs des mesures syntaxiques de ces cartes. À partir de l'analyse de ces données via ArcGIS, nous avons saisi les axes structurants de la configuration du réseau de voirie. Selon la Syntaxe spatiale, ces segments de rues sont supposés être plus empruntés lors des déplacements à pied, ceci au niveau agrégé et pour l'ensemble des flux de piétons. Il est donc possible de simuler la distribution des flux de piétons sur le réseau de voirie à partir de ces lignes structurantes. Dans cette thèse, nous faisons l'hypothèse que ces segments de rues ont également le potentiel de prédire les préférences théoriques des piétons au niveau individuel. (Cette hypothèse n'a pas été testée par les travaux que nous avons présentés dans notre revue de littérature).

[1] IRIS correspond aux Îlots Regroupés pour l'Information Statistique (https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1523)

7-2- La proposition d'un périmètre d'étude tourangeau conforme aux déplacements empiriques collectés

Concernant notre terrain d'étude en France, nous avions prévu de faire notre recherche sur la totalité du périmètre de l'agglomération de Tours et donc de construire notre base de données théorique en fonction de ce choix. Ainsi, nous avons modélisé le réseau de voirie et les espaces ouverts de l'ensemble de cette agglomération. Nous avons donc dessiné/produit la carte axiale de l'ensemble de l'agglomération pour ensuite calculer des mesures syntaxiques de cette dernière.

Cependant, un aller-retour entre les données empiriques saisies par les traceurs GPS (nous les présentons dans le sous-section 7-3) et le terrain présélectionné nous a conduit à réduire notre périmètre d'étude. En effet, lors de la construction de notre base de données empiriques[1] correspondant aux parcours réellement effectués sur ce terrain par nos participants, nous avons constaté que les trajets pratiqués à pied se concentrent essentiellement dans la partie centrale de l'agglomération. Ainsi, les personnes enquêtées ont, pour la plupart d'entre elles, marché dans la commune de Tours (plus particulièrement dans le centre de Tours) et ses communes avoisinantes. Partant de cette inégalité de dispersion des déplacements pédestres pratiqués, il n'était plus envisageable d'étudier l'ensemble de l'agglomération de Tours comme cela avait été prévu au départ. Ce constat nous conduit donc à proposer de réduire ce périmètre d'étude. Ainsi, le nouveau périmètre est déterminé en fonction de la dispersion des trajets effectués, c'est-à-dire les communes fréquentées. De plus, nous avons ajouté la commune de Saint-Pierre-des-Corps (dans la partie est du périmètre sélectionné) car celle-ci se trouve à proximité de la plupart des trajets effectués. De ce fait, la zone finalement sélectionnée dépasse les communes fréquentées par les participants de notre étude ; elle englobe donc 6 communes. Ce nouveau périmètre permet d'analyser la configuration structurelle du réseau de voirie sur une étendue un peu plus vaste que le périmètre pratiqué par les participants de notre enquête. En outre, cela permet une meilleure comparabilité entre les deux terrains.

[1] Nous l'expliquons dans le chapitre suivant.

7-3- La constitution de la base de données empiriques : utilisation des traceurs GPS

Dans le but de connaître les comportements réels des piétons concernant leurs choix d'itinéraire, nous avons saisi les données empiriques de leurs déplacements à pied par une enquête, afin de comparer les itinéraires potentiels prédits par la Syntaxe spatiale à ceux réellement pratiqués par les personnes. Cela permet de comparer les **préférences théoriques** des piétons prédites par la Syntaxe spatiale (à partir de la configuration spatiale du réseau de voirie) avec les **préférences révélées** des individus enquêtés.

Cependant, nous avons montré dans le chapitre V que, pour les besoins de notre recherche, nous ne pouvons pas avoir recours aux méthodes de recueil de données qui considèrent le mouvement pédestre de manière agrégée et purement quantitative. Ces méthodes ne fournissent pas des données précises sur les choix d'itinéraires des individus de manière désagrégée. C'est la raison pour laquelle nous avons employé le récepteur GPS, le considérant comme un outil puissant pouvant faciliter l'accès aux informations réelles et précises des pratiques spatiotemporelles des piétons au cours de leurs déplacements. Ainsi, il est possible d'accéder, avec la précision requise, aux parcours effectués et de les cartographier. En outre, comme nous l'avons décrit dans la sous-section 5-6, il s'agit d'une méthode de reconnaissance *in situ* des itinéraires. Celle-ci permet d'obtenir des informations objectives sur les déplacements de manière directe et sans intervention des perceptions des enquêtés ou des enquêteurs. Néanmoins, cette méthode n'est pas la plus facile à mettre en œuvre : ni du point de vue du terrain (puisqu'il faut trouver un nombre suffisant de volontaires disponibles, mais aussi adapter le jour de l'enquête à la situation météorologique, etc.), ni du point de vue technique (car le traitement des données de cette méthode est excessivement chronophage, notamment au regard du nombre d'origines-destinations des déplacements et des deux terrains d'études que nous avons choisis). Pourtant, cette méthode nous paraît être la meilleure pour obtenir des informations réelles et précises sur les déplacements pédestres, et plus particulièrement sur les itinéraires.

Cette enquête a permis d'obtenir des informations précieuses portant sur les déplacements pédestres en matière d'horaires des déplacements, de leurs origines et destinations, ainsi que sur les itinéraires réellement empruntés. Au regard de notre revue de littérature, nous pouvons affirmer que de telles bases de données sont plutôt rares. Nous présentons maintenant ce mode d'acquisition choisi.

7-3-1 - Les caractéristiques des récepteurs GPS utilisées

Les traceurs que nous avons utilisés sont du matériel « grand public », de la taille de 46 × 41.5 × 14 mm, d'un poids de 37 gr et de modèle « i-gotU 200e ». Ce modèle est habituellement utilisable avec un ordinateur, à partir de logiciels spécifiques à ces appareils (fournis par les fabricants, respectivement Sports Analyzer et @trip PC). Ces logiciels rendent possible le téléchargement des données enregistrées par les traceurs GPS sur l'ordinateur via un câble USB. Ainsi, ces données peuvent être visualisées et exploitées.

La capacité d'enregistrement de la mémoire du récepteur est de 64 mégabytes équivalents de 262 000 points. Concernant la fréquence d'enregistrement, nous avons configuré le récepteur pour qu'il capte les localisations géographiques toutes les secondes si la vitesse de déplacement configurée est inférieure à 30 km/h, et toutes les 3 secondes si la vitesse configurée est supérieure à 30 km/h. En matière d'autonomie, la batterie doit être rechargée initialement toutes les 48 heures, mais son autonomie diminue en fonction de l'intervalle de temps choisi. Par exemple, si l'appareil est réglé pour capter les localisations toutes les 2 secondes, il a une autonomie moindre que lorsqu'il enregistre toutes les 15 secondes. Nous avons également constaté que l'autonomie de la batterie diminue au cours du temps et après une année d'utilisation de l'appareil. Quoi qu'il en soit, pendant l'utilisation, la faiblesse de la batterie est facilement visible grâce aux différentes couleurs des voyants.



Figure 53. Image d'un des traceurs GPS utilisés, modèle i-gotU 200e

7-3-2 - Le paramétrage des traceurs GPS

Une autre particularité technique des traceurs GPS que nous avons adoptés est qu'ils sont équipés de deux options de fonctionnement : le fonctionnement automatique et le fonctionnement manuel.

Le fonctionnement manuel de l'appareil : il est très simple et correspond à la manipulation directe de l'utilisateur avec un seul bouton arrêt-marche. Celui-ci a deux voyants LEDs qui permettent facilement à l'enquêté d'allumer le récepteur lorsqu'il se déplace ou bien de l'éteindre lorsqu'il ne souhaite pas être localisé. En revanche, il a comme inconvénient que si l'enquêté oublie d'allumer l'appareil, les traces ne sont pas enregistrées. Il est même possible d'appuyer sur le bouton sans le faire exprès. Ce système de fonctionnement donne néanmoins une certaine liberté à l'enquêté, du fait que celui-ci peut interdire l'enregistrement de certains de ses déplacements selon son choix.

Le réglage automatique de l'appareil : il s'agit d'une fonction préalablement programmable de l'enregistrement des déplacements sur @trip PC, qui permet à l'enquêteur de le mettre en marche ou de l'arrêter avant que l'appareil ne soit mis à disposition de l'enquêté. L'enquêteur, après avoir connecté chacun des appareils avec un câble USB à l'ordinateur, peut donc prédéterminer pour toute la durée de l'enquête les jours et les heures de démarrage de l'enregistrement, mais aussi l'arrêt des traceurs, via les logiciels dédiés. Il est également possible de choisir l'heure locale par rapport au pays où l'enquête est réalisée (image suivante). Ainsi, le récepteur commence à enregistrer les données le jour demandé et durant la plage horaire préalablement déterminée, même si l'enquêté n'est pas en déplacement. Cette option a le mérite de résoudre le problème de l'oubli de l'enquêté (et donc, diminue le risque d'absence données). Elle facilite ainsi ses tâches. Elle donne également la possibilité d'enregistrer tous les enquêtés à un rythme similaire et plus facilement comparable. En revanche, le choix de l'option automatique du traceur peut mener à saturation de la mémoire interne de l'appareil, surtout si l'enquête porte sur plusieurs jours ou semaines.

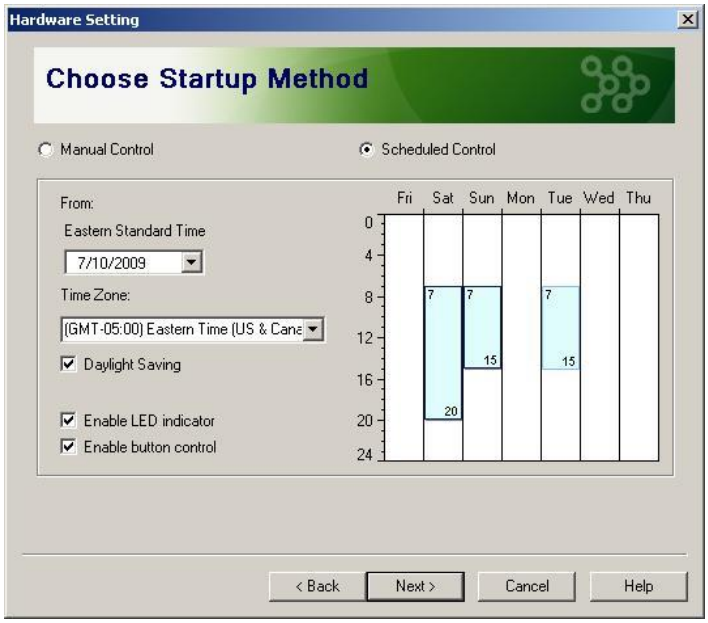

Figure 54. Réglage automatique de l'appareil dans @trip PC

Pour ce travail, nous avons choisi l'option du fonctionnement automatique, de sorte que l'appareil s'arrête et se remette en fonctionnement de façon automatique, afin que l'enquêté ne puisse pas le désactiver durant la période d'enregistrement. Premièrement, cela facilite surtout son utilisation par l'enquêté. Deuxièmement, cela nous assurent d'avoir le maximum possible de données de déplacements sans avoir à craindre un oubli de l'enquêté. Pour que la mémoire interne de l'appareil ne soit pas saturée, nous avons choisi une plage d'enregistrement prédéterminée, en fonction des rythmes de vie préalablement identifiés des participants. Cela permet que les boîtiers s'éteignent et interrompent l'enregistrement des localisations dans le créneau horaire de 23 h à 7 h du matin pendant lequel la probabilité de déplacements à pied des participants est la plus faible. L'appareil enregistre donc les informations des déplacements (sauf exception ou dysfonctionnements tel que le passage dans un tunnel de métro) de 7 h du matin à 23 h. Précisons que comme cette enquête s'intéresse au déplacement à pied dont la vitesse n'est pas élevée, nous avons configuré une fréquence d'enregistrement constante de sorte que l'appareil détecte toutes les 2 secondes la localisation de la personne. Ainsi, toutes les 2 secondes, le récepteur enregistre les points de localisation de la personne, même lorsqu'elle n'est pas en déplacement (par exemple au bureau). Nous avons également sollicité l'enquêté pour qu'il recharge la batterie de l'appareil la veille du jour de l'enquête.

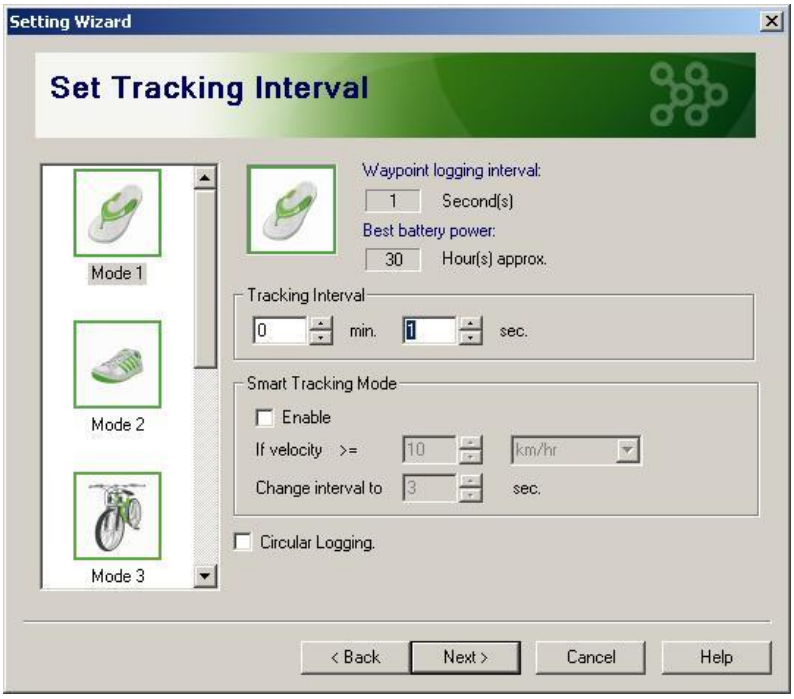

Figure 55. Configuration de l'intensité de l'enregistrement de l'appareil dans @trip PC

7-3-3 - Le déroulement de l'enquête

Dans le cadre de ce travail, l'acquisition des données de géolocalisation des déplacements pédestres des participants se déroule le mardi 24 juillet 2018 à Ispahan et le jeudi 12 septembre 2019 à Tours. Le choix se porte sur un jour ouvrable et ordinaire de la semaine, qui n'est ni férié, ni le weekend, ni en début ni en fin de semaine, afin de pouvoir disposer d'une base statistique homogène. Nous avons également tenu à prendre en compte les conditions météorologiques comme facteur qui influencent les déplacements pédestres : à Ispahan la chaleur, et à Tours la pluie et le froid. Nos observations ont été effectuées fin juillet à Ispahan, au moment où la température s'élève à 40 degrés, sachant que cela n'est pas exceptionnel à Ispahan puisque ces températures durent plusieurs mois (de juin à septembre) et qu'elles augmentent parfois jusqu'à 44 degrés. Cependant, ceci peut entraîner un biais sur l'enregistrement des déplacements à pied. Quant à notre terrain en France, le recueil de données a été effectué début septembre, un jour agréable et non pluvieux.

Les appareils sont remis aux participants la veille du jour de l'enquête. En effet, pour la première enquête qui a eu lieu à Ispahan, les enquêtés n'avaient pas à gérer le rechargement des appareils, car leur autonomie suffisait pour la durée de l'enquête. Par contre, pour notre enquête à Tours, les appareils avaient perdu leur capacité à maintenir en charge la batterie. Dès lors, les participants ont été invités à charger les traceurs la veille du jour l'enquête. Un récepteur GPS a donc été remis à chacun des participants. Précisons que nous avons effectué

nous-mêmes le dépôt ainsi que la reprise du GPS directement auprès des personnes enquêtées. Il leur était demandé de les porter soit dans une poche de vêtement, soit dans le sac à main ou dans le sac à dos, pendant une journée complète prédéterminée par nous-même et lors de l'ensemble de leurs déplacements à l'extérieur. Il leur était précisé de ne pas modifier leurs comportements de déplacements habituels. Néanmoins, il est difficile de vérifier si tous les participants ont vraiment respecté nos consignes ou non. En effet, il est difficile de vérifier si le fait de porter un traceur GPS contribue à modifier les comportements de déplacements des personnes enquêtées ou non. Dans le chapitre VIII qui traite de l'analyse des données, nous évoquons le cas particulier d'un sujet qui a parcouru un trajet plus long que d'habitude. C'est pourquoi nous l'avons exclu de nos analyses.

7-3-4 - Les profils des enquêtes

Dans le cadre de ce travail, afin de recruter les personnes volontaires, nous avons mobilisé des personnes que nous connaissions directement (collègues, amis), ainsi que des personnes que nous ne connaissions pas directement (le réseau d'amis et aussi des membres de la famille de nos collègues et de nos amis).

Quant aux critères de sélection d'échantillon de personnes, nous avons mis l'accent sur la diversité : (a) des fréquentations spatiales, (b) des motifs de déplacements, (c) des caractéristiques démographiques (telles le genre, l'âge, la situation maritale et familiale, ainsi que la situation professionnelle) des participants. Nous avons également choisi des volontaires qui prévoyaient de marcher plus de 100 mètres. Enfin, le choix des personnes s'est également effectué en fonction de la disponibilité et de l'effectif des volontaires. Ainsi, notre échantillon est globalement constitué d'une grande diversité de personnes : des femmes et des hommes qui travaillent à temps complet, des enseignants-chercheurs, des étudiants, une personne retraitée (à Tours), des habitants de pavillon, des habitants de banlieue (à Ispahan), des habitants de centre-ville, un habitant de grand ensemble, des adolescents (un à Ispahan et une à Tours), des employés de la fonction publique, des personnes ayant un niveau socioprofessionnel supérieur, etc.

Ainsi, dans le cas d'Ispahan, une partie des participants comprend du personnel de l'Organisation du Transport et de la Mobilité de la Mairie d'Ispahan ou des membres de leur famille. À Tours, une grande partie des participants sont des doctorants, des chercheurs ou bien des enseignants de l'université de Tours, ou leurs proches, ainsi que des médecins et des

doctorants de l'hôpital Bretonneau de Tours. Toutes ces personnes habitent nos deux terrains d'étude.

Précisons que nous avons été confrontée au problème d'acceptabilité des traceurs GPS chez certains individus, notamment à Ispahan. Nous avons rencontré des personnes qui ont refusé de porter un traceur GPS, car elles n'avaient pas confiance en nous. En effet, ces personnes ont émis des doutes sur notre objectif de recherche. Elles craignaient que notre projet de recherche soit mêlé à la politique ou à l'espionnage de la France en Iran. C'est pour cette raison que toutes les personnes enquêtées qui ont accepté de porter un traceur GPS nous connaissent directement ou indirectement. Dans le cas de Tours, les enquêtés ont posé directement ou indirectement beaucoup de questions sous forme de blagues. Nous interprétons ceci comme une manifestation d'inquiétude concernant leurs données personnelles et l'anonymisation des données. Certains voulaient savoir si nous pouvions voir leurs parcours en temps réel sur notre ordinateur « comme dans les films », ou même si le boîtier enregistrait aussi leur voix ou non.

Le profil des enquêtés implique qu'une grande majorité des participants ont *a priori* une connaissance générale préalable sur la réalisation des enquêtes par rapport au reste de la population. Ceci concerne notamment les personnes qui travaillent à l'Organisation du Transport et de la Mobilité de la Mairie d'Ispahan, et certains doctorants et chercheurs de l'université de Tours.

Nous nous sommes donc attendue à une bonne collaboration les personnes enquêtées, et notamment au respect des consignes. Cela peut avoir pour conséquence une augmentation de la précision des informations collectées. Cependant, lors de l'exploitation des informations enregistrées (décrite dans la sous-section 7-3-5), nous avons constaté que les déplacements de 10 volontaires à Tours ne sont pas utilisables pour notre thèse, cela pour plusieurs raisons : (a) malgré nos consignes, 4 participants ont marché uniquement, soit dans les espaces verts, soit au bord de la Loire. Ces volontaires correspondaient aux membres de la famille des personnes que nous connaissions. (b) Pour trois cas, le traceur GPS n'a pas fonctionné. (c) Enfin, la longueur des déplacements à pied de trois participants a été tellement courte que nous les avons exclus de notre analyse. Par exemple, un des chercheurs de l'hôpital Bretonneau de Tours a marché pour accéder à l'arrêt de bus, alors que la distance de sortie de l'hôpital jusqu'à cet arrêt est d'environ 20 mètres.

Notre échantillon a cependant d'autres caractéristiques : les participants utilisent des modes de transports très différents les uns des autres (tableau 8). De plus, la localisation de leur domicile est hétérogène et dispersée sur nos deux terrains d'études. Par ailleurs, malgré la localisation de leur domicile, une partie considérable des déplacements à pied s'est effectuée dans des espaces très hétérogènes, ce qui a amené à une fréquentation relativement importante de ces personnes du centre-ville, notamment dans le cas de Tours.

Les déplacements effectués à Ispahan		Les déplacements effectués à Tours	
Les motifs	les modes utilisés	Les motifs	les modes utilisés
Se rendre : au travail, chez des proches, au cours de sport, au cinéma, au parking rejoindre d'autres modes de déplacement ; faire des courses ; retourner au domicile	Uniquement la marche, Marche – taxi, Marche – métro, Marche – bus, Marche - voiture	Se rendre : au travail, à la banque, à l'assurance maladie, à l'hôpital, au lycée, à l'école des enfants, à l'université, au Crous[1], à la bibliothèque, rejoindre d'autres modes de déplacement ; faire des courses ; retourner au domicile	Uniquement la marche, Marche - bus, Marche - tramway

Tableau 8. Informations des déplacements pratiqués par les participants de l'enquête

Ce tableau montre les moyens de déplacements pratiqués entre les origines et les destinations des déplacements effectués par les participants, le jour de l'enquête. Nous constatons, pour la plupart des déplacements enregistrés, une complémentarité entre la marche à pied et les transports collectifs. Nous constatons également une diversité de motifs de déplacements effectués à pied chez les personnes enquêtées. Précisons que nous avons éliminé les trajets à pied ayant pour motivation des activités purement récréatives, comme la promenade dans les espaces verts ou au bord de l'eau.

[1] Restaurant universitaire.

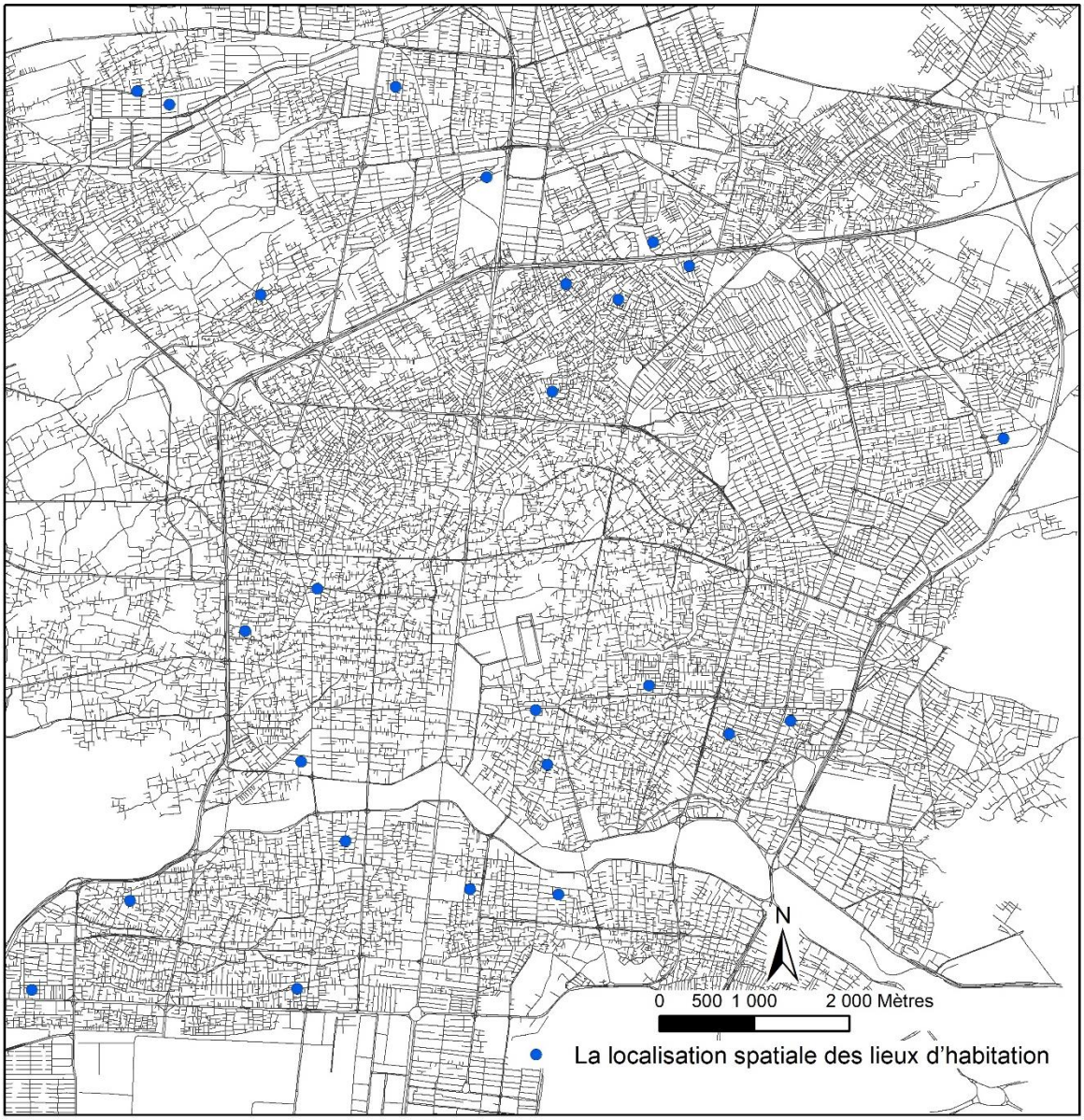

Figure 56. Localisation des lieux d'habitation des personnes enquêtées à **Ispahan**

Cette carte montre la diversité spatiale des lieux de résidence des participants. Précisons que la plupart des volontaires correspondent aux membres d'une famille. Nous avons donc représenté le lieu de résidence de ces personnes par un seul point bleu pour l'ensemble de la famille.

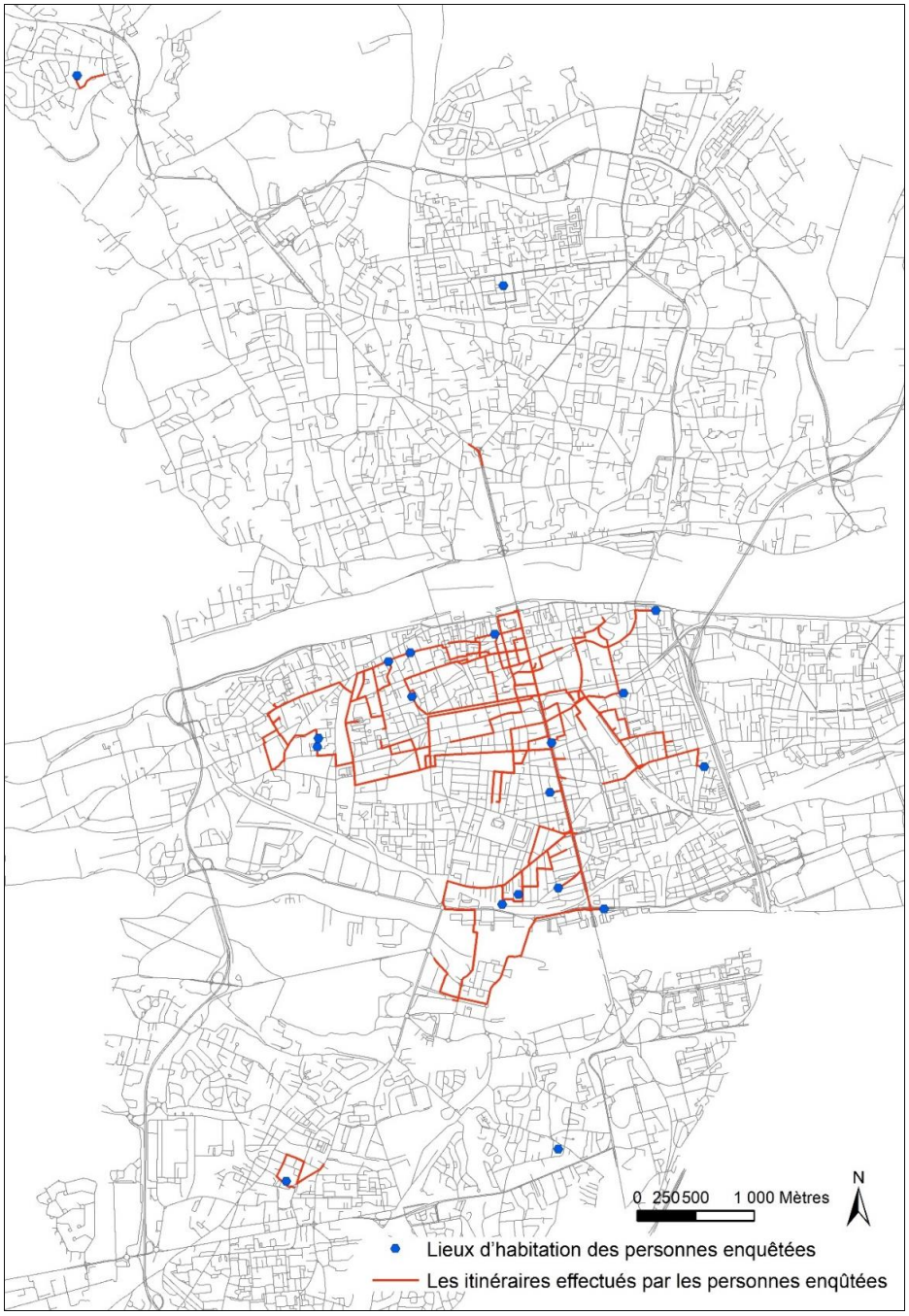

Figure 57. Localisation spatiale des lieux d'habitation des personnes enquêtées à **Tours**

Cette carte montre la concentration spatiale des lieux de résidence de ces individus dans la zone centrale de Tours. En effet, les contraintes pour le choix des participants qui marchent à pied nous ont amenée à cette non homogénéité spatiale. Les volontaires qui vivent à Tours-nord ou dans la partie sud de ce périmètre ont déclaré se déplacer très peu à pied.

7-3-5- L’exploitation des données enregistrées

Pour récupérer les données générées par les traceurs GPS, nous avons utilisé le logiciel @trip PC, téléchargeable gratuitement sur le site internet du fournisseur des traceurs GPS. Ce logiciel nous permet de visualiser les traces brutes sous forme de vues aériennes des itinéraires parcourus, superposées sur un fond cartographique de type plan (carte ou satellite) dès lors que nous sommes connectée à Internet. Cette cartographie représente donc la localisation géographique des déplacements sous forme de lignes. Cependant, nous ne pouvons pas exporter ces lignes. En revanche, chaque traceur GPS fournit un fichier qui contient les informations recueillies pendant toute la période d’enquête sous forme de points. Ainsi, pour chaque participant, l’appareil enregistre les informations spatiotemporelles précises des déplacements sous forme d’une chaîne de milliers de points. Les points apparaissent toutes les 2 secondes dans un espace à trois dimensions : coordonnées géographiques (latitude, longitude) et altitude (hauteur géométrique verticale par rapport au niveau de la mer). Ces données sont enregistrées dans des fichiers « gpx » et « csv ». Ces informations apparaissent sous la forme d’un tableau qui indique la latitude, la longitude et l’altitude de l’emplacement, mais aussi l’heure, la vitesse (km/h), ainsi que la date du déplacement concernant chaque point enregistré.

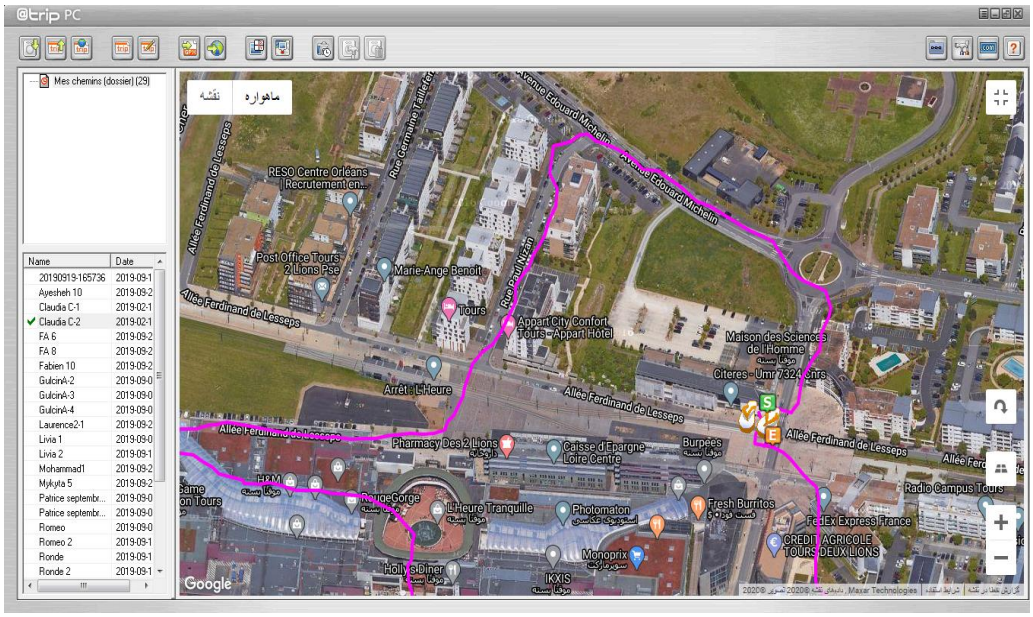

Figure 58. Exemple d’une représentation d’un itinéraire enregistré sur image satellite dans @trip PC

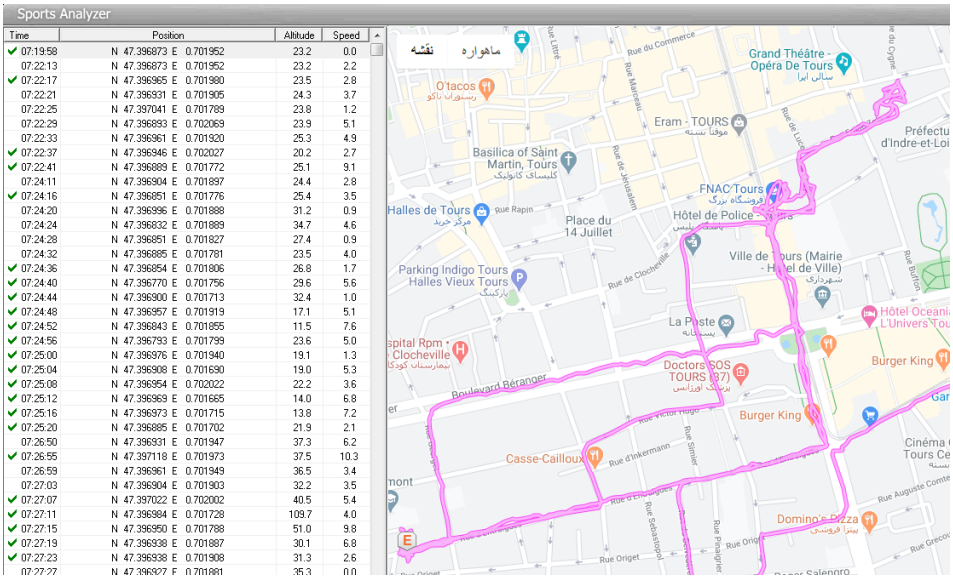

Figure 59. Exemple d'une représentation des informations associées à un itinéraire enregistré dans Sports Analyzer

Les informations collectées représentées sous forme de tableau montrent l'heure, la vitesse, l'altitude et la géolocalisation des points, ainsi que la représentation des itinéraires empruntés. Précisons que si une personne passe deux fois par la même rue, les traces se superposent et rendent la carte moins lisible. Dans ce cas, il faut vérifier le parcours de la personne à l'aide des informations sur les points présentés dans le tableau adjacent (notamment l'heure correspondant à chaque point).

Cependant, le logiciel @trip PC ne permet pas le traitement et l'analyse de ces données collectées. Elles sont donc brutes et ont besoin d'être traitées. Par ailleurs, l'analyse et le « nettoyage » de ces données brutes nécessite un logiciel adéquat. C'est pour cette raison que nous avons converti les fichiers initiaux aux formats « gpx » et « csv » afin de pouvoir les importer sur ArcGIS. Notre but est de parvenir à reconstruire les dimensions spatiales des pratiques des individus, plus précisément, les itinéraires empruntés lors des déplacements, ainsi que les coordonnées des OD fréquentées à partir des points enregistrés.

7-3-6 - Le traitement des données enregistrées

Avant de décrire le traitement des données, nous évoquons Depeau et Quesseveur (2014) qui affirment que l'information brute recueillie initialement par le GPS est très désagrégée. Cette information est constituée d'une série temporelle de milliers de points. Pour notre part, en raison du nombre relativement restreint de jours d'enquête (un jour), et de la prise en compte uniquement des déplacements à pied, nous avons pu réaliser le processus de traitement manuellement sur ArcGIS, ce qui nous a demandé 2 mois de travail intense. Ceci n'est probablement pas évident pour certaines études, notamment celles qui disposent

d‘échantillons de données plus larges. Ces études demandent la mise en place d’outils plus élaborés de traitement de données (Martouzet et *al*., 2012 ; Feildel, 2014).

Grâce au croisement (1) des données brutes enregistrées par les traceurs GPS, (2) des cartes de nos terrains (GoogleMap) et (3) des vérifications avec les participants, le processus du traitement sur ArcGIS s’est déroulé selon quatre étapes successives présentées ci-après.

Première étape : nettoyage des données

Afin de repérer les erreurs potentielles, les données brutes recueillies ont besoin d’être vérifiées. L’exploitation des données GPS nécessite un traitement important qui consiste à éliminer un ensemble de points « fantômes » (erronés) et à combler les points manquants dus à la perte du signal satellite (par exemple lorsque le GPS est à l’intérieur d’un bâtiment ou dans un tunnel de métro, où il n’est plus en mesure de capter correctement les signaux satellitaires) ou à des problèmes techniques (Martouzet et *al*., 2012 ; Feildel, 2014). Dans notre travail, le nettoyage des données s’est avéré parfois très compliqué, notamment en ce qui concerne l’identification des points aberrants dus à la saute de points auxquels nous sommes confrontée. En effet, l’objectif du nettoyage est de repérer les points répétitifs et aberrants, notamment dans les cas où le GPS se situait à l’intérieur d’un bâtiment, pour pouvoir ensuite les éliminer. À cet effet, durant cette première étape, nous avons supprimé les nuages de points répétitifs provoqués par les sautes des points en examinant l’ensemble des points obtenus. Nous avons répété cette démarche sur les données brutes de tous les itinéraires parcourus par les 70 participants.

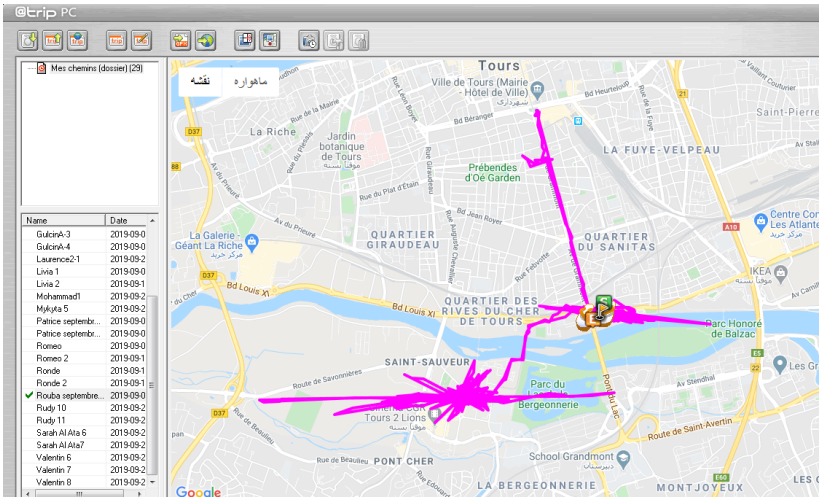

Figure 60. Exemple pour les sautes des points et les données répétitives et aberrantes lorsque la personne est à l’intérieur d’un bâtiment

Deuxième étape : identification des déplacements piétonniers

Comme notre sujet de thèse concerne uniquement la marche, nous avons identifié les moyens de déplacement dans le but de distinguer les déplacements effectués à pied. Nous avons repéré les déplacements pédestres à partir des vitesses enregistrées. Nous avons donc éliminé tous les points ayant une vitesse supérieure à 7 km/h, en ne conservant que ceux qui semblaient correspondre à la marche. Dans beaucoup de cas, nous avons eu des difficultés à déterminer les déplacements pédestres. Par exemple, pour le cas d'Ispahan, à propos de certaines avenues (notamment dans le centre-ville), nous avons eu parfois du mal à deviner si la vitesse basse était liée à la marcher à pied ou s'il s'agissait d'un fort ralentissement du trafic d'une personne qui se déplaçait en voiture. Pour résoudre ces problèmes, nous avons confirmé nos données par un travail d'appariement de plans de la ville sur Google Maps, ce qui permet de savoir si la personne est sur le trottoir ou sur la chaussée. Par ailleurs, dans certain cas, nous avons fait une vérification auprès de l'enquêté. En effet, les traces du déplacement de la personne peuvent être faussées : en raison de la présence d'arbres ou de la hauteur des bâtiments, il est parfois difficile de distinguer si elle s'est déplacée sur le trottoir ou sur la chaussée. Nous avons également répété cette étape pour les données brutes de tous les itinéraires parcourus des 70 participants.

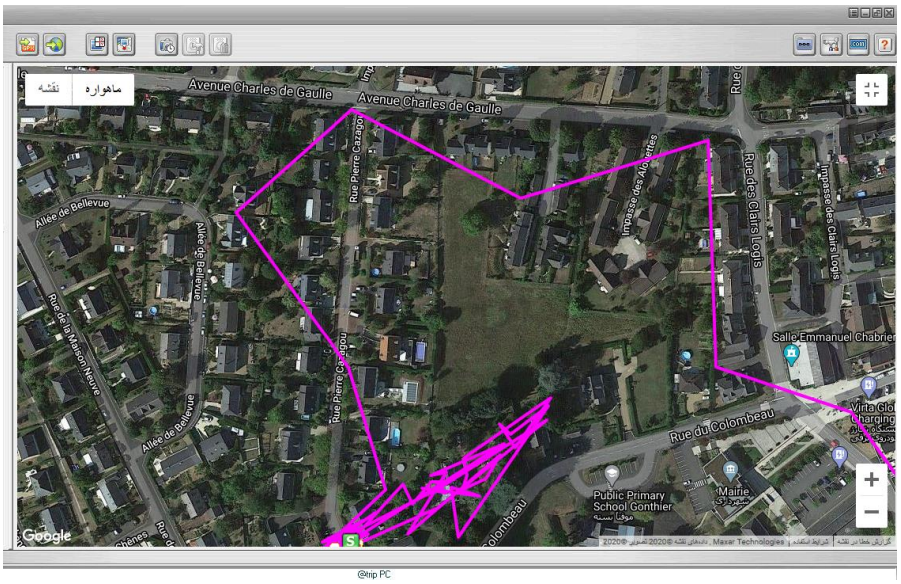

Figure 61. Exemple pour les sautes de points et l'imprécision des données

L'itinéraire emprunté ne correspond pas au réseau de voirie. Il nécessite donc une modification manuelle. Ainsi, nous avons reproduit le trajet parcouru en fonction du réseau de rues disponible. Nous pouvons également voir les données aberrantes dans cette image. Ces données correspondent aux points enregistrés lorsque l'enquêté était à l'intérieur d'un bâtiment (son lieu de travail).

Troisième étape : identification des points d'arrêts et des séquences de déplacements

Détecter les points d'arrêts nous permet d'identifier les différentes séquences des déplacements au cours de la journée d'enquête. Chaque point d'arrêt indique le point d'origine (départ) et/ou de destination (arrivé) d'un déplacement. Ensuite, à partir de l'identification des couples de points correspondants à chaque déplacement, nous parvenons à reproduire les chaînes de déplacements entre le départ du domicile et le retour, pendant toute la journée d'enquête. L'expression « chaîne de déplacements » désigne l'ensemble des déplacements successifs effectués par un individu pour relier différentes activités sans retour au domicile, ce qui permet souvent d'économiser du temps (Courel et Deguitre, 2020). Selon ces auteurs, les **chaînes simples** correspondent à deux déplacements : celui du domicile au travail, et le trajet inverse. Par contre, les **chaînes complexes** sont celles qui intègrent d'autres activités (comme faire les courses, aller à la poste, déposer son enfant à l'école, etc.), provoquant des déplacements supplémentaires. Nous pensons que la marche peut représenter une opportunité pour l'individu d'ajouter des arrêts à sa chaîne de déplacement.

Lorsque les points enregistrés par les traceurs GPS sont très denses et que la vitesse est très faible (inférieure à 2 km[1] par heure), nous supposons que la personne enquêtée était à l'arrêt. Dans l'intention d'augmenter la précision et de repérer les éventuels arrêts devant les vitrines des magasins ou pour d'autres motifs comme répondre à un appel téléphonique, etc., nous prenons également en considération la durée du temps d'arrêt à l'aide des heures affichées pour chacun des points. Nous estimons donc les temps d'arrêt de 5 minutes et moins comme étant trop courts, de sorte que ces points ne sont pas considérés comme un arrêt complet du marcheur. Ainsi, si la durée de temps d'une pause est supérieure à 5 minutes, nous découpons la séquence du déplacement. Ce point d'arrêt est donc considéré comme une destination du déplacement. Concernant les arrêts ayant des durées supérieures à 5 minutes, dès que la vitesse se commence ensuite à augmenter, le point d'arrêt est considéré comme le point d'origine de la chaîne de déplacement suivant. De plus, nous avons obtenu les motifs de présence dans ces lieux à partir de l'analyse spatiale des informations des traceurs GPS et des motifs déclarés par les individus.

[1] Nous tenons à préciser que selon Dekoster et Schollaert (2000), la vitesse moyenne de la marche à pied dans le milieu urbain est estimée à 5 km par heure. Ainsi, au regard de l'âge moyenne des enquêtes et de leur santé physique, une vitesse de moins de 2 km/h ne nous semble pas une marche normale.

Nous tenons à rappeler que nous avons effectué toutes les analyses de cette étape avec ArcGIS. Cependant, nous avons vérifié beaucoup de cas : sur le plan de la ville (Google Maps), en nous appuyant sur les informations contextuelles associées, notamment le réseau de voirie, les utilisations du sol telles les commerces, les bâtiments et les équipements publics, les arrêts de métro, tramway ou bus, etc. Nous nous sommes également renseignée en menant des entretiens avec les participants. Grâce aux informations données par les personnes enquêtées, nous avons également pu indiquer la validité des arrêts détectés. De même, le cas échéant, nous avons ajouté les arrêts non détectés. De plus, à partir des informations enregistrées, nous avons premièrement pu distinguer les couples d'arrêts qui constituent l'origine et la destination de chaque séquence de déplacement à pied ; deuxièmement, nous avons déterminé la direction du déplacement.

Le jour de l'enquête, le point de départ est le domicile des enquêtés. Mais comme notre étude s'intéresse uniquement aux déplacements à pied, le premier point de départ de la marche des participants n'était pas forcément leur domicile, puisque certaines personnes débutent leur journée en se déplaçant en voiture ou en transports en commun.

À force de répéter ces démarches relativement longues et fastidieuses pour chacun des participants, nous avons pu extraire les points d'origine et de destination des déplacements pédestres tels que le domicile, le lieu de travail, les lieux d'achat, la station de bus ou de tram, la gare, etc., et distinguer les différentes chaînes de déplacements à pied de chaque individu.

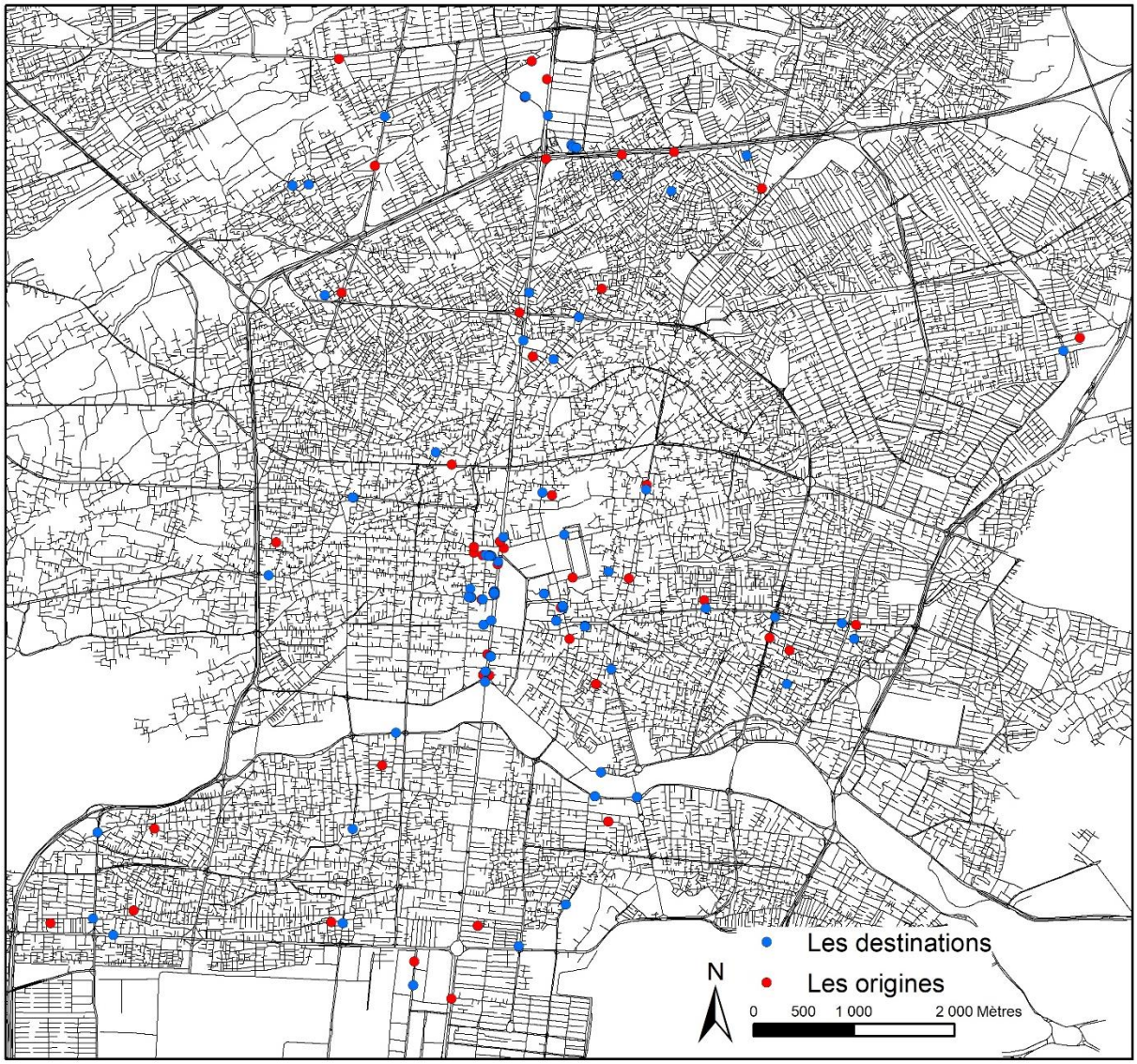

Figure 62. Répartition des points d'origine et de destination des déplacements pédestres enregistrés à **Ispahan**

Précisons que certaines origines ou destinations sont associées aux lieux de départ ou d'arrivée de plusieurs trajets.

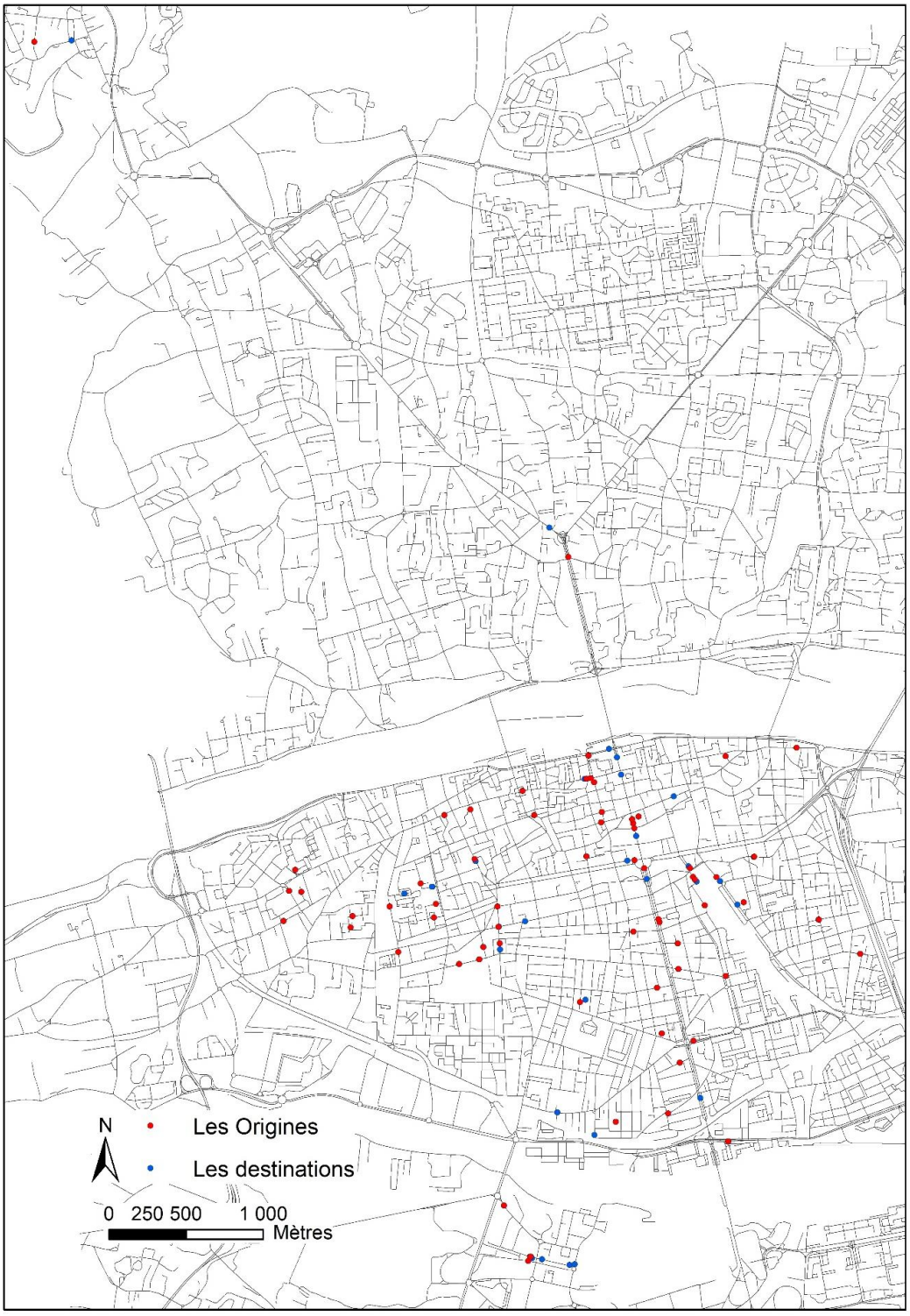

Figure 63. Répartition des points d'origine et de destination des déplacements pédestres enregistrés à **Tours**

Précisons que certaines origines ou destinations sont associées aux lieux de départ ou d'arrivée de plusieurs trajets.

Quatrième étape : cartographie des itinéraires empruntés

Après avoir identifié les points de départ et ceux d'arrivée, cette étape consiste à reproduire tous les itinéraires empruntés par chaque individu lors de la marche, toujours avec ArcGIS. À cet effet, nous superposons pour chaque participant les couches suivantes :

- la couche de tous les points enregistrés par le traceur. Ces points correspondent uniquement aux déplacements à pied effectués (le résultat de la deuxième étape) ;
- la couche des points d'origine et de destination détectés dans la troisième étape ;
- la couche du plan du réseau de voirie.

À partir de la superposition de ces trois couches, nous identifions la série de tronçons[1] de rue empruntés pour toutes les paires d'origine-destination. Ensuite, nous reproduisons manuellement tous les itinéraires effectués à pied le jour de l'enquête sous forme de polylignes. Ceci permet de révéler les itinéraires effectués des participants.

Nous tenons à préciser que, pour toutes les personnes enquêtées, si les itinéraires d'aller et de retour correspondent exactement au même trajet, nous prenons uniquement en compte le tracé de l'aller, essentiellement pour ne pas biaiser les résultats au moment de l'analyse des itinéraires.

En outre, nous excluons tous les déplacements à pied d'une distance métrique inférieure à 130 mètres. Cela inclut également tous les déplacements entre le domicile ou n'importe quelle origine ou destination du déplacement et une station de transport en commun. Nous avons jugé ces distances trop courtes par rapport à l'analyse ultérieure que nous comptons faire à propos des critères de choix d'itinéraire.

Ainsi, nous disposons d'une base de données unique, constituée de 171 trajets pédestres correspondant à une longueur totale de 143 kilomètres. Ces trajets ont été effectués par 60 volontaires adultes : 20 participants à Tours, dont 9 hommes et 11 femmes, avec une moyenne d'âge de 43 ans (min : 27 ; max : 65) et 40 participants à Ispahan, dont 23 hommes et 17 femmes, ayant une moyenne d'âge de 38 ans (min : 25 ; max : 50). En ce qui concerne la répartition hommes/femmes, notre échantillon révèle une répartition relativement homogène. Quant aux classes d'âge, nous constatons une surreprésentation des classes de 28 ans à 40 ans. De même, pour l'ensemble des enquêtes : concernant les 20 participant de Tours, nous avons

[1] Le tronçon désigne la portion de rue située entre deux carrefours (intersections).

enregistré 76 itinéraires distincts qui totalisent 72 kilomètres avec une distance parcourue moyenne de 980 mètres. Concernant l'ensemble des 40 enquêtés à Ispahan, nous avons saisi 95 itinéraires distincts, qui totalisent une longueur de 71 kilomètres d'une longueur moyenne de 760 mètres.

Enfin, nous avons intégré l'ensemble des itinéraires parcourus par toutes les personnes enquêtées de chaque terrain d'étude dans une même couche, afin de pouvoir les analyser ultérieurement.

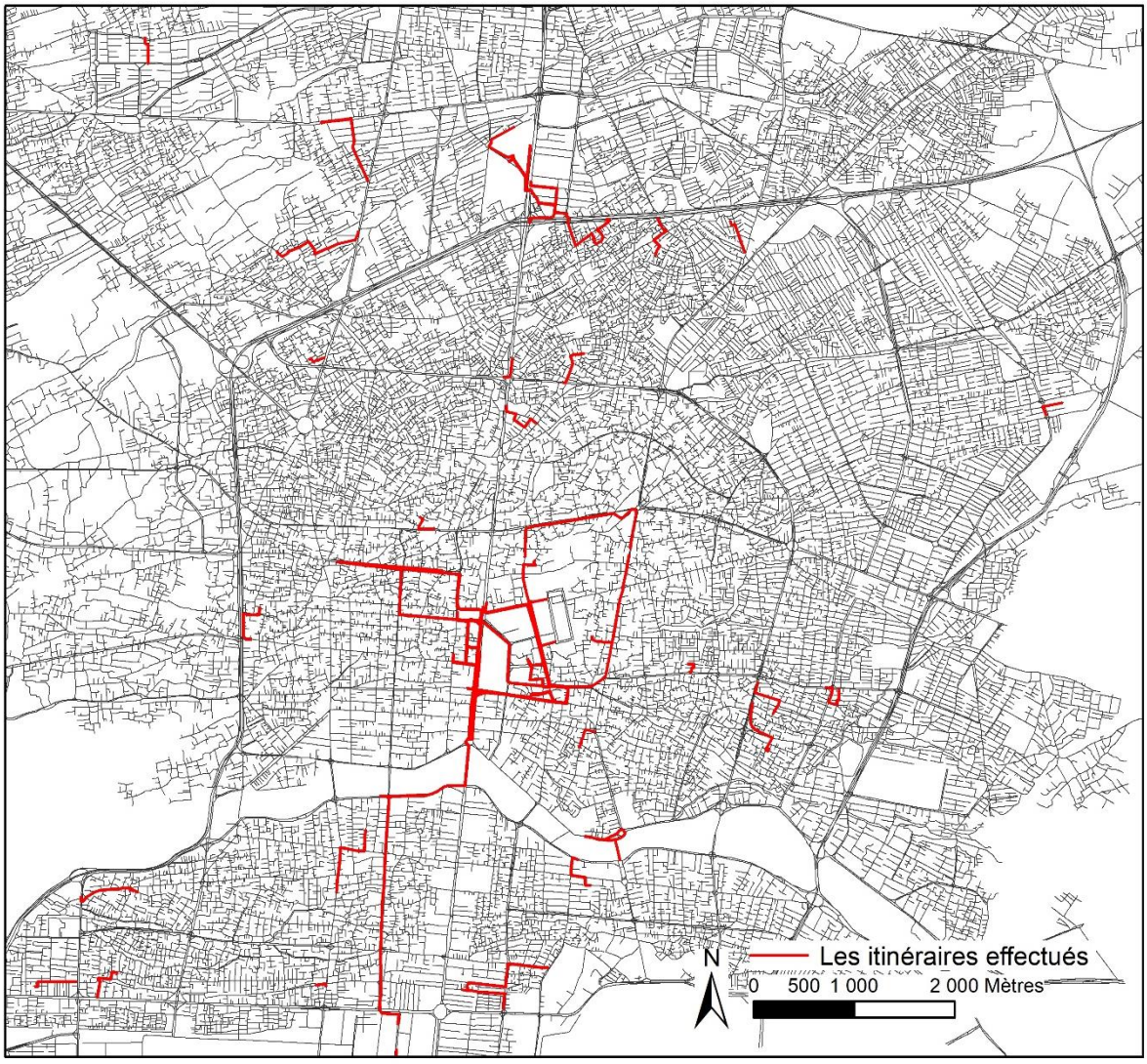

Figure 64. Répartition des itinéraires pédestres enregistrés sur le réseau de voirie d'**Ispahan**

Certains segments de rues empruntés sont associés aux trajets effectués par les différentes personnes.

Cette carte fait apparaître que les tronçons les plus empruntés se situent particulièrement dans la partie centrale de la ville. Ainsi, en dehors de cette zone, à mesure qu'on s'éloigne du centre, il y a également quelques déplacements pédestres dispersés un peu partout sur le réseau de voirie, en dépit du fait que les lieux d'habitations des participants soient dispersés dans toute la ville et pas uniquement dans les quartiers centraux. Nous supposons que cette concentration des trajets pratiqués est, d'une part, liée à la configuration du réseau de voirie et, d'autre part, à la densité et à la diversité des occupations du sol dans les parties centrales d'Ispahan. Quoi qu'il en soit, l'analyse des trajets effectués (dans le chapitre VIII et IX) permet d'expliquer cette tendance.

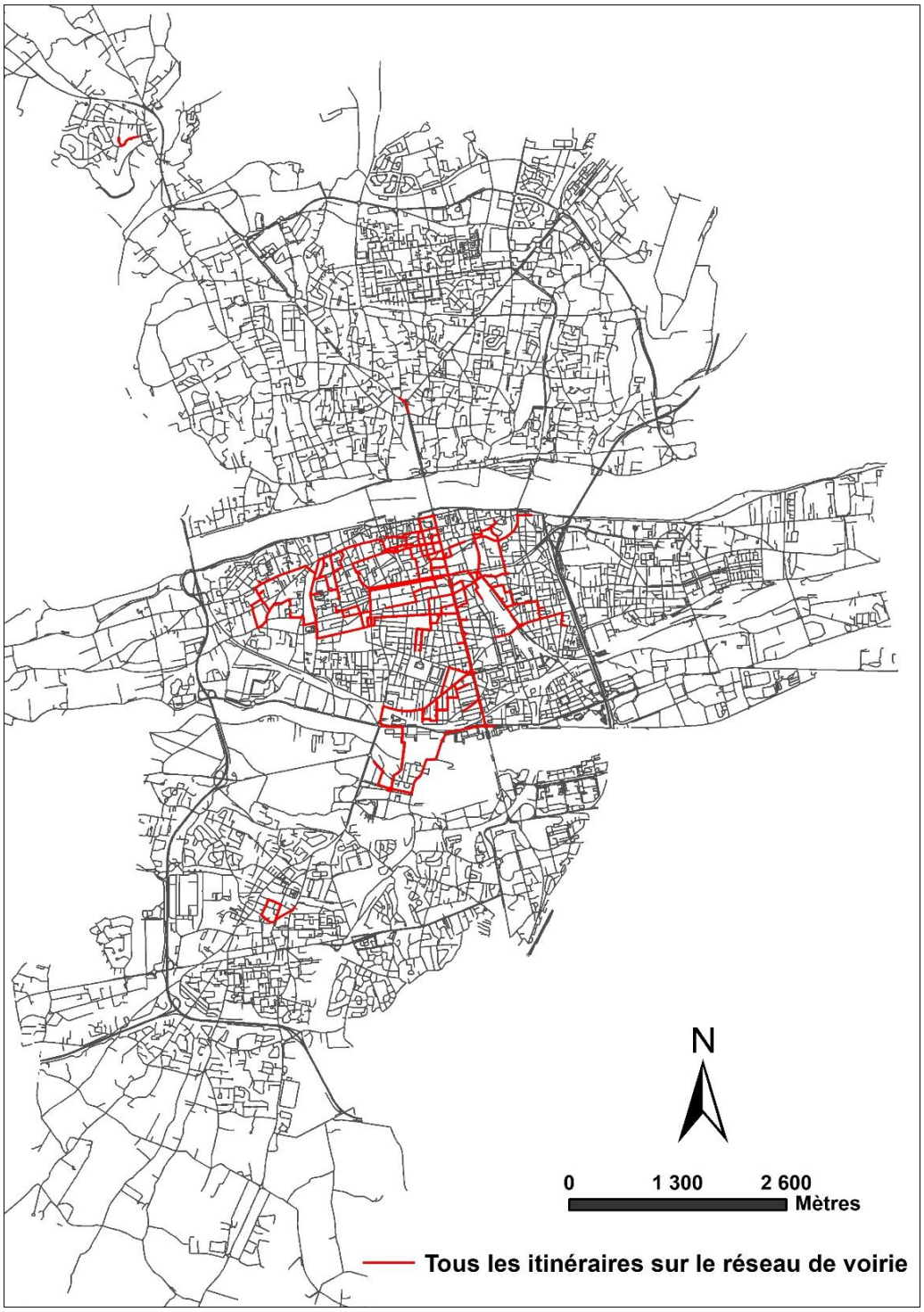

Figure 65. Répartition des itinéraires pédestres enregistrés sur le réseau de voirie de **Tours**

Certains segments de rues empruntés sont associés aux trajets effectués par les différentes personnes.

Nous constatons que les tronçons de rues empruntés se localisent majoritairement dans la partie centrale, c'est-à-dire dans Tours-centre.

Toutefois, nous tenons à souligner que ces cartes ne donnent pas une vision générale de la densité des trajets pédestres effectués pour l'ensemble des habitants de nos deux terrains d'étude. En effet, le choix d'échantillon des personnes enquêtées ne repose pas sur la distribution de la population et des lieux d'activités. Cette carte donne uniquement lieu aux informations des déplacements à pied de nos participants.

7-4- La constitution de la base de données empiriques : l'enquête qualitative

La revue de la littérature (sous-section 5-6) met en évidence que la méthode d'application du GPS nécessite souvent d'être complétée par d'autres moyens de construction de données. Comme l'ont souligné Depeau (2005), Depeau et Quesseveur (2014), Martouzet et *al*. (2012) Feildel (2014), Thao-Pham (2016) et Depeau et *al*. (2016), la collecte de données statistiques et géolocalisées via le GPS est notamment combinée avec des enquêtes (quantitatives ou qualitatives) par entretiens et questionnaires. C'est pour cette raison, et aussi dans l'intention de comprendre les représentations mentales des personnes de l'espace urbain et de leurs trajets pédestres, que nous avons effectué des entretiens semi-directifs avec les participants ou que nous leur avons fait passer des questionnaires. Cela permet de prendre en compte les **préférences individuelles déclarées** concernant les choix de trajets et compléter la compréhension des choix de trajets réellement effectués. Cette phase qualitative saisit et évalue les phénomènes cognitifs et les représentations des participants en les questionnant sur les déterminants et les éléments qui participent de ce choix. Ces discours des participants sont recueillis après l'enregistrement des déplacements par les traceurs GPS.

En ce qui concerne les participants de cette étude à Tours, nous les avons interviewés lors d'un entretien individuel en face à face d'environ 30 minutes. Nous avons posé les questions suivantes concernant leurs déplacements à pied effectués le jour de l'enquête : les lieux fréquentés, leurs motifs, les critères selon lesquels ils choisissent leurs itinéraires. Pendant que la personne s'exprimait, nous avons pris des notes. Nous n'avons donc pas enregistré les discours pour ne pas alourdir cet entretien.

Concernant les participants ispahanais, nous ne sommes pas parvenus à faire un entretien individuel en face à face en raison de la non disponibilité d'un grand nombre de personnes. C'est pourquoi nous avons distribué un questionnaire à chacun des participants en fixant un délai de 24h pour qu'ils y répondent. Les premières questions du questionnaire permettent de

recueillir des informations générales sur les participants telles que le nom et l'âge, etc. Ensuite, il a été demandé de remplir un tableau concernant les informations au sujet des déplacements effectués le jour de l'enquête : les lieux fréquentés (les points de départ et d'arrivée pour chaque déplacement) ainsi que les motifs de leurs déplacements pédestres. Puis nous avons posé une question ouverte en les laissant libres de s'exprimer sur leurs déplacements et sur leurs représentations de l'environnement urbain et des trajets effectués : selon quels critères vous-avez choisi le trajet de votre déplacement à pied ? Veuillez hiérarchiser vos critères s'il vous plaît.

Ainsi, ces enquêtes qualitatives contribuent à déterminer les critères que les enquêtés déclarent avoir mis en place lors de leurs choix d'itinéraires. Par ailleurs, elles permettent également de mettre en avant les éventuelles différences d'ordre culturel, social ou économique entre les deux terrains d'étude.

Conclusion du chapitre VII

Dans ce chapitre nous avons mis en œuvre nos méthodes de constitution d'une base de données théoriques et empiriques : **premièrement**, nous avons modélisé la structure du réseau de voirie et nous avons évalué quantitativement la configuration spatiale de nos terrains d'études en appliquant la Syntaxe spatiale. Ainsi, à partir des mesures quantitatives, nous avons prédit les segments de rues qui ont le potentiel d'être parcourus par les piétons, c'est-à-dire les **préférences théoriques individuelles** des piétons en matière de choix d'itinéraire.

Deuxièmement, dans le but de reconnaître les comportements réels des piétons à propos de leur choix d'itinéraire, nous avons saisi les données empiriques des déplacements à pied de 60 volontaires adultes sur nos deux terrains d'étude (20 à Tours et 40 à Ispahan) par des traceurs GPS. Ceci a révélé les préférences des piétons. Par l'exploitation et le traitement des données enregistrées sur ArcGIS, nous avons reproduit les 171 itinéraires empruntés à pied par les participants et les paires d'origines et de destinations correspondantes à ces trajets.

Troisièmement, nous avons réalisé des enquêtes *a posteriori* (des entretiens semi-directifs et des questionnaires) avec les participants de notre enquête, qui complètent les données fournies par le GPS. Ces entretiens contribuent par ailleurs à identifier les critères que les enquêtés déclarent avoir mis en place lors de leurs choix d'itinéraires.

Nous tenons à souligner ici que ces deux méthodes de collecte d'informations empiriques de déplacements ne recouvrent pas les mêmes objectifs. La première méthode (recueillir les données par GPS) est représentative de la réalité. Elle permet surtout d'enregistrer ces informations de manière spatiales ainsi que les choix réels des individus concernant les trajets empruntés. Ceci permet d'analyser ces trajets et d'appréhender les **préférences révélées** des individus en matière de choix d'itinéraires. La deuxième méthode (entretiens semi-directifs), quant à elle, permet de recueillir les **préférences déclarées** des choix d'itinéraires des personnes.

Dans les chapitres suivants, à partir de la confrontation des données recueillies et issues de ce chapitre, nous expliquons le choix du trajet des piétons en rapport aux différents attributs du réseau de voirie et nous répondons à la question principale de cette thèse concernant l'influence du réseau de voirie sur le choix de trajet des piétons.

CONCLUSION DE LA DEUXIÈME PARTIE

Dans cette partie, nous nous sommes appuyée sur le cadre théorique de notre recherche (présenté dans la première partie) afin de construire le cadre méthodologique de notre thèse. Celui-ci permet : (a) d'analyser la structure du réseau de voirie de nos terrains d'études ; (b) de simuler les itinéraires théoriques des piétons (au niveau individuel, désagrégé) ; (c) et de saisir les comportements réels des piétons concernant leurs choix de trajets dans l'espace urbain. Nous avons structuré cette partie en quatre chapitres : les chapitres IV, V, VI et VII de la thèse.

Dans le **premier chapitre** de cette partie **(chapitre IV)**, nous avons abordé le positionnement méthodologique de cette thèse et donc le choix des méthodes adéquates afin de modéliser les comportements théoriques des piétons en matière de choix du trajet et de modélisation du réseau de voirie. Ainsi, dans un premier temps, nous avons présenté quatre approches méthodologiques principales. Il s'agit d'approches qualitatives et quantitatives de modélisation du comportement des piétons lors de leur orientation dans l'espace. La plupart de ces modèles (plus particulièrement les **modèles cognitifs**) reposent sur l'approche qualitative. Ils modélisent uniquement le processus mental d'orientation des personnes dans l'espace. Ils ne permettent donc pas de prédire le trajet des personnes. Quant aux **modèles quantitatifs**, nous avons constaté que la plupart (certains modèles **quantitatifs microscopiques**) sont limités, car ils ne simulent les comportements des piétons qu'à des échelles géographiques restreintes (les grandes surfaces, les terminaux, etc.). D'autres groupes de modèles quantitatifs (les modèles **quantitatifs macroscopiques**) ne simulent, quant à eux, que les comportements des flux de piétons.

Dans un deuxième temps, nous avons également abordé deux approches méthodologiques principales pour la modélisation du réseau de voirie : (a) l'**approche fonctionnelle,** qui classifie le réseau des rues en fonction de leur niveau d'importance fonctionnelle théorique ou empirique et (b) l'**approche structurelle** qui modélise les réseaux de voirie selon leurs caractéristiques morphologiques, géométriques, topologiques ou encore la configuration de leur structure spatiale. Ces modélisations s'appuient sur des descriptions qualitatives ou quantitatives, aussi bien à l'échelle d'une ville qu'à celle d'un quartier.

Pour ce qui nous concerne, notre choix méthodologique porte, d'une part sur un modèle intégrant la relation entre individu/piéton et environnement/réseau de voirie qui permet

d'analyser la capacité du réseau de voirie à influer sur l'orientation des piétons. D'autre part, nous avons également choisi de prendre en considération l'aspect multidimensionnel du réseau de voirie, et donc d'analyser les trajets des piétons en lien avec les aspects fonctionnels et structurels des rues. C'est pourquoi, parmi les méthodes présentées, la Syntaxe spatiale nous a particulièrement interpelée. Elle permet de modéliser la configuration du réseau de voirie telle qu'elle est perçue par les piétons lorsqu'ils s'orientent dans l'espace, en supposant une préférence des individus pour la minimisation des distances topologiques à parcourir. Elle a donc l'avantage de tenir compte de l'interaction individu-environnement ainsi que de la subjectivité des individus. Elle permet, en outre, d'être en même temps en accord avec les approches théoriques cognitives et avec les approches rationnelles du choix de trajet des piétons. En effet, la Syntaxe spatiale est à la fois une théorie **et** une méthode qui reposent sur la théorie des graphes. Elle permet donc, d'une part, une analyse quantitative des caractéristiques topologiques de la configuration du réseau de voirie et, d'autre part, de prédire le mouvement des piétons sur le réseau. Ainsi, il est possible de connaître l'importance structurelle des segments de rues et donc de prévoir la probabilité d'usage des tronçons de rue par les piétons.

Néanmoins, puisque la Syntaxe spatiale repose uniquement sur les attributs topologiques du réseau de voirie, nous avons complété la compréhension du choix de trajet des piétons en intégrant d'autres facteurs du réseau. C'est la raison pour laquelle nous avons également appliqué, dans un premier temps, la modélisation du choix d'itinéraire des piétons par l'algorithme du plus court chemin de *Dijkstra*. Ceci nous a permis d'intégrer les attributs métriques du réseau de voirie et d'insister sur la rationalité des piétons en matière de choix d'itinéraire. En outre, nous avons aussi intégré les facteurs fonctionnels du réseau, autrement dit, l'importance fonctionnelle des segments de rue au sein du réseau de voirie. En somme, la combinaison de ces diverses méthodes offre une meilleure compréhension du lien entre le réseau de voirie et les déplacements des piétons dans l'environnement urbain. Ceci permet d'inclure à la fois la subjectivité et l'objectivité des piétons.

Le **deuxième chapitre** de cette partie (**chapitre V**) porte sur le choix du cadre méthodologique pour cette thèse, afin de saisir les comportements réels des piétons en matière de choix de trajet dans le milieu urbain. Nous avons présenté plusieurs méthodes conduisant à la production de données empiriques concernant les déplacements pédestres. Nous avons identifié les avantages et les limites associées à chacune d'entre elles, en lien avec l'objectif de notre recherche et en tenant compte des limites qui leurs sont propres, notamment en ce qui

concerne le coût de collecte des données. Ainsi, certaines méthodes, comme le comptage des piétons et l'utilisation de sources de données préalablement disponibles, ne permettent pas de reconnaître les trajets empruntés lors des déplacements à pied de chaque piéton au niveau individuel. Nous avons estimé qu'une grande majorité des enquêtes sont inappropriées, car elles ne permettent d'accéder aux informations qu'*a posteriori* du déplacement. De plus, la précision des données récoltées au sujet des trajets empruntés pose question. Nous avons donc adopté la méthode de recueil de données empiriques des déplacements pédestres par traceurs GPS. Le recours à cette méthode permet de saisir des informations *in situ*, géolocalisées et très précises sur les déplacements de chaque piéton de manière désagrégée. Nous avons également adopté la méthode d'enquête *a posteriori* des déplacements comme méthode complémentaire afin d'accéder aux représentations des participants de l'espace urbain, notamment de leurs trajets. L'apport essentielle de cette méthode pour notre recherche est qu'elle saisit les critères que les piétons déclarent avoir mis en place lors du choix du trajet.

Dans le **troisième chapitre** de cette partie (**chapitre VI**), nous avons présenté nos deux terrains d'études que sont la ville d'Ispahan (Iran) et Tours et ses communes avoisinantes (France). En dépit des différences qu'elles présentent en matière de spécificités socioculturelles et économiques, de superficie, de nombre d'habitants et de fonctionnement du système de transport, nous avons mis en évidence l'existence de similitudes non négligeables entre elles. De fait, lorsque nous avons présenté l'évolution de la structure spatiale de ces deux villes historiques, nous avons noté des points communs entre Tours et Ispahan non dénués d'importance dans le cadre de notre thèse : toutes deux sont composées d'un axe principal nord-sud historique, de tracés de rues mixtes et variés, d'une densité et d'une diversité de leur partie centrale respective (au niveau du réseau de voirie et des activités urbaines), du passage est-ouest de rivière/fleuve, de quartiers périphériques résidentiels nouvellement aménagés, de quartiers à caractère semi-rural, etc. Ces particularités permettent d'analyser les comportements des piétons en lien avec la structure du réseau de voirie, en prenant en compte l'intervention éventuelle de facteurs locaux sur le contexte de déplacement.

Dans le **dernier chapitre** de cette partie **(chapitre VII)**, nous avons appliqué les approches méthodologiques choisies à nos terrains d'études. Ainsi, dans un premier temps, nous avons constitué notre base de données théorique en modélisant le réseau de voirie d'Ispahan et Tours. Puisqu'elle repose sur l'approche structurelle, nous avons employé la Syntaxe spatiale afin de modéliser la configuration spatiale de la structure du réseau de voirie. Elle permet de simuler les segments de rues qui ont le potentiel pour être parcourus par les

piétons. Ensuite, en nous appuyant sur l'approche fonctionnelle, nous avons classifié les segments de rues des réseaux de voirie (d'Ispahan et de Tours) selon l'importance fonctionnelle de chaque tronçon par rapport à l'ensemble du réseau.

Dans un deuxième temps, nous avons, dans ce chapitre, également constitué notre base de données empiriques, en recueillant les informations sur le comportement réel des piétons en ce qui concerne les origines-destinations fréquentées et les itinéraires empruntés sur les terrains. Ainsi, nous avons employé des traceurs GPS pour enregistrer les pratiques spatiales réelles des adultes volontaires (et sans déficience physique pouvant influencer la marche) au cours d'une journée ordinaire et au milieu de la semaine (ni jour férié, ni week-end). Ensuite, dans le souci d'appréhender les représentations que ces personnes se font de leurs déplacements et de l'environnement de la marche, nous avons mené des enquêtes qualitatives *a posteriori* interrogeant les déplacements enregistrés.

Ainsi, dans la partie suivante, à partir du couplage des méthodes théoriques et empiriques de notre recherche, nous pouvons croiser les trajets théoriques (modélisés), les trajets effectivement réalisés et ceux verbalisés par les participants de nos terrains. Nous pouvons ainsi déterminer et décrire les **préférences théoriques individuelles** des piétons en matière de choix d'itinéraire, ainsi que leurs **préférences empiriques révélées et déclarées**. Ceci nous permet non seulement d'expliquer le choix du trajet des piétons en lien avec différents attributs du réseau de voirie, mais aussi de répondre à la question principale de cette thèse qui a trait à l'influence du réseau de voirie sur le choix du trajet des piétons.

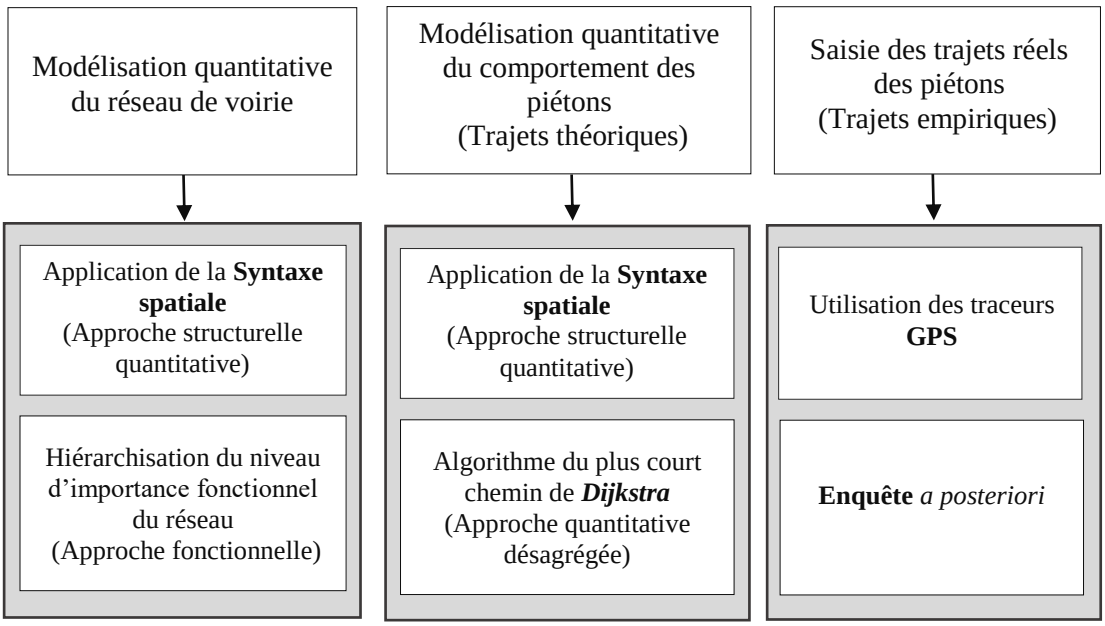

Figure 66. Cadre méthodologique de cette thèse

Ensemble de méthodes afin de modéliser le réseau de voirie et le comportement théorique et empirique des piétons

TROISIÈME PARTIE - ANALYSE DES DONNÉES ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

INTRODUCTION DE LA TROISIÈME PARTIE

Cette **dernière partie** comporte deux chapitres. Elle présente l'analyse des données constituées dans la partie précédente. Ainsi, à partir du couplage des méthodes théoriques et empiriques de notre thèse, nous cherchons à obtenir des résultats quantitatifs et qualitatifs concernant les trajets des piétons. Nous les interprétons en lien avec les différents attributs du réseau de voirie. Nous répondons ainsi à la question principale de cette thèse qui s'intéresse à l'influence du réseau de voirie sur le choix de trajet des piétons.

Le **premier chapitre** de cette partie (**chapitre VIII)** porte, dans un premier temps, sur l'analyse quantitative de la configuration spatiale de nos terrains d'étude, menée conformément à la méthode de la Syntaxe spatiale. Nous calculons des mesures syntaxiques (et topologiques) telles que l'intégration et la profondeur spatiale (globale, intermédiaire et locale) du réseau de voirie d'Ispahan et de Tours. Ces indices permettent de mesurer la distance topologique de chaque segment de rue à l'ensemble du réseau et donc d'identifier l'importance structurelle de chaque segment de rue. De cette façon, nous déterminons les segments de rue et les quartiers/IRIS qui sont les plus susceptibles d'être fréquentés par les piétons. Nous simulons ainsi les **préférences théoriques** des piétons en matière de choix d'itinéraire. À la fin de ce chapitre, nous calculons le taux d'intelligibilité de la configuration du réseau de voirie, ce qui permet de mesurer le degré de facilité d'orientation des piétons dans les réseaux de voirie d'Ispahan et de Tours.

Le **deuxième** chapitre de cette partie (**chapitre IX)** confronte les données théoriques et empiriques issues des chapitres précédents afin d'analyser les trajets à pied. Ainsi, à partir de l'analyse et de l'interprétation des trajets simulés et effectués, nous évaluons la contribution des différents attributs géométriques, topologiques et fonctionnels du réseau de voirie au choix d'itinéraire des piétons. Ceci nous permet également d'appréhender les préférences théoriques, révélées et déclarées des individus enquêtés à propos de leurs choix d'itinéraire. Ce chapitre se déroule de la manière suivante :

- dans un première temps (9-1), nous nous appuyons sur les attributs géométriques du réseau afin de mesurer la longueur métrique des trajets réellement effectués (9-1-1) et de simuler les trajets théoriques les plus courts disponibles sur le réseau qui sont associés à chaque paire d'origine-destination (9-1-2). Enfin, avec l'objectif d'évaluer la rationalité du comportement des

personnes en matière de distance des trajets, nous confrontons la longueur des itinéraires empruntés et simulés ;

- dans un deuxième temps (9-2), nous nous appuyons sur l'aspect fonctionnel du réseau de voirie afin d'évaluer le niveau d'importance fonctionnelle des segments de rue empruntés ;

- dans un troisième temps (9-3), en nous appuyant sur les résultats d'analyse de la configuration du réseau de voirie par la méthode de la Syntaxe spatiale (issus du chapitre VIII), nous analysons les attributs topologiques des segments de rues empruntés (collectés par les traceurs GPS, comme décrit dans le chapitre VII) ;

- dans un quatrième temps (9-4), nous mesurons la longueur topologique (le nombre de changements de direction) des trajets effectués et simulés (les chemins les plus courts). En confrontant la distance topologique des itinéraires empruntés et celle des itinéraires simulés, nous examinons la sensibilité des piétons à la linéarité des trajets ;

- enfin (9-5), nous nous appuyons sur notre enquête qualitative (les entretiens semi-directifs et les questionnaires) afin d'identifier les préférences déclarées des piétons ainsi que leurs représentations de leurs trajets.

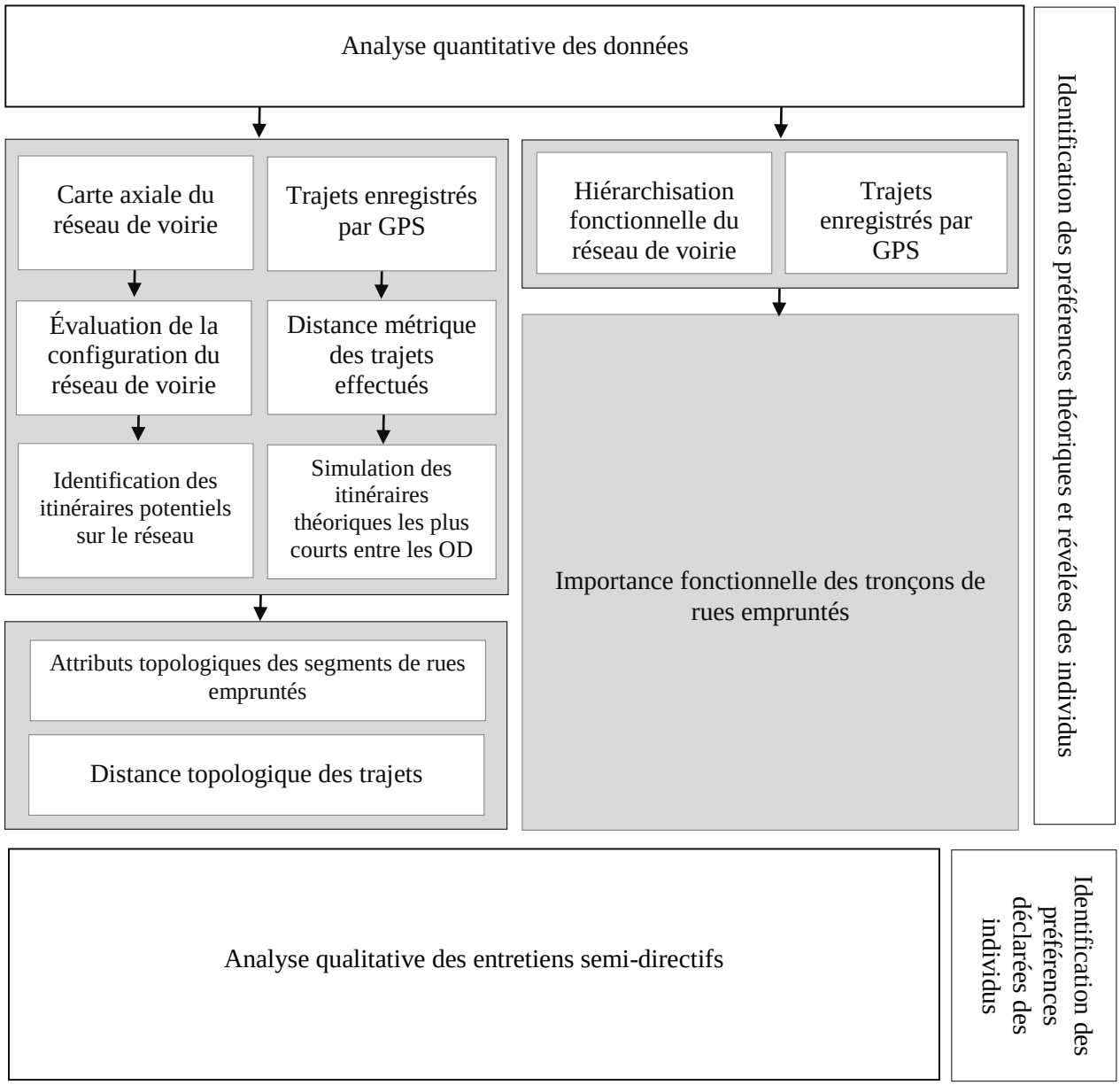

Figure 67. Déroulement de la troisième partie

Cette partie permet d'effectuer l'analyse quantitative et qualitative des données théoriques et empiriques. Elle permet donc d'identifier les préférences théoriques, révélées et déclarées.

CHAPITRE VIII - Calcul des mesures syntaxiques de la configuration des réseaux et interprétation des résultats

Introduction du chapitre

Ce chapitre porte sur les observations et les interprétations qui découlent de l'analyse de la configuration spatiale de nos terrains d'études, menées conformément à la méthode de la Syntaxe spatiale décrite dans le chapitre IV. Il s'agit ici d'une modélisation **théorique** des comportements des piétons à partir de leurs perceptions de la configuration du réseau de voirie. Ainsi, dans ce chapitre, toute affirmation concernant le potentiel à être parcouru d'une rue est à prendre au sens **théorique**.

Rappelons que premièrement, les mesures employées dans la Syntaxe spatiale permettent d'évaluer la configuration de la structure du réseau de voirie. Celle-ci est évaluée à partir des descriptions quantitatives de la disposition des axes de vues[1] des rues (les lignes axiales) et des espaces ouverts publics. Deuxièmement, ces mesures sont strictement topologiques, dans la mesure où elles expriment uniquement les relations entre les axes de vues sans prendre en compte leurs caractéristiques métriques.

Dans le cadre de ce chapitre, nous mettons en œuvre une analyse[2] quantitative de la configuration du réseau de voirie de nos deux terrains d'études, qui nous amène aux résultats suivants, aux échelles globale (R_n), intermédiaire (R_r), et locale (R_3).

- Une lecture générale du taux d'intégration spatiale et de la distance topologique (profondeur spatiale) des lignes axiales : cette analyse permet de hiérarchiser les axes structurants des réseaux de voirie de nos terrains d'étude. De plus, selon la Syntaxe spatiale, cette lecture générale permet aussi de prédire

[1] La ligne de vue la plus longue et la plus droite des rues (voiries principales, voies secondaires, ruelles et impasses) et des espaces ouverts publics.

[2] Comme nous l'avons mentionné dans la sous-section 7-1-2, nous avons analysé les cartes axiales de nos terrains d'étude à l'aide des logiciels Dephtmap et ArcGIS.

la distribution théorique des piétons sur le réseau de voirie de manière agrégée, donc à partir des représentations que des groupes de personnes se font de la structure de l'espace. Ainsi, les flux de mouvements sont considérés comme des groupes sociaux dynamiques qui s'influencent mutuellement dans le processus d'orientation dans l'espace. Néanmoins, dans le cadre de cette thèse, nous somme partie de l'hypothèse selon laquelle la structuration spatiale peut également prédire le mouvement de chaque personne (au niveau individuel donc désagrégé).

- Une appréhension précise de la configuration du réseau : elle permet de déterminer de manière détaillée les axes structurants des réseaux de voirie de nos terrains d'étude. Ceci nous permet donc d'identifier les axes (les segments de rues) qui sont les plus susceptibles d'être empruntés pendant les trajets à pied. Nous pouvons ainsi simuler les préférences théoriques des piétons en matière de choix d'itinéraire.

- L'analyse du taux d'intégration spatiale des réseaux de voirie des quartiers à Ispahan et des IRIS à Tours : ceci nous permet d'identifier les quartiers/IRIS qui possèdent une configuration spatiale plus intégrée en comparaison avec l'ensemble du réseau. De même, nous pouvons identifier ceux qui ont une structure spatiale plus adaptée au déplacement à pied, les rendant plus susceptibles d'être fréquentés pendant les trajets des piétons.

À la fin de ce chapitre, nous calculons le taux d'intelligibilité de la configuration du réseau de voirie. Celui-ci permet d'évaluer de manière générale le degré de facilité d'orientation des piétons dans les réseaux de voirie de nos terrains d'études.

8-1- L'identification des itinéraires théoriques sur le réseau de voirie

L'analyse syntaxique des lignes axiales, via les logiciels Depthmap et ArcGIS, fait émerger des résultats permettant, **dans un premier temps**, de donner un aperçu général de la configuration du réseau sous forme de cartes graphiques. Ainsi, à partir des faisceaux de couleurs dégradées, nous pouvons visualiser la répartition des taux de mesures syntaxiques de la structure spatiale du réseau de voirie. Ces dégradés de couleurs vont du bleu (correspondant aux valeurs quantitatives les plus basses) au rouge (indiquant les valeurs quantitatives les plus élevées). Nous analysons donc ces présentations graphiques des taux d'intégration spatiale de nos terrains d'études aux niveaux global (R_n), intermédiaire (R_r) et local (R_3). Cela nous amène à appréhender visuellement la hiérarchisation structurelle des lignes axiales. Les fortes valeurs d'intégration spatiale déterminent les lignes les plus structurantes du réseau, lesquelles sont topologiquement plus proches de l'ensemble des autres lignes. En effet, selon la Syntaxe spatiale, les lignes les plus intégrées sont les axes les plus fréquentés par les flux de déplacement (la marche et les autres modes de déplacement). Nous supposons que ces lignes ont également un potentiel élevé pour être choisies comme itinéraire par les personnes au niveau individuel. De plus, puisque cette thèse s'intéresse uniquement aux piétons, dans tout ce chapitre, nous abordons uniquement la marche à pied. Nous supposons que les lignes ayant le niveau d'intégration spatial le plus élevé nous permettent de simuler l'itinéraire théorique des piétons (au niveau individuel). Elles correspondent donc aux préférences théoriques individuelles des piétons en matière de choix d'itinéraire. De la même manière, il est également possible d'identifier les axes secondaires et marginaux du réseau, lesquels sont moins attirants pour les piétons.

Dans un deuxième temps, les résultats quantitatifs de ces analyses, qui sont représentés sous forme de tableaux de chiffres, apportent une compréhension détaillée et plus précise de la configuration de l'espace. Ces tableaux mettent en avant les valeurs quantitatives des mesures syntaxiques pour chaque ligne axiale donnée. De même, nous pouvons calculer la valeur minimum, la valeur maximum, la moyenne générale ainsi que l'écart-type de ces mesures syntaxiques pour l'ensemble du réseau. Ceci permet de comparer quantitativement et de façon précise les configurations spatiales des réseaux de voirie d'Ispahan et de Tours.

Dans un troisième temps, nous évaluons la moyenne générale des mesures syntaxiques du réseau de voirie de chaque quartier d'Ispahan et des découpages administratifs d'IRIS à Tours. Nous pouvons ainsi évaluer la configuration de la structure spatiale à l'échelle des quartiers/IRIS.

Enfin, précisons que pour l'ensemble des figures de ce chapitre, les couleurs représentent le niveau d'intégration spatiale des lignes axiales ainsi que les niveaux d'intégration spatiale des quartiers ou des IRIS. Nous les avons classés selon l'ordre hiérarchique suivant :

- le premier niveau d'intégration spatiale (les axes les plus intégrés) est représenté en couleur rouge ;
- le deuxième niveau d'intégration spatiale (les axes secondaires) est représenté en couleur orange, puis en jaune ;
- le troisième niveau d'intégration spatiale (les axes faiblement intégrés, ségrégés) est représenté dans des nuances de vert et de bleue.

8-1- 1- L'intégration spatiale globale (R_n) du réseau de voirie d'Ispahan

Rappelons brièvement que la mesure d'intégration spatiale globale (R_n) est définie par un rayon topologique « n » (R_n)[1]. Elle permet d'identifier l'importance de chaque axe dans la structuration spatiale de l'ensemble de la ville. De cette façon, il est possible de déterminer les lignes qui sont topologiquement les plus proches de l'ensemble des autres lignes. La figure 68 montre les résultats de l'analyse de cette mesure appliquée au réseau de voirie d'Ispahan.

En outre, la valeur quantitative de cette mesure attribuée à chaque ligne axiale présente la valeur moyenne de l'intégration spatiale globale de chaque ligne par rapport à toutes les autres lignes de la carte axiale. Nous avons donc pu calculer la moyenne générale ainsi que l'écart-type de cette mesure pour l'ensemble des lignes axiales du réseau de voirie d'Ispahan. Ainsi, il ressort du tableau 9 que les valeurs d'intégration spatiale globale (R_n) varient dans un intervalle compris entre 0,12 et 1,6. Précisons qu'à Ispahan, la moyenne générale de cette mesure pour l'ensemble du réseau est de 0,87 et que l'écart-type est de 0,20. Cet écart-type, qui est relativement faible, confirme que de manière générale, les valeurs d'intégration des

[1] Comme nous l'avons décrit dans le chapitre IV, l'intégration spatiale globale (R_n) désigne la proximité topologique de chaque ligne donnée à l'ensemble des autres lignes de la carte axiale.

lignes axiales d'Ispahan sont concentrées autour de la valeur moyenne et qu'elles sont majoritairement semblables à cette dernière.

De plus, il ressort de notre analyse que la profondeur (la distance topologique) moyenne pour l'ensemble de la carte est de 17, ce qui, selon nous, semble relativement élevé. Ceci met en évidence que le réseau de voirie d'Ispahan est dans son ensemble relativement complexe. Cette configuration du réseau peut donc susciter de nombreux changements de lignes de vues lors des trajets.

La carte axiale d'Ispahan	Moyenne générale	Minimum	Maximum	Écart-type
Intégration spatiale globale (Rn)	**0,87**	0,12	1,6	0,20
Profondeur globale (Rn)	**17**	9,3	59	4,96

Tableau 9. Valeurs d'intégration et profondeur spatiales globales (Rn) de la carte axiale d'Ispahan

Ainsi, dans ce qui suit, nous décrivons la configuration spatiale d'Ispahan dans l'ordre hiérarchique des valeurs d'intégration globale (R_n) observées, en allant des lignes axiales les plus intégrées (indiquant les espaces structurants principaux) aux plus ségrégées :

Un noyau d'intégration - le premier niveau d'intégration spatiale (les lignes et les quartiers les plus structurants)

Tout d'abord, nous remarquons qu'Ispahan possède un noyau[1] d'intégration spatiale en forme de maillage (les lignes orthogonales) mis en évidence en couleur rouge sur la carte axiale. Ceci correspond à des croisements d'axes principaux situés dans la partie centrale de la ville. Ce noyau est composé de pics d'intégration spatiale globale (R_n) et il forme des centralités structurelles pour l'ensemble du réseau. En effet, ces lignes constituent les espaces structurants principaux de l'ensemble de la ville et elles donnent accès à un maximum d'autres lignes. Elles peuvent donc être considérées comme la charpente spatiale principale du réseau de voirie. Selon la théorie de la Syntaxe spatiale, cela implique que les flux de déplacements (motorisés ou bien à pied) soient concentrés sur ces axes. Ces lignes sont également susceptibles d'être les plus empruntées par les piétons pendant leurs déplacements à pied, au niveau individuel. Elles correspondent donc aux itinéraires potentiels des piétons

[1] Le noyau d'intégration de la carte axiale correspond aux pics d'intégration et se définit par 10 % de toutes les lignes axiales lesquelles ont des valeurs d'intégration supérieures au reste du réseau (Hillier et *al.*, 1987 ; Hillier, 2007).

sur le réseau. Nous examinons maintenant la composition du noyau d'intégration spatiale globale d'Ispahan (figure 68).

- L'axe central vertical (nord-sud), c'est-à-dire celui de la grande avenue de Tcharbagh[1] : en effet, comme nous l'avons expliqué dans le chapitre VI, cette avenue historique se situe en grande partie dans les limites du centre-ville historique, bien qu'elle en sorte en s'étendant vers les parties nord de la ville et vers les parties sud de la rivière Zayandeh-Roud. Cet axe est la ligne axiale la plus intégrée du réseau de voirie d'Ispahan. L'avenue de Tcharbagh constitue donc la ligne structurante principale de la ville et elle possède un taux d'intégration spatiale globale de 1,6. De même, cet axe a la meilleure connexion au reste du réseau. Il est donc topologiquement plus proche de l'ensemble des autres lignes de la carte axiale. En effet, la valeur de profondeur spatiale globale de cette ligne est de 9 pas[2], alors que, comme nous l'avons montré plus haut, la moyenne de cette valeur pour l'ensemble du réseau est de 17 pas. Ceci signifie que pour joindre l'ensemble des autres lignes de la ville depuis Tcharbagh, il faut opérer 9 pas (changements de direction). Cet axe fonctionne spatialement comme un axe central articulant les parties nord et sud de la ville et sur lequel se concentrent en grande majorité les commerces, certaines administrations (par exemple l'hôtel de ville), les restaurants, les banques, les cinémas, la ligne de métro, plusieurs lignes de bus et de taxis, etc. et, donc, beaucoup d'origines et de destinations. Précisons que depuis 2019, un segment de cet axe qui se situe dans la partie historique et centrale est dédié aux piétons et que la circulation des automobiles, des bus et des taxis y est interdite.

- Un ensemble de lignes axiales qui croisent de manière perpendiculaire (est-ouest) l'axe de Tcharbagh.

- Les axes qui se trouvent dans la partie ouest du périmètre du centre-ville et qui sont parallèles et perpendiculaires à l'axe de Tcharbagh *:* ces réseaux de rues en formes de quadrillage ont été construits à l'époque de la dynastie Safavides (au XVIIème siècle). Dans la figure 69, les axes de premier et de deuxième niveau

[1] Nous avons montré dans le chapitre VI l'importance de l'avenue Tcharbagh depuis sa construction au XVIIème siècle, et son orientation nord-sud.

[2] Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre IV, chaque « pas » correspond à un changement de direction.

d'intégration spatiale sont superposés avec la localisation des utilisations des terres non résidentielles. Nous observons donc qu'une grande variété d'occupations des sols tels des commerces, des restaurants, quelques hôtels, trois hôpitaux, des cliniques, des cabinets de médecine, certaines administrations, des banques, etc. sont installées le long de ces axes. Ces observations confirment donc l'hypothèse principale de la Syntaxe spatiale selon laquelle les axes structurants concentrent une implantation de différents commerces et d'équipements urbains. Ceci est dû aux flux importants des mouvements de piétons et de véhicules engendrés par ces axes.

Nous examinons maintenant la composition du premier niveau d'intégration spatial global (Rn) des quartiers d'Ispahan :

- Le taux moyen d'intégration spatiale (R_n) des quartiers, comme présenté dans la figure 70, montre que les quartiers directement reliés à l'axe principal (Tcharbagh) possèdent un taux d'intégration spatiale très élevé. Ils se concentrent dans la partie sud du cœur historique d'Ispahan qui est densément peuplé et où sont installés en grande majorité des familles aisées. Nous ajoutons qu'en plus, dans ces quartiers, la densité du réseau est élevée et que la taille des îlots urbains est petite. Ce sont les raisons pour lesquelles ils possèdent un réseau de voirie relativement hautement intégré. De plus, ces caractéristiques structurelles génèrent une forte concentration des activités dans ces quartiers : commerciales, culturelles (tous les cinémas et les librairies de la ville), éducatives (les universités et les lycées) et la plupart des administrations.

- De façon contre-intuitive, les quartiers de la partie centrale (cœur historique) ne constituent pas les quartiers les plus intégrés d'Ispahan, malgré la présence des axes les plus intégrés du réseau (Tcharbagh et ses axes adjacents). Ces quartiers détiennent le deuxième niveau d'intégration. Ceci peut être expliqué par la configuration spatiale particulière de ces quartiers. En effet, l'existence de réseaux de rues irrégulières et complexes (des ruelles et des impasses sinueuses) à l'intérieur de ces quartiers diminue la moyenne générale pour ces quartiers (figure 71). De plus, dans les quartiers à l'est de Tcharbagh, la présence d'un très grand nombre de monuments historiques a empêché l'élargissement des voies et la construction de voies directes, ce qui stabilise plus

ou moins, depuis 4 siècles, la structure du réseau de rues de ces quartiers[1]. En plus de ces monuments historiques, nous notons l'existence de grandes surfaces comme des espaces verts, l'université des beaux-arts, le palais royal et le musée, qui produisent des coupures urbaines dans les réseaux de rues de cette zone.

- Précisons que de manière générale, les réseaux de voirie des quartiers situés dans la partie nord de la ville présentent une configuration spatiale moins intégrée. Pourtant, nous constatons dans la figure 70 que certains de ces quartiers sont mieux lotis que d'autres. Ceci peut en partie s'expliquer par l'aménagement d'un réseau de voirie quadrillé et régulier de ces quartiers, en appliquant les plans de développement officiels. Ces quartiers correspondent aux quartiers résidentiels issus de nouvelles constructions[2]. Ceux-ci possèdent un réseau de voirie quadrillé.

Deuxième niveau d'intégration spatiale (les lignes et les quartiers moyennement intégrés)

Les lignes axiales moyennement intégrées (les lignes structurelles secondaires) du réseau de voirie au niveau global (R_n) constituent le deuxième niveau d'intégration spatiale. Nous examinons maintenant la composition du deuxième niveau d'intégration spatiale globale (R_n) des lignes axiales d'Ispahan (figure 68) :

- Des lignes axiales lesquelles sont directement reliées au noyau d'intégration (présenté précédemment) ;

- Des lignes axiales est-ouest qui sont directement reliées aux axes les plus intégrés du réseau. Elles se concentrent donc pour une grande majorité dans le centre-ville, notamment à l'ouest de l'avenue Tcharbagh. Comme nous l'avons

[1] En plus de la complexité structurelle du réseau de voirie et la relative faiblesse de l'accessibilité du réseau dans ces quartiers historiques, nous pouvons ajouter les remarques suivantes : l'existence de monuments historiques dans cette partie de la ville sont à l'origine de tracas administratifs en lien avec le processus de construction de bâtiments dans ces quartiers. Du fait de certaines limites imposées par l'Organisation du patrimoine culturelle d'Ispahan (et même par l'UNESCO) concernant la hauteur des nouvelles constructions, l'architecture des façades, etc., ces quartiers ne sont pas attractifs pour les investisseurs immobiliers. Nos études précédentes (programme de recherche Gundishapour de 2016-2018 ; et une communication lors de la « Conférence sur l'analyse des données statistiques urbaines » à Téhéran, en 2013) confirment que l'ensemble de ces particularités a créé un cercle vicieux, lequel a même influencé les dynamiques sociales et économiques dans ces quartiers. À titre d'exemple, les habitants de ces quartiers appartiennent à des catégories sociales différentes en comparaison avec ceux de la ville : ils sont en moyenne plus âgés, plus précaires, etc.

[2] L'extension de la ville depuis la révolution (1979).

expliqué plus haut, le réseau de voirie des quartiers de la partie est de Tcharbagh est particulièrement organique et il présente des coupures urbaines.

Nous examinons maintenant la composition du deuxième niveau d'intégration spatiale globale (R_n) des quartiers d'Ispahan (figure 70). Il s'agit de :

- Tous les quartiers qui bordent Tcharbagh, ceci vaut pour les deux côtés de cet axe, à l'est aussi bien qu'à l'ouest ;

- Les quartiers résidentiels nouvellement construits du nord et du sud de la ville (après la révolution) où le réseau de voirie est régulier et quadrillé.

Ainsi, la configuration structurelle du réseau de voirie amène quasiment à la même configuration structurelle au niveau des quartiers.

Troisième niveau d'intégration spatiale (les lignes et les quartiers moins intégrés)

Les lignes axiales et les quartiers faiblement intégrés présentent une rupture spatiale avec l'ensemble du réseau. Généralement, à Ispahan, les valeurs d'intégrations décroissent au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'axe central de la ville. La ligne axiale la plus ségrégée est celle qui est connectée à un minimum d'autres lignes, et qui est située topologiquement plus loin de l'ensemble des autres lignes de la carte axiale. Celle-ci détient une valeur d'intégration de 0,12. Elle se trouve à une distance topologique (profondeur spatiale) de 59 pas. Ainsi, il est nécessaire d'opérer en moyenne 59 changements de lignes de vues pour accéder aux autres lignes.

Nous examinons maintenant la composition du troisième niveau d'intégration spatiale globale (Rn) des lignes axiales d'Ispahan (figure 68) :

- Certains axes situés dans les parties centrale et historique de la ville : malgré la concentration élevée d'axes hautement intégrés dans cette partie, les voies locales à l'intérieur des quartiers sont faiblement intégrées à l'ensemble du réseau de voirie. En effet, ces derniers sont composés de réseaux de ruelles organiques et d'impasses complexes.

- Un grand nombre des axes situés dans les parties ouest de la ville : ils correspondent aux réseaux de rues irrégulières et organiques. Ces rues sont issues de l'absorption de noyaux d'habitats, des zones rurales et des terrains agricoles due à l'extension rapide de la ville.

Nous examinons maintenant la composition du troisième niveau d'intégration spatiale globale (Rn) des quartiers d'Ispahan (figure 70) :

- Tous les quartiers situés à l'ouest de la ville, sur les rives nord et sud de la rivière Zayandeh-Roud : ces quartiers sont constitués de réseaux de formes organique et irrégulière, et composés d'un nombre limité d'artères principales. Ces réseaux complexes portent la trace des ruelles des zones rurales et de voies de terrains agricoles sur lesquels ils ont été construits. Ces axes ont conservé leurs caractéristiques structurelles initiales. C'est pour cette raison que la ségrégation spatiale est considérable dans tous les quartiers situés dans cette partie de la ville.
- Les quartiers périphériques situés à l'est de la ville : il s'agit de quartiers exclusivement résidentiels et nouvellement aménagés.

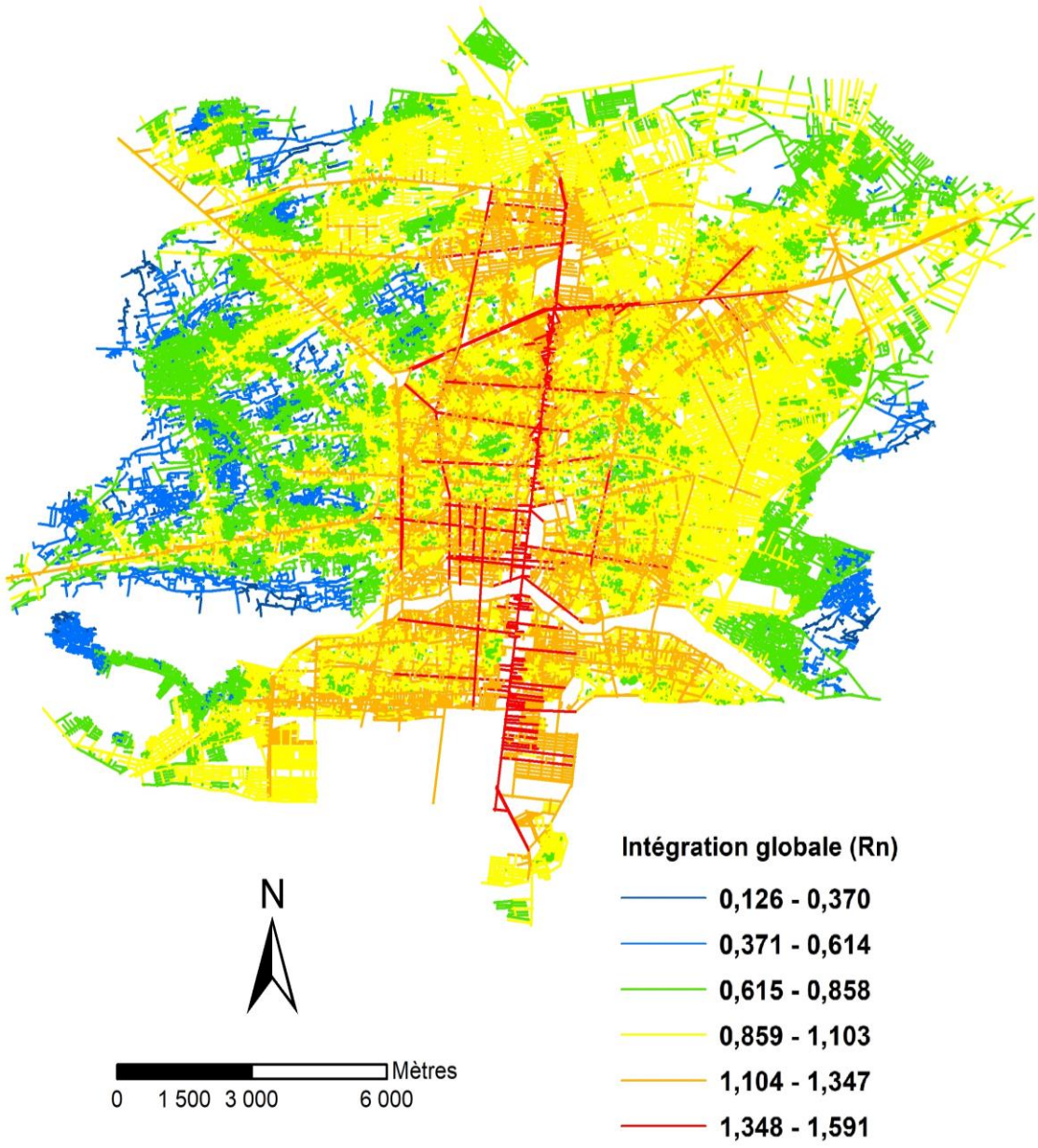

Figure 68. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale globale (R_n) des lignes axiales du réseau de voirie d'**Ispahan**

Cette carte représente la configuration spatiale de l'ensemble du réseau de manière hiérarchique. Une grande majorité des lignes axiales de la partie centrale d'Ispahan ont une valeur d'intégration élevée. Ces lignes les plus intégrées peuvent être considérées comme les préférences théoriques des piétons en matière de choix d'itinéraires.

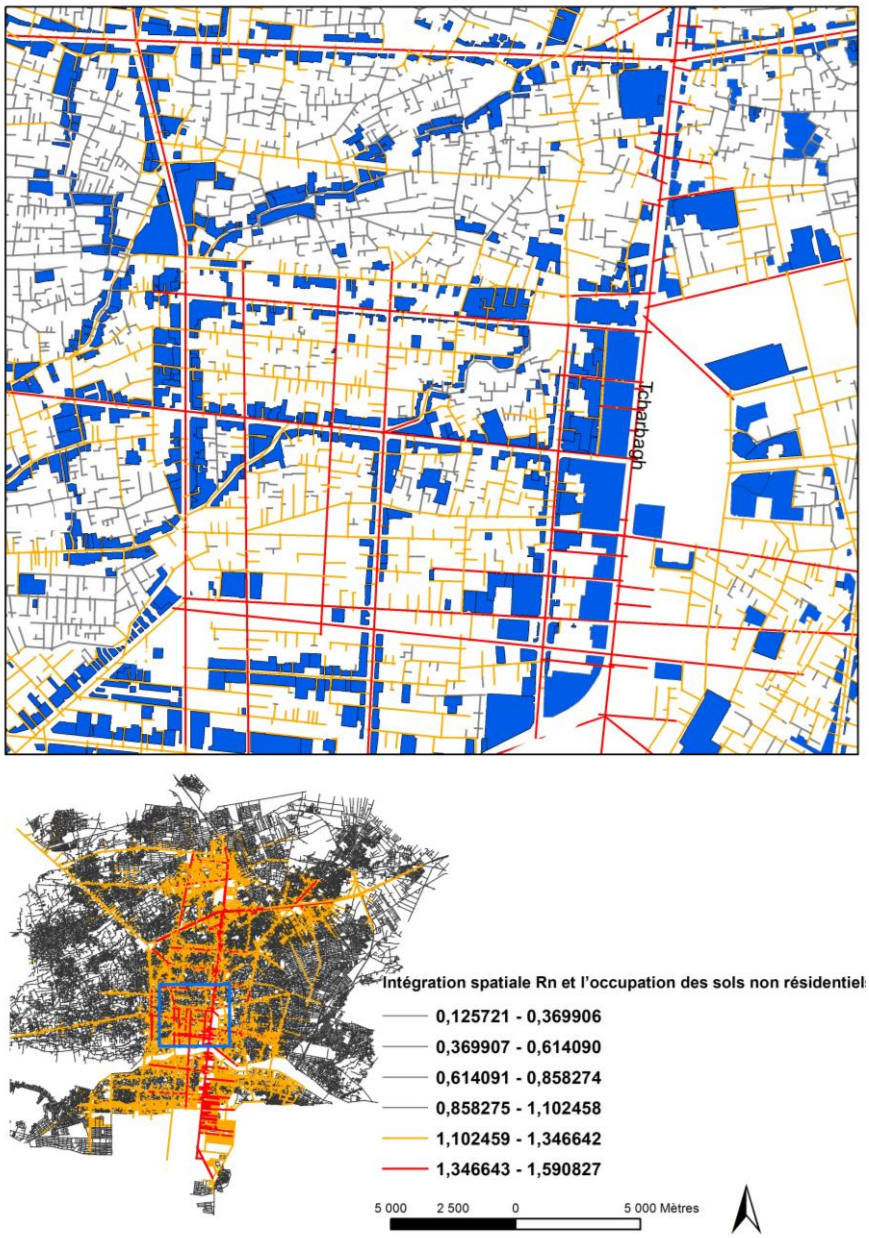

Figure 69. Zoom sur le taux d'intégration spatiale globale (R_n) du réseau et l'occupation non résidentielle des sols dans la partie centrale d'**Ispahan**

Cette carte montre la superposition des lignes les plus intégrées et celles moyennement intégrées du réseau, avec la répartition des occupations non résidentielles du sol (les commerces, les administrations, les bâtiments culturels et sportifs, etc.). Nous constatons une concentration élevée d'activités le long de ces axes. Ainsi, conformément à la Syntaxe spatiale, en raison de la position stratégique et de la centralité topologique de ces axes, les activités sont concentrées dans cette partie.

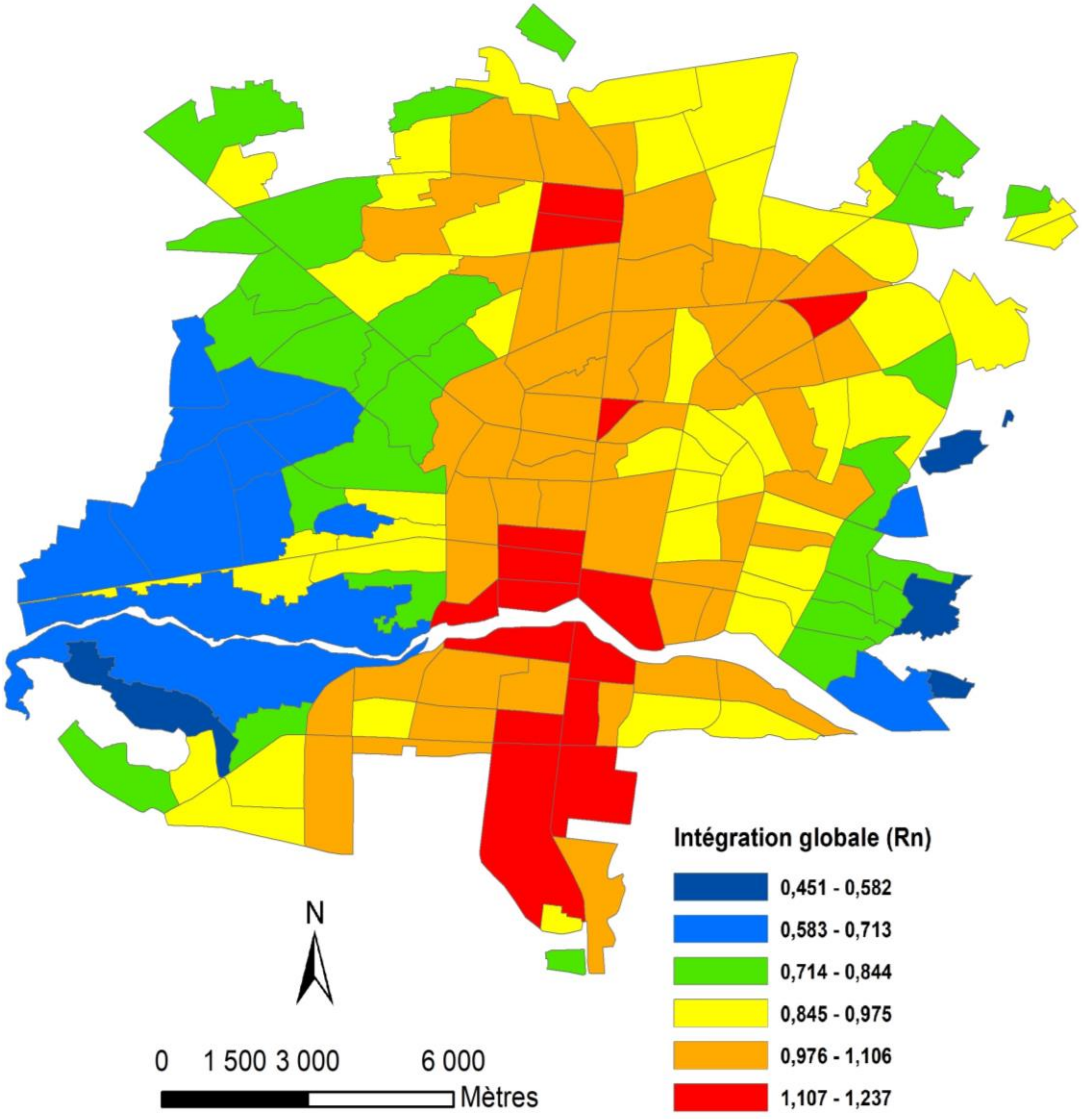

Figure 70. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale globale (R_n) des quartiers d'**Ispahan**

Cette carte représente la configuration spatiale des quartiers et leurs interactions spatiales avec l'ensemble du réseau de voirie de manière hiérarchique. Les quartiers les plus intégrés sont mieux connectés et mieux reliés à l'ensemble du réseau que les autres. Ces quartiers ont, théoriquement, un potentiel élevé pour être traversés par les personnes pendant leurs trajets à pied.

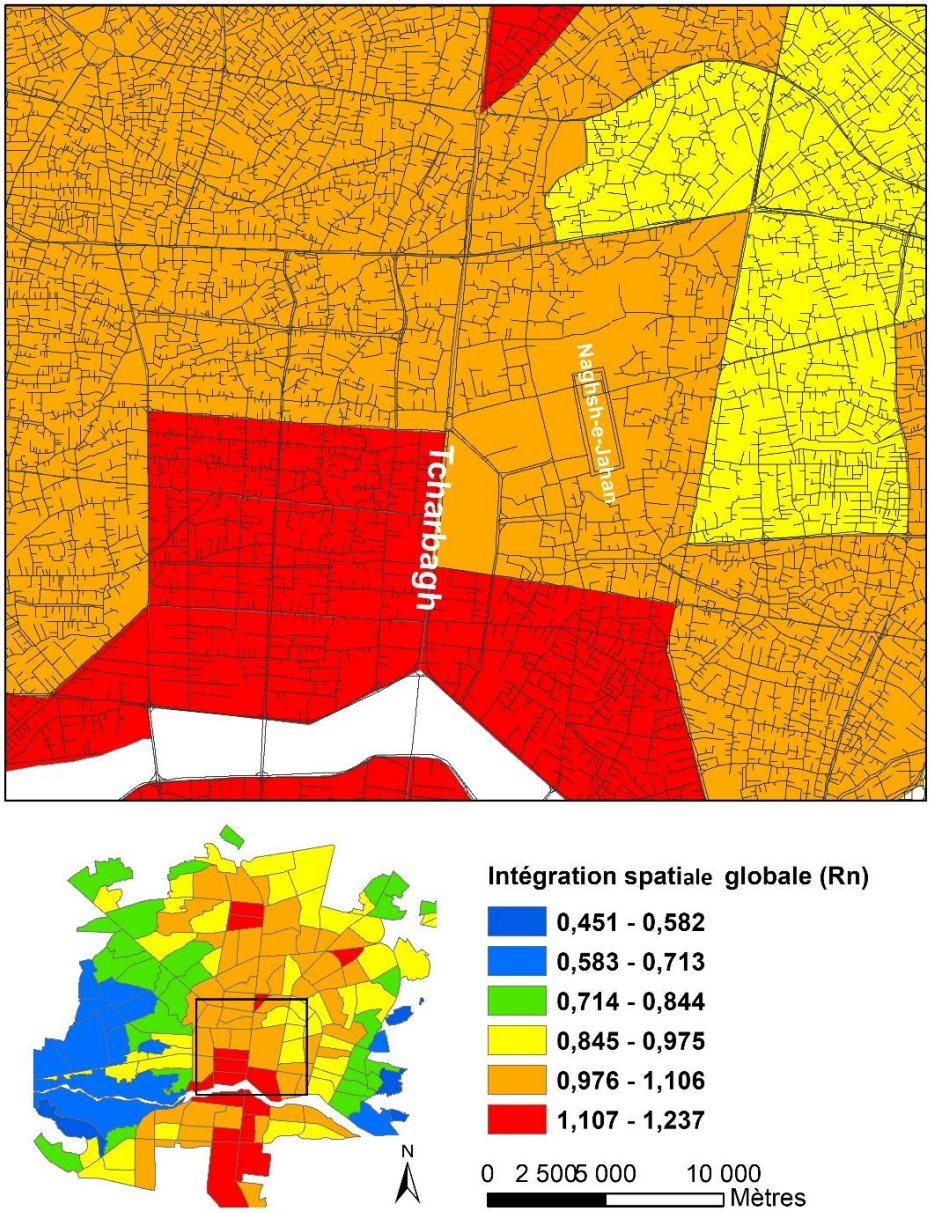

Figure 71. Zoom sur le réseau de voirie des quartiers centraux d'**Ispahan** et moyennes R_n

Cette carte représente les réseaux de voirie des quartiers centraux d'Ispahan. Ils sont constitués de réseaux de rues organiques et irrégulières, ainsi que de beaucoup d'impasses et de ruelles sinueuse complexes. C'est pour cette raison que nous pensons que le poids des déplacements des habitants, quels que soient leurs modes de déplacement, repose plutôt sur un nombre limité d'axes qui correspondent aux axes les plus intégrés du réseau de ces quartiers au niveau global (R_n).

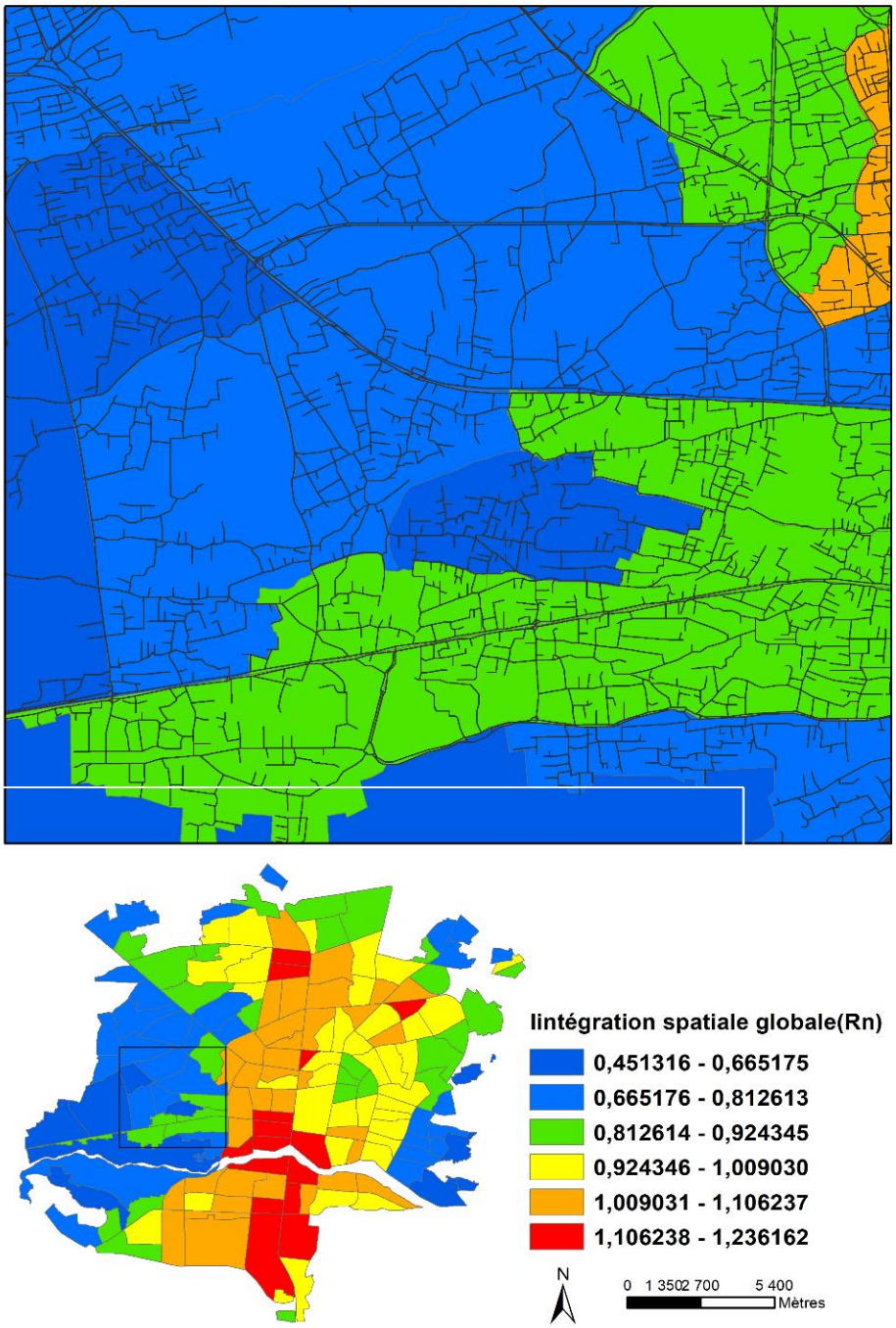

Figure 72. Zoom sur le réseau de voirie des quartiers ouest d'**Ispahan** et moyennes R_n

Cette carte représente les réseaux de voirie des quartiers ouest d'Ispahan. Ces quartiers sont constitués de voies organiques et irrégulières, ainsi que de beaucoup d'impasses. Cette configuration renvoie à l'origine rurale du réseau de ces quartiers. Ainsi, ces quartiers présentent un taux d'intégration spatiale globale (R_n) très faible. C'est pour cette raison que nous pensons que ces quartiers ont un faible potentiel pour être parcourus par les piétons pendant leurs trajets.

8-1-2- L'intégration intermédiaire spatiale (R_r) des lignes axiales d'Ispahan

Comme nous l'avons vu dans le chapitre IV (sous-section 4-3-4-2), la mesure d'intégration spatiale intermédiaire (R_r) nous permet d'évaluer la configuration spatiale du réseau pour un rayon topologique moyen. Nous avons également décrit dans le chapitre VII (7-1-2) que le rayon topologique « r » pour calculer les valeurs d'intégration spatiale intermédiaire (R_r) se détermine par rapport aux caractéristiques topologiques de l'ensemble de la carte axiale. Plus précisément, le rayon topologique « r » s'obtient à partir de la valeur moyenne de la profondeur spatiale globale de la ligne la plus intégrée de la carte axiale d'Ispahan, c'est-à-dire celle de valeur 9. Ainsi, la mesure d'intégration spatiale au niveau intermédiaire (R_r), nous permet d'explorer l'importance de chaque axe donné dans la structuration spatiale de la ville dans le rayon topologique de 9 lignes.

Afin de nous faire une idée du rayon topologique de l'intégration spatiale intermédiaire d'Ispahan, nous le comparons à ceux mentionnés dans d'autres travaux et concernant d'autres villes. Ce rayon est de 10 pour le Grand Londres (Hillier, 1996) et il est de 9 pour Santiago du Chili (qui a 5 million d'habitants) qui a un réseau de voirie majoritairement régulier et quadrillé (Hillier et *al*., 2000). Concernant Mashhad, ville iranienne plus peuplée[1] et plus grande qu'Ispahan, ce rayon est de 8 (Mokhtar-Zadeh et *al*., 2012). Le réseau de voirie de Mashhad est plutôt régulier et quadrillé, ce qui peut justifier une intégration spatiale plus élevée de sa structure par rapport à celle d'Ispahan.

Le tableau 10 montre que les valeurs d'intégration intermédiaire spatiale (R_r) du réseau de voirie d'Ispahan varient dans un intervalle compris entre 0,30 comme valeur minimale et 2,4 comme valeur maximale et que sa moyenne est de 1,25. La mesure d'écart-type est de 0,36, ce qui témoigne d'une concentration forte des valeurs d'intégration intermédiaire (R_r) de toutes les lignes axiales autour de la valeur moyenne. Nous examinons maintenant la composition de l'intégration spatiale intermédiaire des lignes axiales d'Ispahan (figure 73) :

- Les axes les plus intégrés au niveau intermédiaire (R_r) sont, d'une part, une grande partie de l'avenue Tcharbagh et, d'autre part, certaines lignes axiales qui croisent de manière perpendiculaire (ouest-est) l'axe de Tcharbagh. Ceci est

[1] La ville de Mashhad a 3 million d'habitants, mais Ispahan en a 2millions.

concordant avec l'intégration spatiale globale car, comme nous l'avons constaté (8-1-1), ces lignes présentent également une valeur d'intégration spatiale globale élevée. Ainsi, ces lignes se situent à une distance topologique de 9 pas depuis un très grand nombre d'autres lignes.

- Les axes structurants secondaires au niveau intermédiaire (deuxième niveau d'intégration au niveau intermédiaire) correspondent aux lignes directement reliées aux axes les plus intégrés. En outre, les axes parallèles à Tcharbagh constituent également des axes structurants secondaires au niveau intermédiaire. Ces derniers s'inscrivent dans le périmètre du centre-ville ainsi que dans les parties nord, sud et est de la ville.

- De façon identique à l'intégration spatiale globale (R_n), la valeur de l'intégration spatiale intermédiaire (R_r) décroît avec l'éloignement de l'axe central (Tcharbagh) vers la périphérie. Ceci est particulièrement visible pour l'ensemble des lignes axiales de l'ouest de la ville, où la structure du réseau de voirie porte les traces d'une occupation du sol anciennement rurale. De même, pour une distance topologique de 9 lignes, l'ensemble de cette partie présente une rupture spatiale de l'ensemble du réseau. Ainsi, les réseaux de rues les plus ségrégés de la ville se retrouvent à l'ouest de la ville (figure 73).

Nous examinons maintenant la composition de l'intégration spatiale intermédiaire des quartiers d'Ispahan (figure 74) :

- Une grande majorité des quartiers situés dans le centre historique ont une valeur d'intégration spatiale intermédiaire relativement basse. Il en va de même pour ceux situés des deux côtés (à l'est et à l'ouest) de Tcharbagh. Nous posons ce constat malgré l'existence d'axes principaux fortement intégrés dans cette partie de la ville. Ainsi, similairement à ce que nous avons constaté pour l'intégration spatiale au niveau global, à cause des ruelles anciennes et organiques, le réseau de rues à l'intérieur de ces quartiers est complexe. C'est la raison pour laquelle la moyenne générale de cette mesure pour chaque quartier est faible. De même, dans ces quartiers, il n'est pas possible d'atteindre un grand nombre d'autres lignes axiales depuis une distance topologique de 9 pas.

– Les quartiers situés au sud du cœur historique de la ville et ceux qui se trouvent au sud de la rivière Zayandeh-Roud constituent les quartiers spatialement les plus intégrés de la ville au niveau intermédiaire (Rn). Ceci peut s'expliquer par la part plus importante du réseau de rues ayant un tracé en quadrillage régulier et orthogonal dans ces quartiers.

La carte axiale d'Ispahan	Moyenne générale	Minimum	Maximum	Écart-type
Intégration spatiale intermédiaire (R_r)	**1,25**	0,30	2,4	0,36
Profondeur spatiale intermédiaire (R_r)	**7,6**	0,3	8,8	0,67

Tableau 10. Valeurs d'intégration et profondeur spatiales intermédiaires (R_r) de la carte axiale d'**Ispahan**

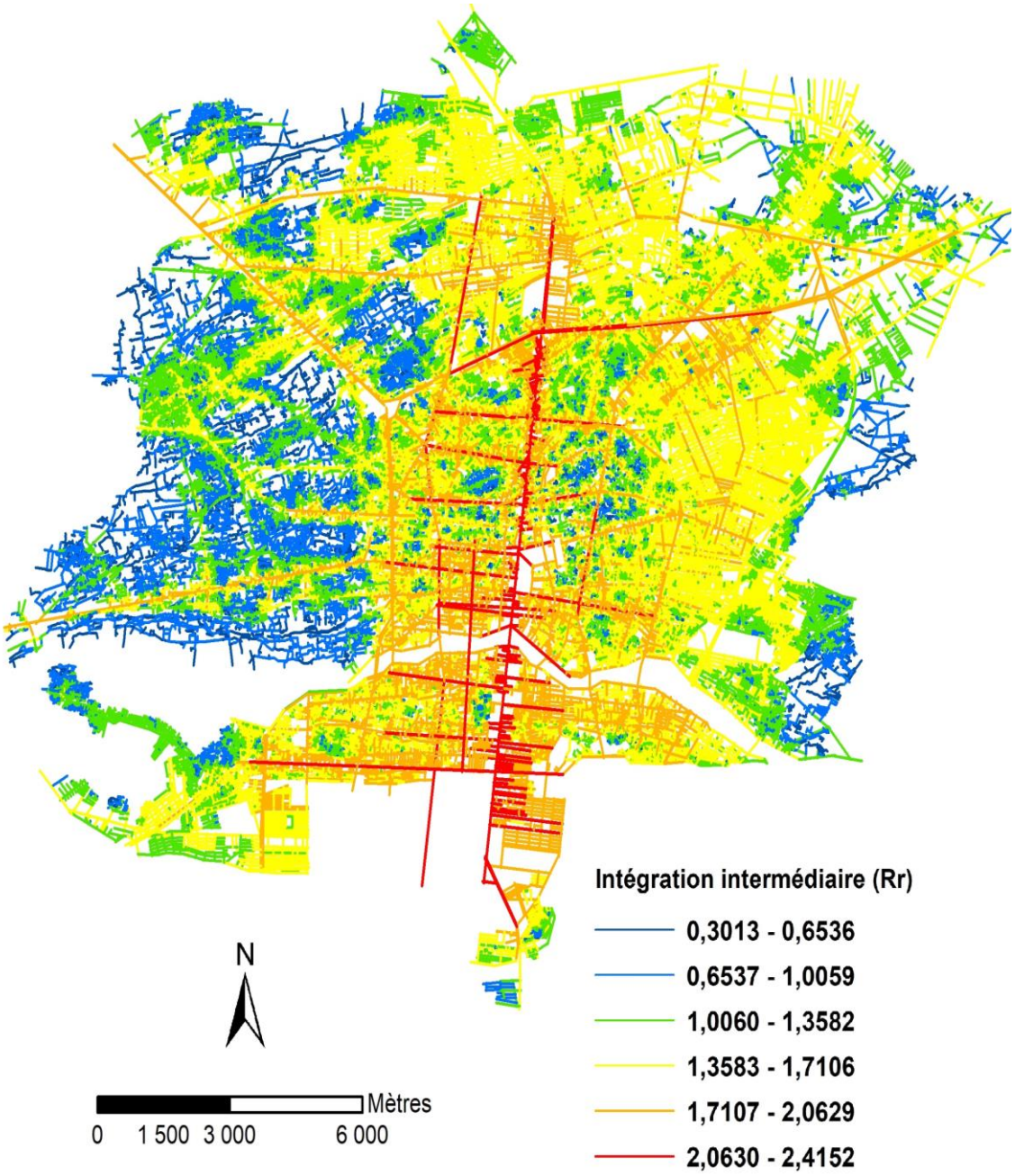

Figure 73. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale intermédiaire ($R_r = R_9$) des lignes axiales du réseau de voirie d'**Ispahan**

Cette carte représente la configuration spatiale de l'ensemble du réseau de manière hiérarchique, selon le rayon topologique 9. De manière semblable à l'intégration spatiale globale (Rn), les lignes axiales de la partie centrale d'Ispahan sont les plus intégrées au niveau intermédiaire. Ceci confirme que les lignes axiales de la partie centrale ont un potentiel élevé d'être parcourues par les piétons.

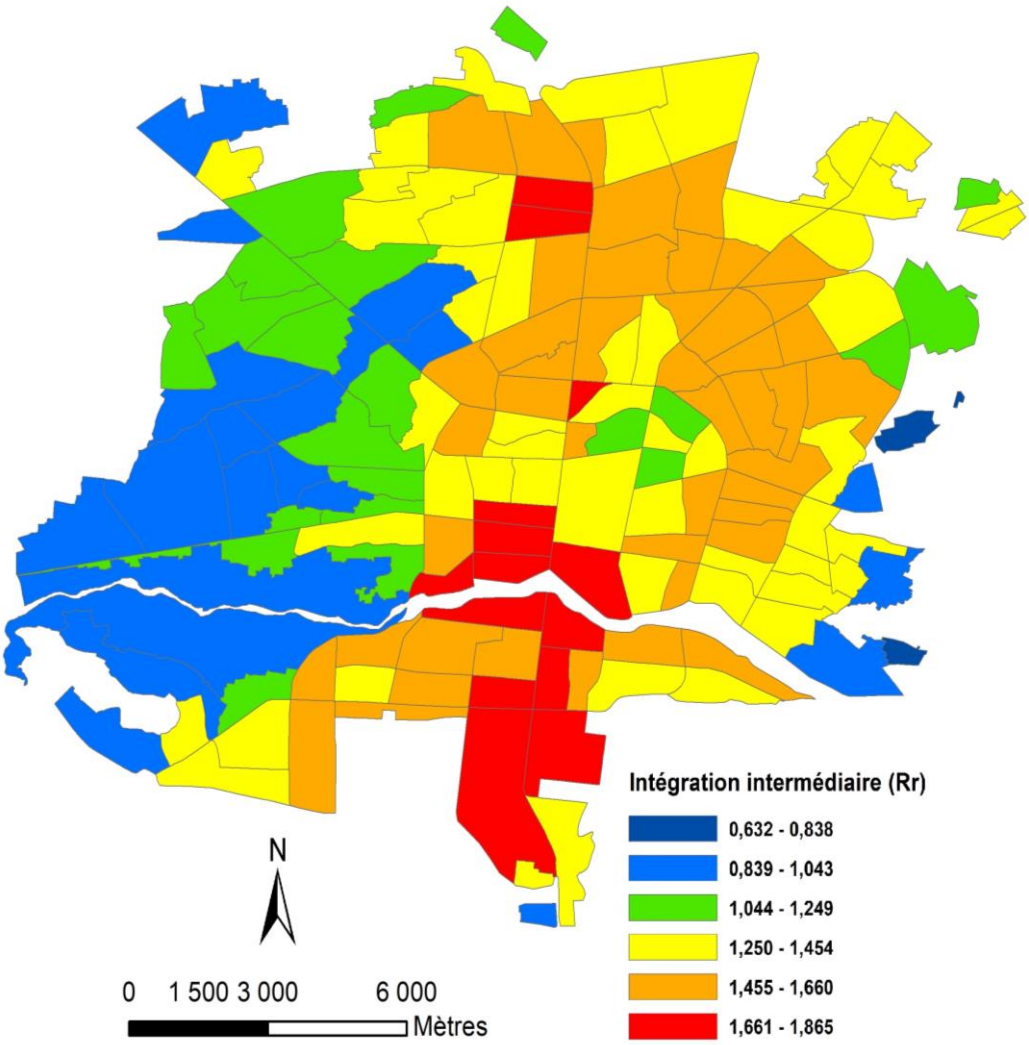

Figure 74. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale intermédiaire ($R_r = R_9$) des quartiers d'**Ispahan**

Cette carte représente la configuration spatiale des quartiers et leurs interactions spatiales de manière hiérarchique, selon le rayon topologique 9. En général, les quartiers les plus intégrés ont, théoriquement, un potentiel élevé pour être traversés par les personnes pendant leurs trajets à pied. Précisons que les réseaux de rues situés à l'intérieur des quartiers historiques ne sont pas favorables aux déplacements à pied, bien qu'ils soient hautement reliés à l'ensemble du réseau par l'axe de Tcharbagh.

8-1-3- L'intégration spatiale locale (R_3) des lignes axiales d'Ispahan

La mesure d'intégration spatiale à l'échelle locale (R_3) évalue pour chaque ligne axiale combien d'autres lignes se trouvent à une distance topologique de 3 pas (trois changements de direction). Cette mesure s'appuie donc sur le niveau d'importance de chaque axe par rapport à ses lignes voisines dans la structuration spatiale du réseau (au niveau local). En général, la portée du déplacement à pied est relativement plus courte par rapport à celle des autres moyens de déplacement. Pour cette raison, nous pensons qu'une grande partie des déplacements à pied s'effectuent *vers* et *à travers* ces lignes, car elles sont accessibles depuis un grand nombre de lignes avoisinantes. Ainsi, les lignes hautement intégrées au niveau local (R_3) ont un potentiel très élevé pour être empruntées pendant les trajets à pied des personnes. En effet, elles favorisent l'accès aux activités locales comme les commerces de proximité. Inversement, il n'est pas possible d'accéder à un grand nombre de lignes depuis des lignes faiblement intégrées au niveau local (R_3). Par conséquent, il est peu probable qu'elles soient choisies comme itinéraire par les piétons. Puisque cette mesure permet d'évaluer l'accessibilité du réseau par rapport aux déplacements de courte portée, elle nous semble la mieux adaptée pour la simulation des déplacements des piétons.

Comme le montre le tableau 11, le taux d'intégration spatiale locale (R_3) des lignes axiales d'Ispahan varie dans un intervalle de 0,33 à 5,5 et la valeur moyenne de l'ensemble du réseau est de 1,55. La mesure de l'écart-type étant 0,72, elle confirme que les valeurs d'intégration locale (R_3) des lignes axiales ne varient pas énormément et qu'elles sont donc généralement concentrées autour de la valeur moyenne.

La carte axiale d'Ispahan	Moyenne générale	Minimum	Maximum	Écart-type
Intégration spatiale locale (R_3)	**1,55**	0,33	5,5	0,72
Profondeur spatiale locale (R_3)	**2,5**	1,3	3	0,26

Tableau 11. Valeurs d'intégration et profondeur spatiales locales (R_3) de la carte axiale d'**Ispahan**

En outre, le calcul de la moyenne d'intégration spatiale locale (R_3) des quartiers permet d'évaluer la manière dont les rues sont reliées entre elles au sein d'un quartier. Cela signifie que dans un quartier hautement intégré au niveau local (R_3), il est possible d'atteindre depuis

chaque ligne donnée un plus grand nombre d'espaces avec seulement 3 changements de direction.

La figure 75 fait apparaître le résultat de l'analyse de l'intégration spatiale locale (R_3) de l'ensemble du réseau de voirie d'Ispahan.

- Les lignes axiales les plus intégrées au niveau local correspondent à un nombre relativement limité d'axes, c'est-à-dire à uniquement 11 lignes. Il s'agit des axes principaux de la ville incluant l'avenue Tcharbagh. Ces axes jouent un rôle important dans la structuration spatiale du réseau au niveau local. Ces axes sont les seuls de cette ville à se situer à une distance topologique de 3 pas d'un grand nombre de lignes du réseau. Néanmoins, dans l'ensemble de la ville, la structure spatiale au niveau local est hautement ségrégée et fortement dépendante de la structure globale de la ville.

- Une parte très limitée des lignes axiales ont le deuxième niveau d'intégration spatiale locale. Ces dernières se concentrent principalement dans la moitié sud de la ville. Il s'agit de certains axes adjacents de Tcharbagh.

- En ce qui concerne la moyenne générale d'intégration spatiale locale (R_3) des quartiers, la figure 76 met en évidence qu'elle est très basse pour une grande majorité des quartiers d'Ispahan. Ainsi, la structure spatiale à l'intérieure d'une grande partie des quartiers est très complexe et elle y génère des distances topologiques longues. Nous estimons donc que ces quartiers ne sont pas favorables aux déplacements pédestres. Ceux-ci sont plus particulièrement situés dans l'ensemble de la partie ouest de la ville. En outre, il en va de même pour les quartiers de l'extrême est de la ville. Ainsi, ce sont plutôt les 11 lignes les plus intégrées qui subissent les flux de déplacement à pied d'Ispahan.

- Une autre remarque importante concerne les quartiers historiques centraux bordant l'avenue Tcharbagh, dans lesquels le niveau d'intégration spatiale locale (R_3) s'avère être le plus bas de la ville (figure 77), bien qu'ils soient entourés et même traversés par les axes les plus intégrés de la ville au niveau global (R_n) et intermédiaire (R_r). Cela signifie que les voies locales à l'intérieur de ces quartiers sont accessibles depuis un nombre réduit de lignes situées à 3 étapes topologiques immédiates. Comme nous l'avons expliqué précédemment, ceci renvoie à la

singularité des réseaux de rues de ces quartiers qui sont composés de ruelles organiques et d‘impasses.

– Les rares quartiers ayant une intégration spatiale locale élevée correspondent aux quartiers principalement résidentiels ayant émergé plus récemment[1]. Ils se trouvent au sud de la ville et leur tracé de rues est totalement régulier et en forme de quadrillage, ainsi que à l’est de la ville (figure 78).

[1] Depuis 1980

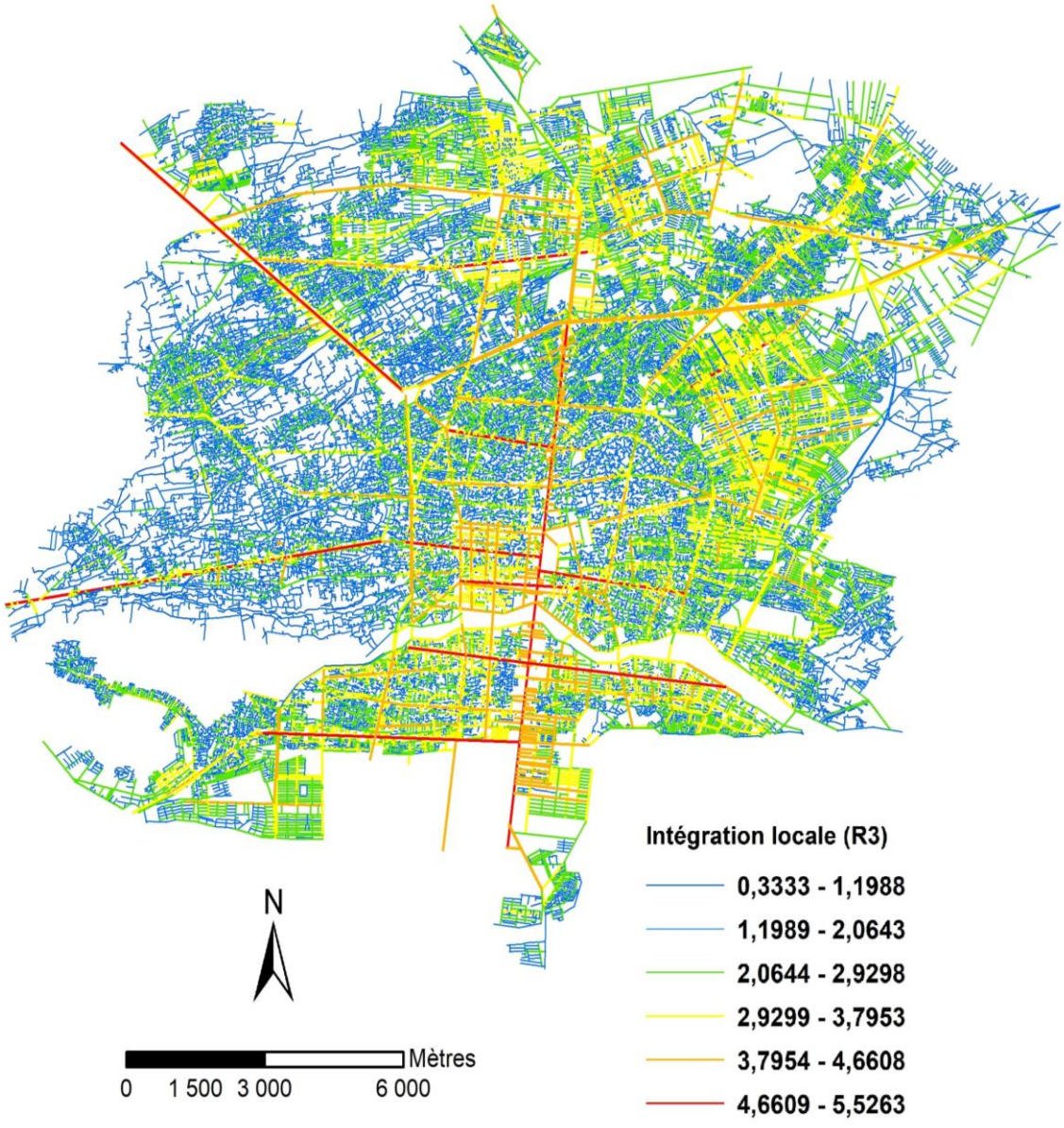

Figure 75. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale locale (R_3) des lignes axiales du réseau de voirie d'**Ispahan**

Cette carte représente la configuration spatiale de l'ensemble du réseau de manière hiérarchique, selon le rayon topologique 3. Les lignes axiales les plus intégrées au niveau local sont uniquement au nombre de 11. Ainsi, ces 11 lignes drainent les flux de déplacement à pied d'Ispahan. Elles constituent donc les axes qui subissent la faiblesse structurelle des réseaux de rues au niveau local.

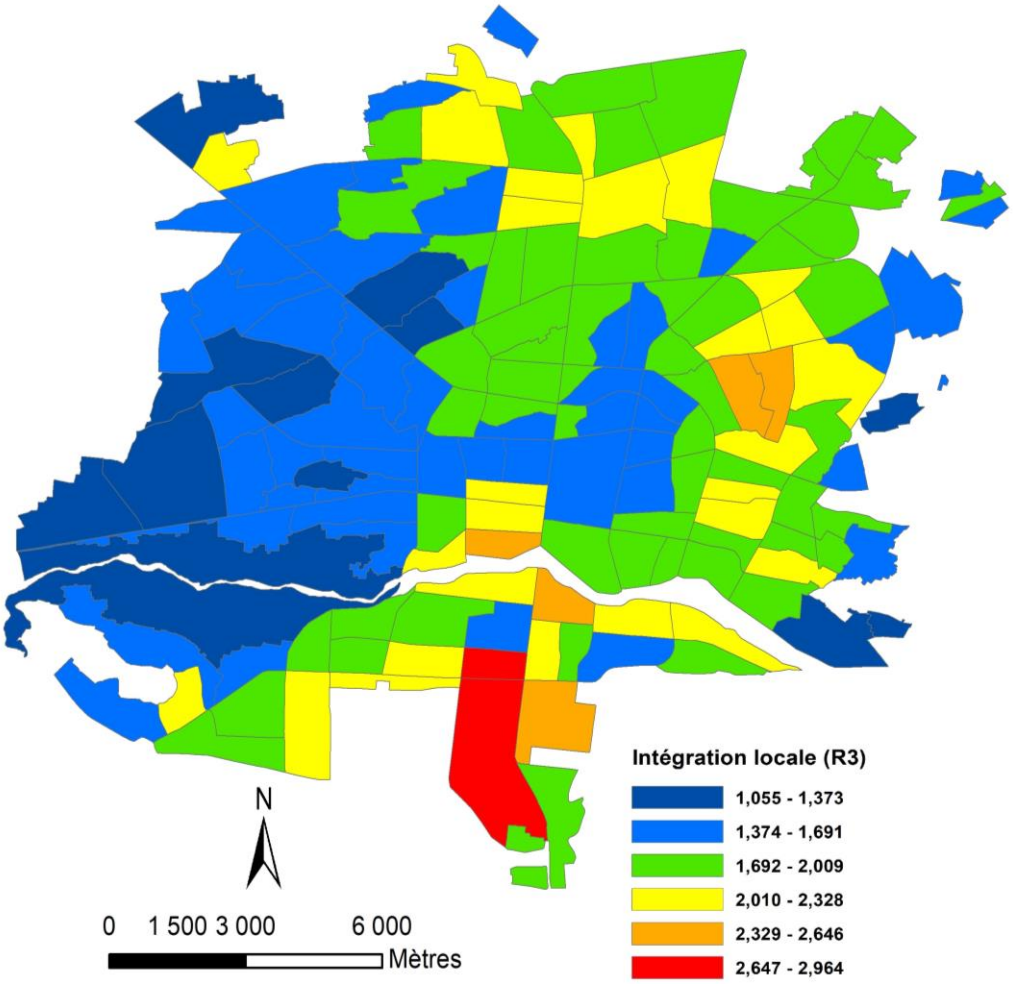

Figure 76. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale locale (R_3) des quartiers d'**Ispahan**

Cette carte représente la configuration spatiale du réseau de rues des quartiers de manière hiérarchique, selon le rayon topologique 3. À l'exception de deux quartiers résidentiels récemment construits et situés au sud de la ville, les réseaux de rues à l'intérieur des quartiers d'Ispahan sont faiblement intégrés. Nous estimons donc que le réseau de voirie d'Ispahan au niveau local n'est pas favorable aux déplacements à pied.

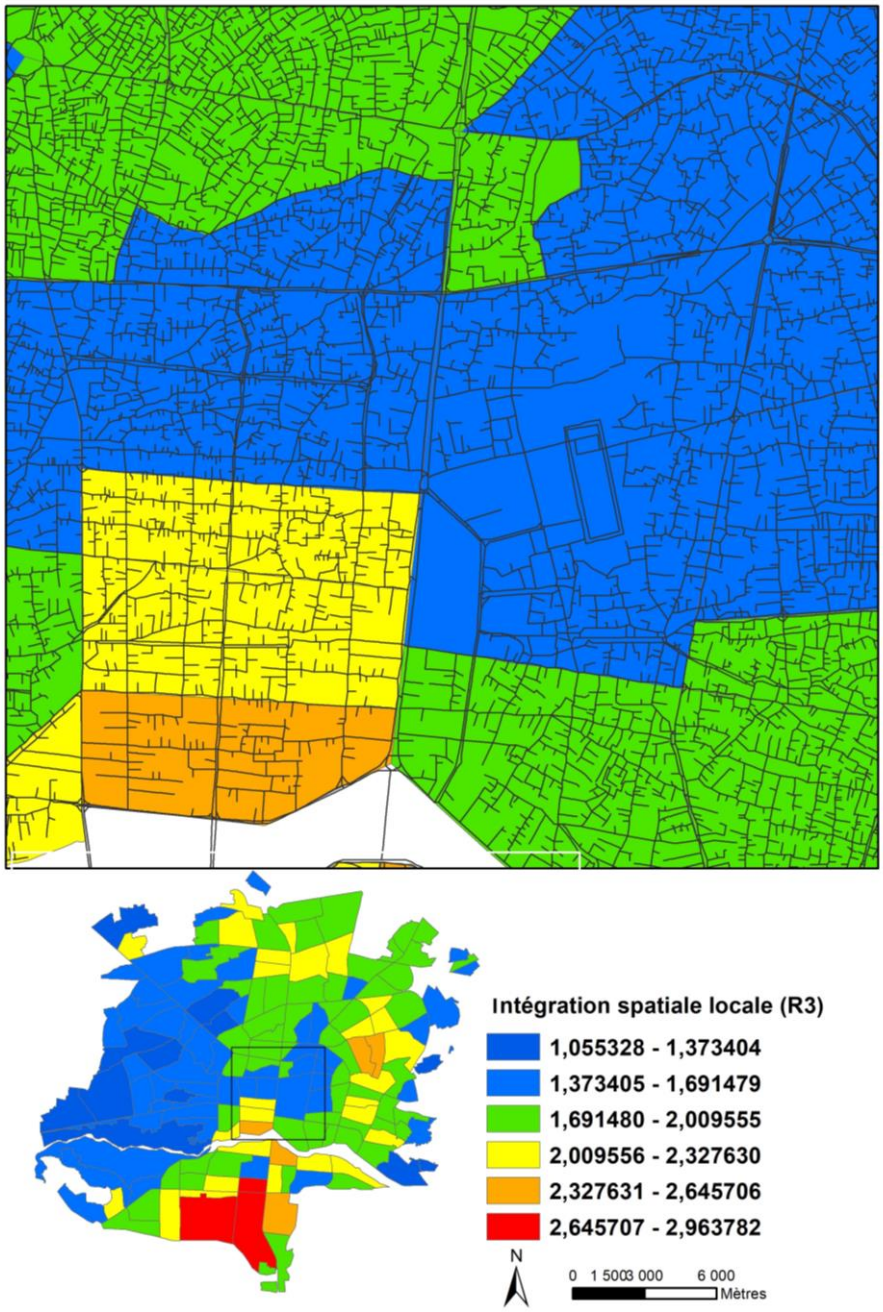

Figure 77. Zoom sur la configuration du réseau de voirie des quartiers centraux d'**Ispahan** et moyennes R_3

Cette carte représente les réseaux de voirie des quartiers centraux d'Ispahan. Ces quartiers qui bordent l'avenue Tcharbagh sont constitués de voies organiques et irrégulières, ainsi que de beaucoup d'impasses et de ruelles sinueuse complexes. C'est pourquoi, malgré la présence des lignes les plus intégrées de la ville au niveau global (R_n), la moyenne générale des taux d'intégration spatiale locale (R_3) de ces quartiers est faible. Cela confirme que les réseaux de rues à l'intérieur de ces quartiers ont un potentiel très faible pour être parcourus par les piétons lors de leurs trajets à pied.

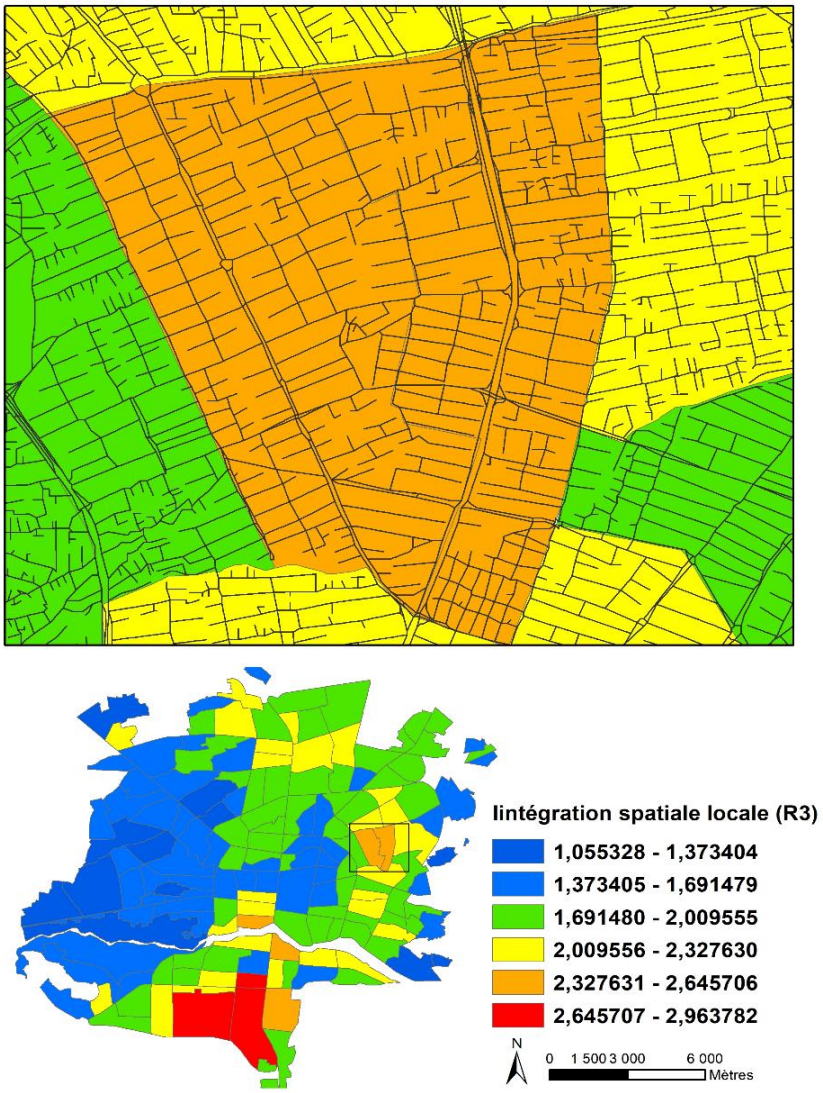

Figure 78. Zoom sur le réseau de voirie des quartiers résidentiels récemment construits d'**Ispahan** et moyennes R_3

Cette carte représente les réseaux de voirie des quartiers résidentiels qui ont été construits selon un plan de développement. Ils possèdent un tracé de rues régulier et en forme de quadrillage. La configuration spatiale de ces quartiers diffère de celle des quartiers voisins. C'est pour cette raison que leur potentiel pour être parcourus par les piétons est relativement plus élevé que celui des autres quartiers de banlieue.

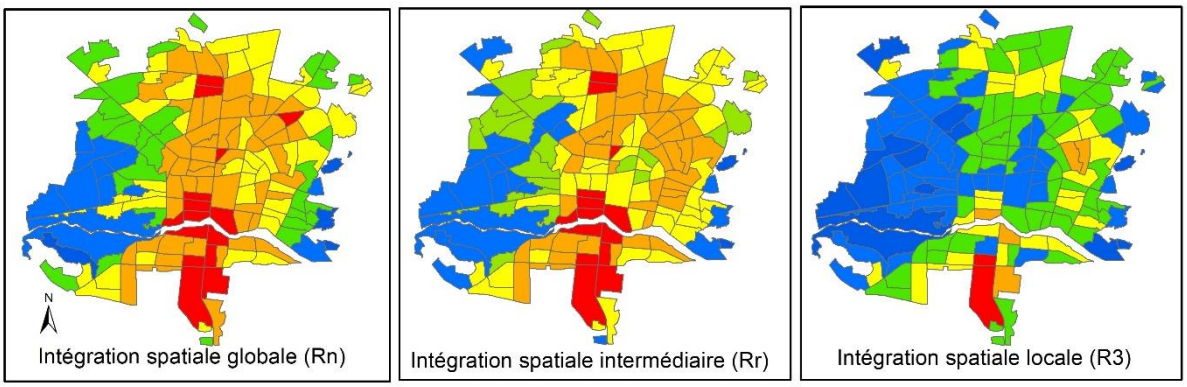

Figure 79. Aperçu général de la configuration du réseau de voirie d'**Ispahan** aux niveaux local, intermédiaire et global

Cette figure compare la configuration du réseau de voirie aux niveaux local, intermédiaire et global. Les configurations du réseau aux niveaux global et intermédiaire se ressemblent. Néanmoins, au niveau local, pour la quasi-totalité des quartiers, les réseaux de rues ne sont pas très intégrés. Ainsi, de manière générale, la configuration spatiale des réseaux de rues d'un grand nombre de quartiers génère des trajets complexes nécessitant plusieurs changements de direction lors de la marche.

8-1-4- L'intégration spatiale globale (R_n) du réseau de voirie de Tours

Dans le but d'explorer l'importance de chaque ligne axiale dans la structuration spatiale globale de Tours, nous avons identifié la hiérarchisation structurelle des lignes axiales au niveau global (R_n). Cela nous permet d'identifier les axes qui sont à proximité topologique de l'ensemble des autres lignes du réseau.

La figure 80 montre les résultats de l'analyse d'intégration spatiale globale à un rayon topologique « n » (R_n) à Tours. Le tableau 12 présente le résultat de notre analyse : les valeurs d'intégration globale (R_n) de l'ensemble du réseau de voirie de Tours se situent dans un intervalle entre 0,23 et 0,94. La valeur moyenne pour toutes les lignes est de 0,56 et l'écart-type est de 0,14. Cet écart-type est très bas relativement à la valeur moyenne, ce qui signifie que la valeur d'intégration spatiale globale de l'ensemble des lignes se concentre autour de la valeur moyenne. Les valeurs d'intégration spatiale des lignes axiales de Tours sont donc majoritairement semblables à cette dernière.

Dans ce qui suit, nous décrivons la configuration spatiale de ce périmètre dans l'ordre hiérarchique des valeurs d'intégration spatiale globale (R_n), en commençant (1) avec le premier niveau d'intégration spatiale (les lignes les plus intégrées), (2) en continuant avec le deuxième niveau d'intégration spatiale (les lignes moyennement intégrées/les lignes

secondaires) (3) et en terminant avec celles du troisième niveau d'intégration spatiale (les lignes faiblement intégrées/fortement ségrégées).

La carte axiale de Tours	Moyenne générale	Minimum	Maximum	Écart-type
Intégration spatiale globale (R_n)	**0,56**	0,23	0,94	0,14
Profondeur spatiale globale (R_n)	**20**	12	45	5,7

Tableau 12. Valeurs d'intégration et profondeur spatiales globales (R_n) de la carte axiale de **Tours**

Un noyau d'intégration et le premier niveau d'intégration spatiale (les lignes les plus structurantes)

Similairement à Ispahan, Tours possède un noyau[1] d'intégration spatiale globale (R_n). Il s'agit de croisements orthogonaux d'axes situés dans la partie centrale de la commune de Tours. Ces axes possèdent de fortes valeurs d'intégration spatiale globale (R_n) formant des centralités linéaires pour l'ensemble du réseau. Rappelons ce que nous entendons ici par la centralité linéaire et topologique de ces lignes : elles sont relativement mieux accessibles que d'autres depuis toutes les autres lignes du réseau. Elles constituent donc les axes structurants principaux du réseau, en d'autres termes, sa charpente spatiale principale. Selon la théorie de la Syntaxe spatiale, cela implique que les flux de déplacements (motorisés ou bien à pied) sont concentrés sur ces axes (Hillier et Hanson, 1984 ; Hillier et *al*., 1993 ; Raford et Ragland, 2006 ; Lerman et *al*., 2014 ; Lerman et Omer, 2016 ; Guo, 2017). Ainsi, ces axes sont théoriquement supposés avoir un potentiel plus important pour être empruntés pendant les déplacements à pied. Généralement, ces lignes correspondent aux itinéraires théoriques des piétons (au niveau individuel), peu importe l'emplacement de l'origine, et/ou de la destination de leurs déplacements. Nous examinons maintenant la composition du noyau d'intégration spatiale globale de Tours (figure 80).

- L'axe central nord-sud de Tours, c'est-à-dire celui qui correspond à l'axe qui compose l'avenue de la Tranchée, le Pont de Wilson, la rue Nationale et l'avenue Grammont : il constitue la ligne axiale la plus intégrée du réseau. En plus de fonctionner spatialement comme un axe qui articule les parties nord,

[1] Le noyau d'intégration de la carte axiale correspond aux pics d'intégration et se définit par 10 % de toutes les lignes axiales lesquelles ont des valeurs d'intégration supérieures au reste du réseau (Hillier et *al*., 1987 ; Hillier, 2007).

centre et sud de ce périmètre, il possède également un niveau de connexion très élevé à l'ensemble du réseau. Ainsi, du point de vue global, il forme l'axe structurant principal du réseau, lequel est topologiquement plus proche de l'ensemble des autres lignes de la carte axiale. De même, sa valeur d'intégration spatiale globale (R_n) est de 0,94 et elle se situe en moyenne à 12 pas (12 changements de lignes de vue) de l'ensemble des autres lignes du réseau.

- Certains axes horizontaux (ouest-est) qui croisent de manière perpendiculaire l'axe vertical (nord-sud) principal (mentionné ci-dessus) ainsi qu'une grande majorité des lignes de la partie centrale de la commune de Tours, y compris les axes comme les boulevards Béranger et Heurteloup, la rue de Colbert et la rue d'Entraigues, etc. : ils représentent également les axes structurants du réseau.

- Au nord du fleuve de la Loire, les lignes axiales qui correspondent aux rues après la bifurcation de l'avenue de la Tranchée : elles constituent aussi les lignes les plus intégrées de la partie nord de cette zone.

Nous examinons maintenant la composition du premier niveau d'intégration spatial global (R_n) des IRIS de Tours (figure 81).

- Les IRIS de la partie centrale de Tours : leur intégration spatiale globale (R_n) est forte par rapport à celle des autres IRIS. Précisons que le cœur historique de la commune de Tours se situe dans cette partie. Ainsi, ces IRIS sont topologiquement plus proches de l'ensemble du réseau de voirie. Ceci peut être expliqué par le fait que : (a) la plupart sont composés d'un réseau de voirie quadrillé, régulier et orthogonal (figure 82); (b) ils sont directement reliés à l'axe principal nord-sud (au niveau de la rue Nationale et de l'avenue Grammont) et aux autres lignes axiales principales du réseau (comme mentionné plus haut) ; (c) leurs réseaux de voirie sont relativement denses et les rues y sont très interconnectées. Précisons que la densité de ces IRIS concerne à la fois la population et l'occupation des sols. En effet, cette dernière est très diversifiée. Dans ces IRIS, il y a principalement des activités commerciales, éducatives et culturelles (figure 83). Là encore, ceci est conforme à la théorie de la Syntaxe spatiale selon laquelle la configuration spatiale du réseau de voirie peut influencer la localisation des occupations de sol.

Deuxième niveau d'intégration spatiale (les lignes structurantes secondaires)

Les lignes axiales moyennement intégrées du réseau de voirie au niveau global (R_n) constituent les axes structurels secondaires du réseau. Ils se situent en grande partie à la limite du centre de la commune de Tours. Il s'agit des lignes axiales qui relient l'axe principal nord-sud (la rue Nationale et l'avenue Grammont) de manière perpendiculaire (figure 80).

En ce qui concerne le deuxième niveau d'intégration spatiale globale (R_n) des IRIS, comme le montre la figure 81, il correspond tout d'abord aux IRIS limitrophes de ceux de Tours-centre[1] qui sont les plus intégrés (comme mentionné plus haut). À ces IRIS limitrophes s'ajoutent certains IRIS situés au nord du fleuve. Ils constituent des quartiers résidentiels (pour le plupart pavillonnaires) nouvellement aménagés au nord de la commune de Tours. Ces derniers disposent d'un réseau de voirie régulier. De nombreux équipements urbains et centres commerciaux sont localisés dans ces IRIS (figure 84).

[1] Cela correspond à la partie centrale de Tours délimitée entre la Loire et les boulevards Béranger et Heurteloup.

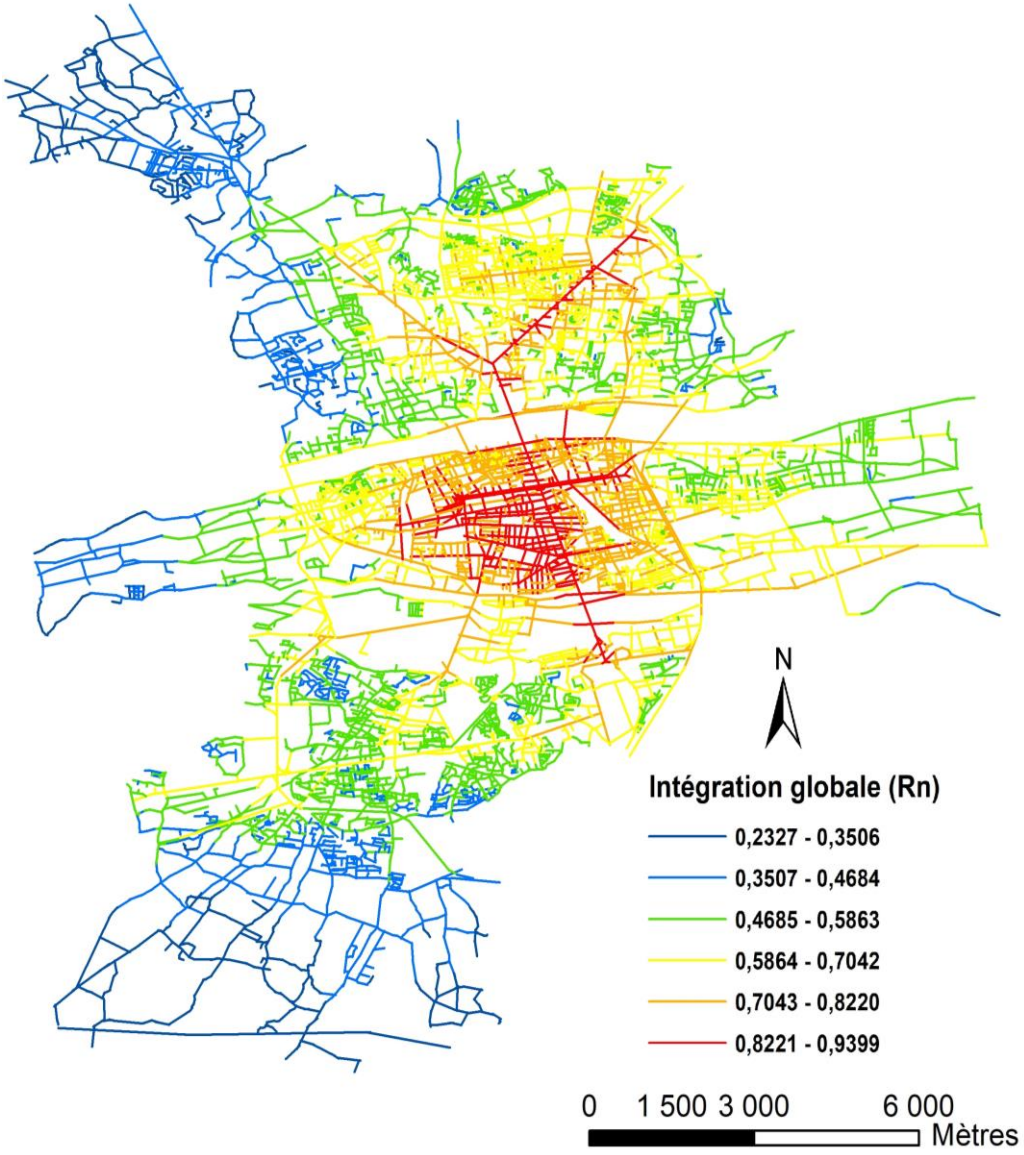

Figure 80. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale globale (R_n) des lignes axiales du réseau de voirie de **Tours**

Cette carte représente la configuration spatiale de l'ensemble du réseau de manière hiérarchique. Une grande majorité des lignes axiales de la partie centrale de Tours ont une valeur d'intégration élevée. Ces lignes les plus intégrées peuvent être considérées comme les préférences théoriques des piétons en matière de choix d'itinéraires.

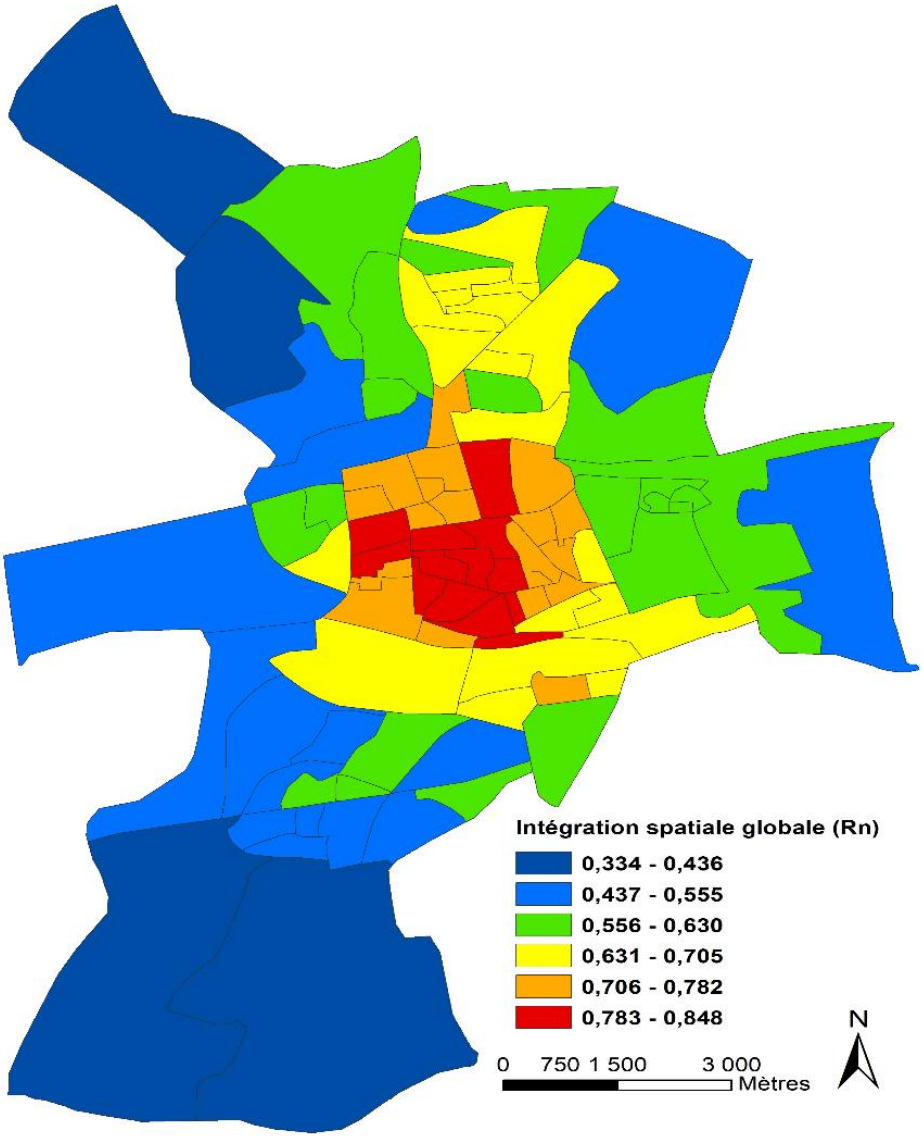

Figure 81. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale globale (R_n) des IRIS de **Tours**

Cette carte représente la configuration spatiale des IRIS et leurs interactions spatiales avec l'ensemble du réseau de voirie de manière hiérarchique. Les IRIS de la partie centrale sont les plus intégrés. Ils sont mieux connectés et mieux reliés à l'ensemble du réseau que les autres. Ces IRIS ont, théoriquement, un potentiel élevé pour être traversés par les personnes pendant les trajets à pied.

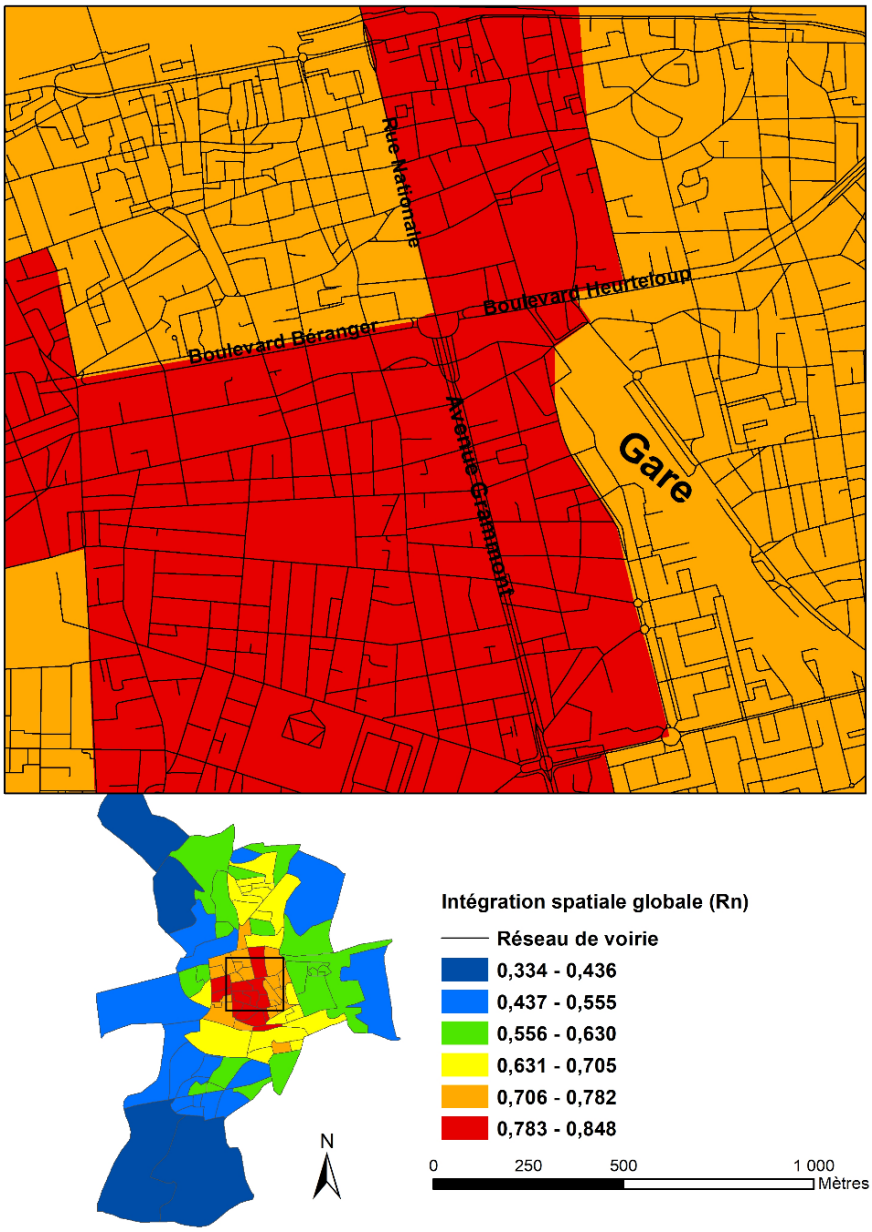

Figure 82. Zoom sur le réseau de voirie des quartiers centraux de **Tours** et moyennes Rn

Cette carte représente les réseaux de voirie des quartiers centraux de Tours. La configuration spatiale du réseau de voirie de ces quartiers est variée : elle est composée à la fois de réseaux de rues réguliers et de réseaux de rue complexes et courbes. Les réseaux de rues plus réguliers génèrent des taux d'intégration spatiale globale plus élevés. Par contre, les réseaux de rues complexes et en courbes provoque une diminution de l'intégration spatiale globale. De même, la présence de la gare scinde le réseau et diminue son intégration. Globalement, en dépit de cette coupure, les quartiers centraux de Tours ont un potentiel élevé pour être parcouru par les piétons.

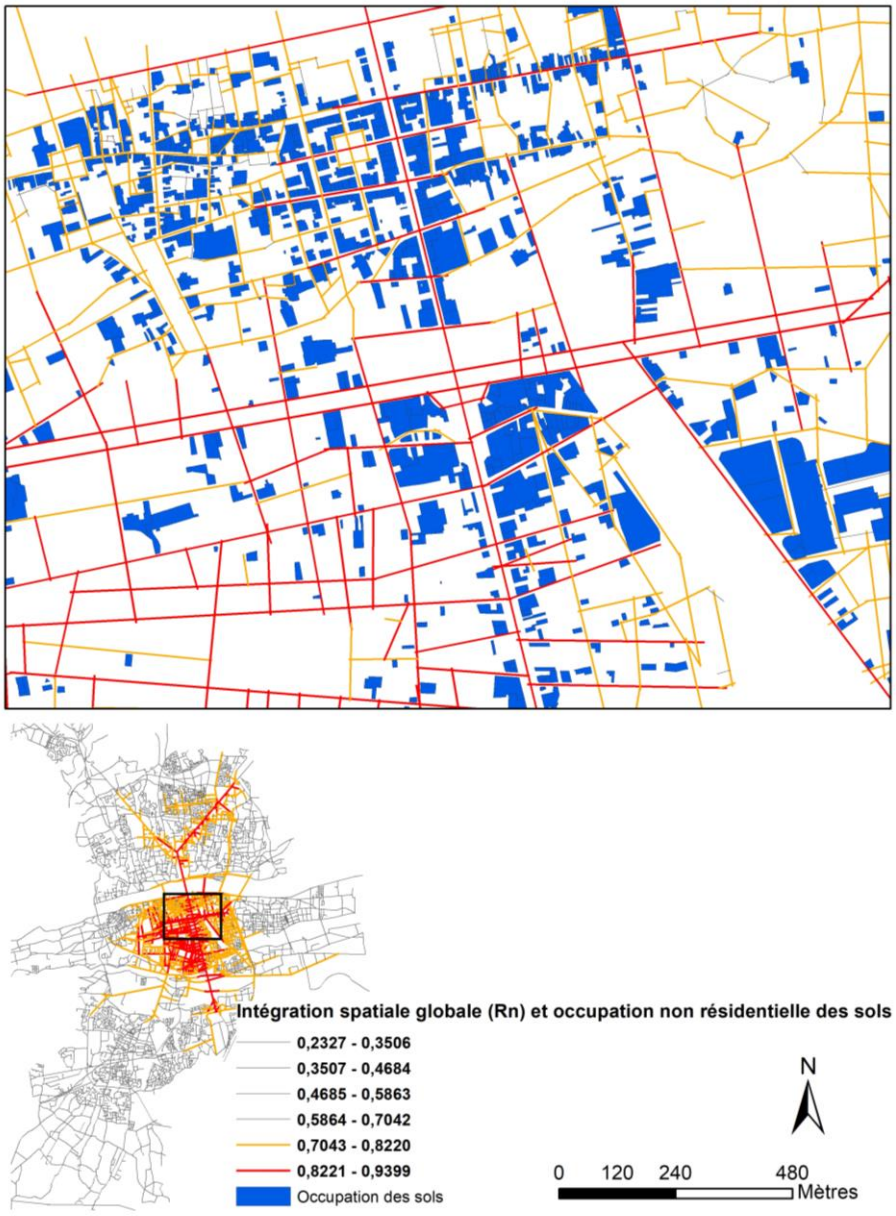

Figure 83. Zoom sur les taux d'intégration spatiale globale (R_n) du réseau et de l'occupation non résidentielle des sols dans la partie centrale de **Tours**

Cette carte montre la superposition des lignes les plus intégrées et moyennement intégrées du réseau, avec la répartition des occupations non résidentielles du sol (les commerces, les administrations, les bâtiments culturels et sportifs, etc.) dans la partie centrale de Tours. Nous constatons une concentration élevée des commerces de proximité le long de ces axes. Ainsi, conformément à la Syntaxe spatiale, les activités, notamment les commerces de proximité, suivent la configuration spatiale du réseau : les commerces sont concentrés dans cette partie de la ville.

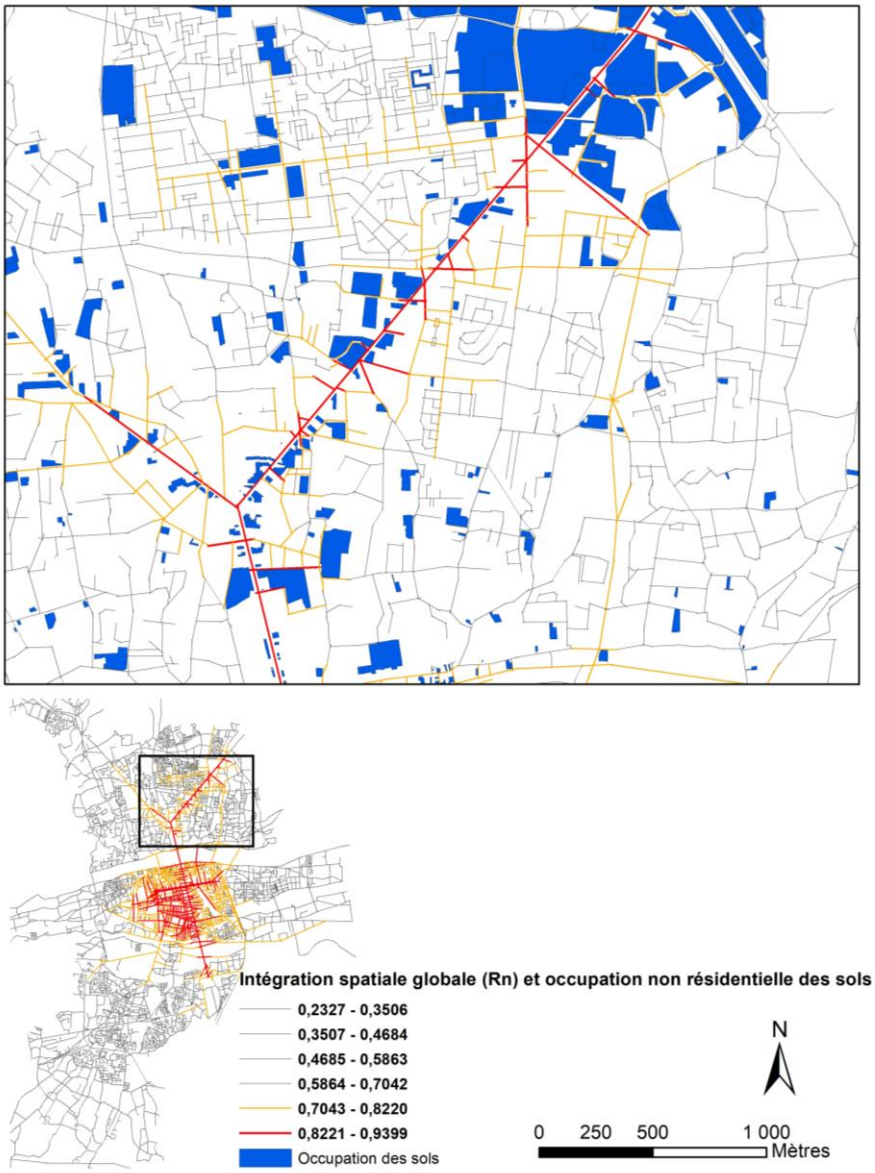

Figure 84. Zoom sur les taux d'intégration spatiale globale (R_n) du réseau et d'occupation non résidentielle des sols dans la partie nord de **Tours**

Cette carte montre la superposition des lignes les plus intégrées et moyennement intégrées du réseau, avec la répartition des occupations non résidentielles du sol (les commerces, les administrations, les bâtiments culturels et sportifs, etc.) dans la partie nord. Nous constatons un réseau de rues faiblement intégrées et une absence de diversité et de densité d'occupation non résidentielle des sols. Nous observons également une concentration des grandes surfaces là où se trouvent les lignes les plus intégrées et moyennement intégrées du réseau.

Troisième niveau d'intégration spatiale (les lignes les moins intégrées/les lignes ségrégées)

Les valeurs d'intégration spatiale globale (R_n) décroissent avec l'éloignement du centre. La ligne axiale la plus ségrégée de la carte axiale à une valeur d'intégration spatiale globale de 0,23. Elle nécessite en moyenne 45 pas (changements de direction) pour accéder aux autres lignes. Comme la figure 80 permet de le constater, les lignes très faiblement intégrées présentent une ségrégation (un isolement) spatiale par rapport à l'ensemble du réseau. Elles sont donc topologiquement plus éloignées des autres lignes. Il s'agit en grande partie de voies périphériques du réseau. Nous examinons maintenant la composition du troisième niveau d'intégration spatiale globale (R_n) des lignes axiales et les IRIS de Tours (figure 80) :

- Une grande majorité des axes de la partie nord de la Loire (entre la Loire et la place de la Tranchée) traversent principalement des quartiers résidentiels et des surfaces vertes ayant des réseaux de voirie organiques et irréguliers.

- Les IRIS situés dans les zones périurbaines du nord, du sud et de l'ouest de Tours sont très faiblement intégrés à l'ensemble du réseau (figure 85). Nous justifions la ségrégation de la configuration spatiale des réseaux de voirie de ces derniers de la façon suivante : (a) pour la plupart, les segments de rues de ces IRIS comprennent les rues périurbaines à caractère rural dont les tracés sont irréguliers et complexes, notamment dans la partie ouest. (b) En outre, dans certaines parties de ces zones, les réseaux de voirie des quartiers résidentiels nouvellement aménagés sont constitués de culs-de-sac et de rues sinueuses, dont la fonction principale repose sur la desserte des habitations. Ces réseaux de rues ségrégés de l'ensemble du réseau créent des espaces qui ont une fonction plutôt « privative » pour les habitants de ces rues. En effet, ceux-ci doivent passer par nombreuses lignes axiales intermédiaires pour atteindre les autres lignes du réseau. (c) De plus, le passage de l'autoroute, des routes départementales, du Cher, des voies ferrées ainsi que la présence de grandes surfaces vertes contribuent fortement à la coupure du réseau de voirie dans la partie sud de notre terrain. Par conséquent, ces coupures produisent des ségrégations (isolements) spatiales de ces IRIS de l'ensemble du réseau de voirie de Tours, des distances métriques et topologiques plus longues et donc des réseaux de voirie non favorables aux déplacements à pied.

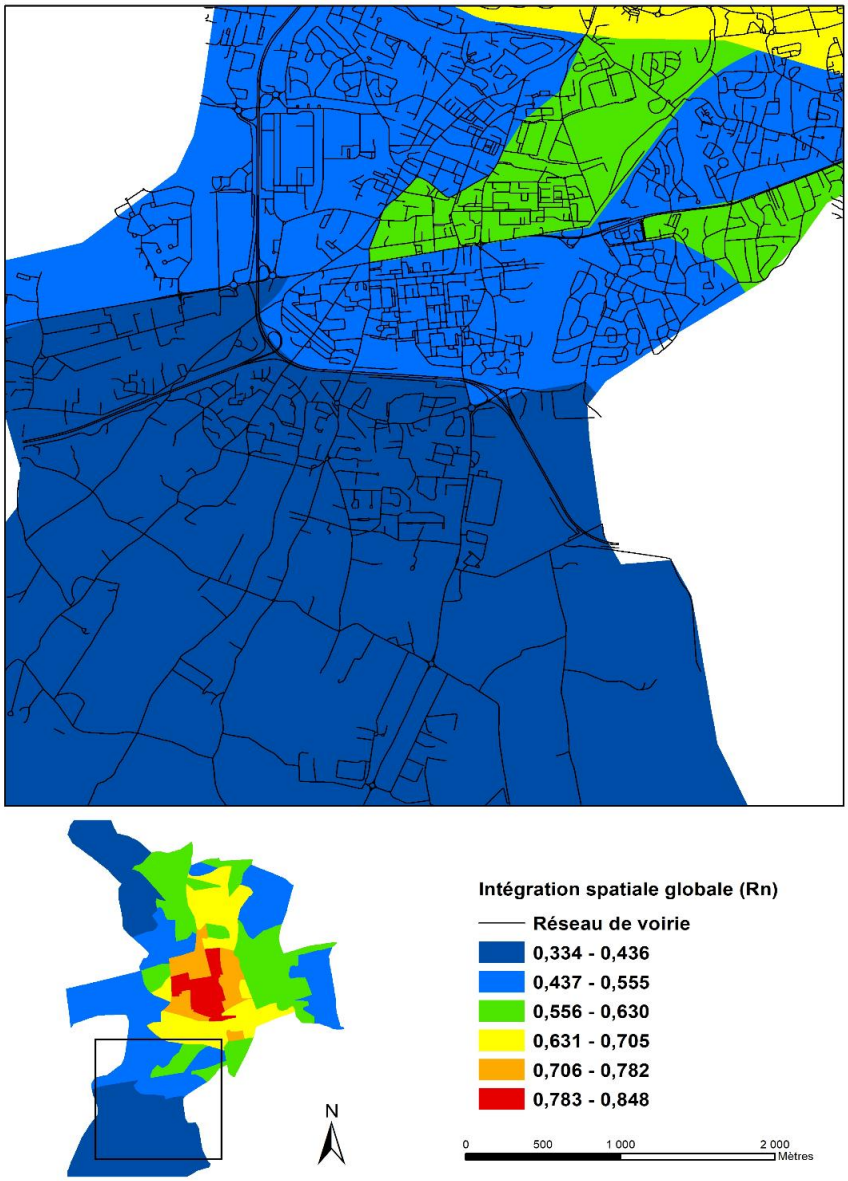

Figure 85. Zoom sur le réseau de voirie de la partie sud de **Tours** et moyenne R_n

Cette carte représente les réseaux de voirie des quartiers sud de Tours. Ils sont constitués de voies sinueuses et complexes, et la plupart des voies sont organiques, irrégulières et de caractère rural. Ainsi, ces quartiers présentent un taux d'intégration spatiale globale (R_n) très faible. C'est pour cette raison que nous pensons que ces quartiers ont un faible potentiel pour être parcourus par les piétons pendant leurs trajets.

8-1-5 - L'intégration spatiale intermédiaire (R_r) des lignes axiales de Tours

Comme nous l'avons mentionné antérieurement (chapitre IV), le rayon que nous avons appliqué au calcul de la mesure d'intégration intermédiaire correspond à la valeur moyenne de la profondeur spatiale de la ligne la plus intégrée de la carte. Ainsi, ce rayon topologique est de 12. En outre, le tableau 13 fait apparaître que les valeurs de l'intégration intermédiaire spatiale (R_r) des lignes axiales de Tours varient dans un intervalle entre 0,26 et 1,53, avec une moyenne de 0,88. La mesure de l'écart-type est de 0,22, ce qui témoigne d'une forte concentration de toutes les lignes axiales autour de la valeur moyenne.

La carte axiale de Tours	**Moyenne générale**	Minimum	Maximum	Écart-type
Intégration spatiale intermédiaire (R_r)	**0,88**	0,26	1,53	0,22
Profondeur spatiale intermédiaire (R_r)	**9,3**	7,2	11	0,75

Tableau 13. Valeurs d'intégration et profondeur spatiales intermédiaires (R_r) de la carte axiale d'**Ispahan**

Nous examinons maintenant la composition du troisième niveau d'intégration spatiale intermédiaire (R_n) des lignes axiales et des IRIS de Tours. Précisons que les caractéristiques de l'intégration spatiale des axes au niveau intermédiaire (R_r) sont très semblables à celles au niveau global (figure 86 et 87).

- Les axes les plus intégrés au niveau intermédiaire (R_r) sont : (a) l'axe central nord-sud (l'avenue de la Tranchée, le pont Wilson, la rue Nationale et l'avenue Grammont) ; (b) les axes horizontaux (est-ouest) comme les boulevards Béranger et Heurteloup et la rue d'Entraigues ; (c) et au nord de la Loire, les lignes axiales qui correspondent aux rues après la bifurcation de l'avenue de la Tranchée. Par conséquent, pour un rayon de 12 lignes, ces axes sont à proximité topologique d'un grand nombre de lignes.

- Les IRIS les plus intégrés se trouvent dans toute la partie centrale de Tours (entre la Loire et le Cher). Cependant, celle-ci diminue immédiatement, avec l'éloignement du centre.

- Le deuxième niveau d'intégration spatiale intermédiaire (R_r) se concentre : tout d'abord sur la limite du centre de la commune de Tours. Il correspond en grande partie aux lignes axiales parallèles ou perpendiculaires à la rue Nationale

et à l'avenue Grammont, puis aux quartiers résidentiels périphériques de la partie nord-est de Tours. Nous constatons qu'exceptionnellement, un IRIS situé dans la partie nord et traversé par l'avenue de l'Europe présente une intégration spatiale intermédiaire (R_r) plus élevée que les autres IRIS (figure 88). Ces constats mettent en évidence que certains quartiers périphériques du nord de Tours sont mieux lotis que d'autres pour ce qui est de leur réseau de voirie. Ces réseaux de voirie sont très diversifiés et non homogènes en matière de forme de tracé et de taille des îlots. Ceci peut en partie s'expliquer par la diversité et la densité des occupations des sols, qui semblent se distinguer des autres dans cette zone : d'un côté, il y a des quartiers qui sont totalement résidentiels, de l'autre côté, il existe plusieurs zones d'activités et une variété de grandes surfaces commerciales.

- Les lignes axiales et les IRIS les moins intégrés (les plus ségrégés) du réseau : ils se trouvent dans toute la partie ouest, l'extrême nord ainsi que l'extrême sud. Nous avons expliqué précédemment qu'il s'agit de quartiers résidentiels périphériques et qu'ils se caractérisent par des réseaux de rues périurbaines : (a) des tracés irréguliers et complexes, ou bien des culs-de-sac et des rues sinueuses ; (b) des obstacles physiques tels que la rivière, l'autoroute, des terrains agricoles, des terrains non construits (les lotissements urbains de cette partie ne sont toujours pas terminés ; il existe donc des terrains qui ne sont pas encore aménagés). Ainsi, tout cela révèle que la configuration du réseau de voirie dans ces parties n'est pas favorable au déplacement à pied.

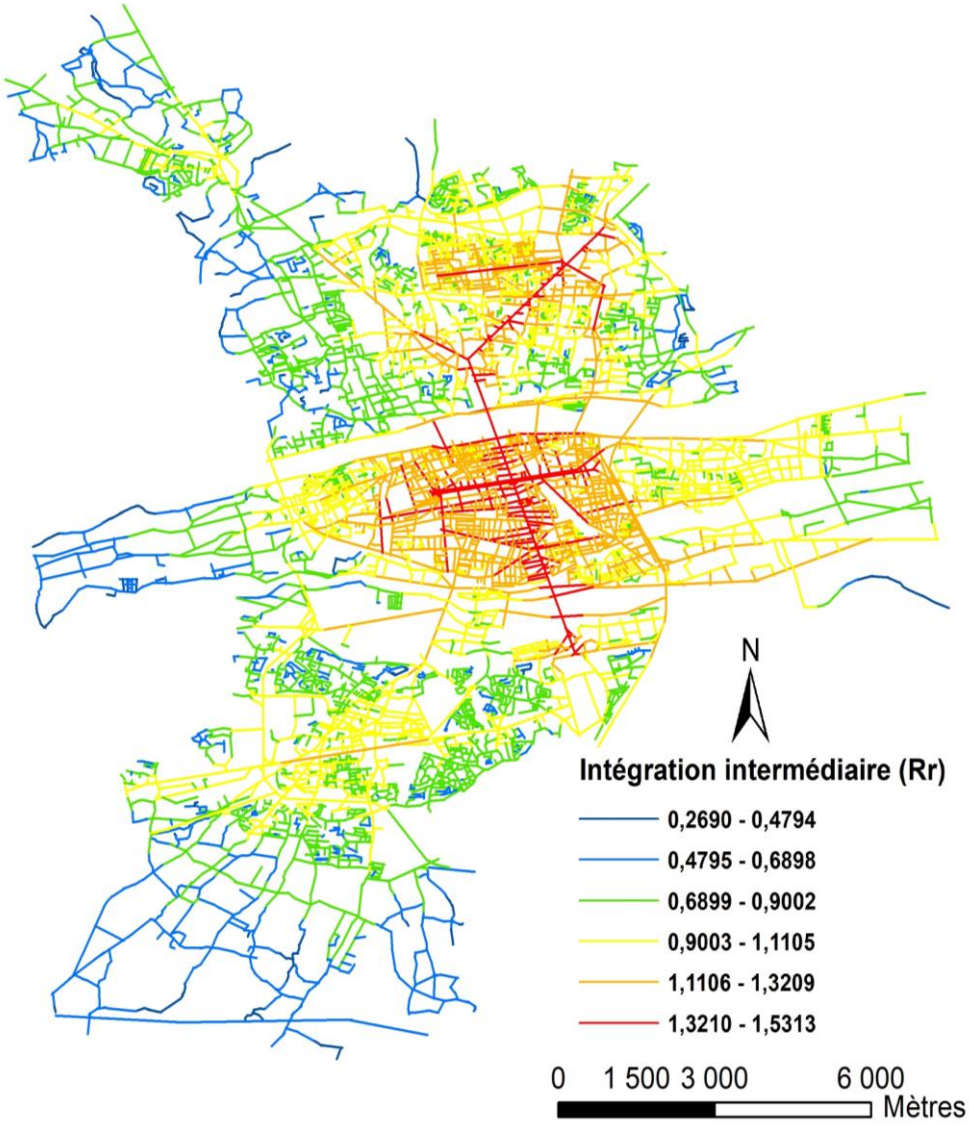

Figure 86. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale intermédiaire ($R_r = R_{12}$) des lignes axiales du réseau de voirie de **Tours**

Cette carte représente la configuration spatiale de l'ensemble du réseau de manière hiérarchique, selon le rayon topologique 12. De manière semblable à l'intégration spatiale globale (R_n), les lignes axiales de la partie centrale sont les plus intégrées au niveau intermédiaire. Ceci confirme que ces lignes axiales de la partie centrale ont un potentiel élevé pour être parcourues par les piétons.

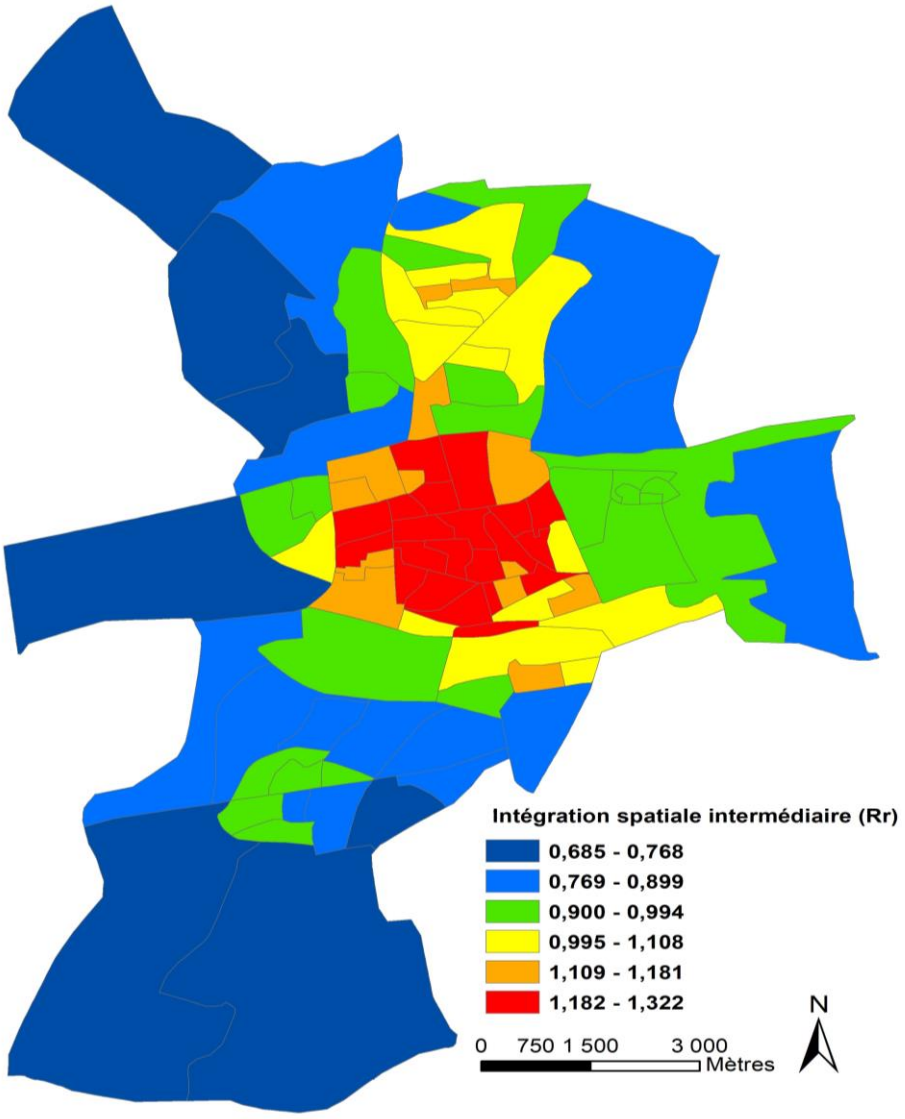

Figure 87. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale intermédiaire ($R_r = R_{12}$) des IRIS de **Tours**

Cette carte représente la configuration spatiale des IRIS et leurs interactions spatiales de manière hiérarchique, selon le rayon topologique 12. Similairement aux quartiers centraux, deux quartiers résidentiels situés dans la partie nord présentent un taux d'intégration spatiale intermédiaire élevé. En général, les IRIS les plus intégrés ont, théoriquement, un potentiel élevé pour être traversés par les personnes pendant leurs trajets à pied.

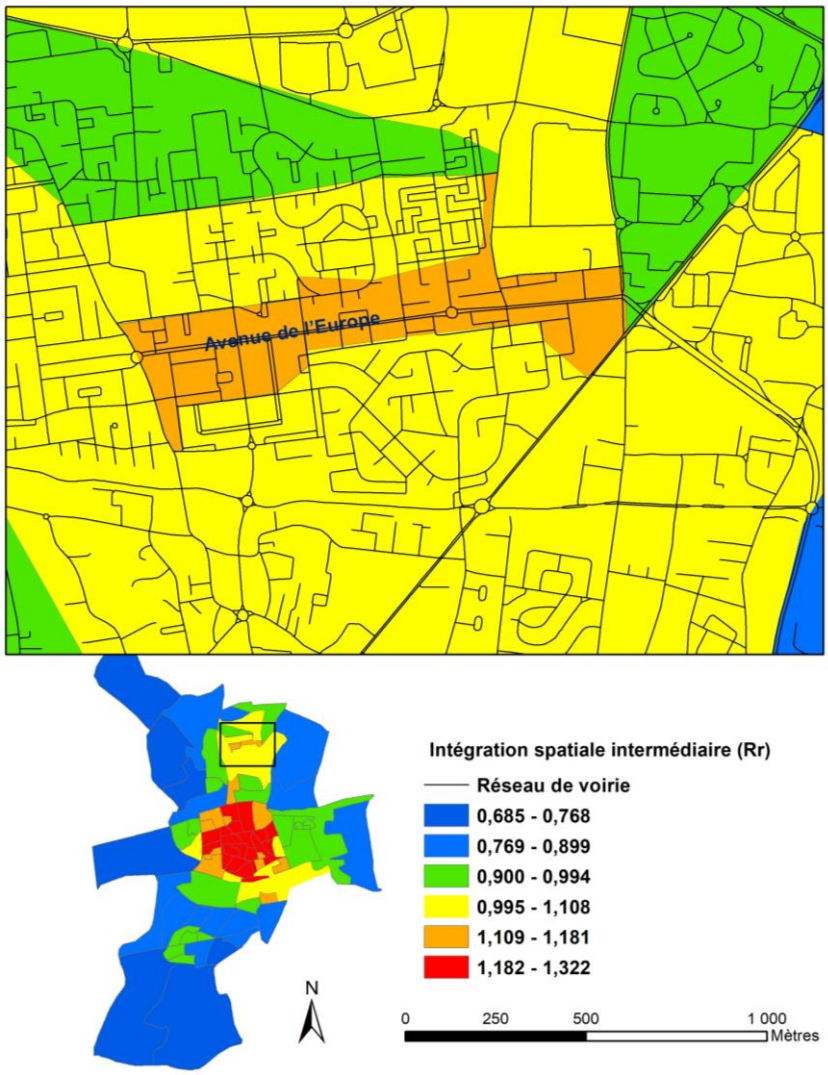

Figure 88. Zoom sur le réseau de voirie des IRIS du nord de **Tours** et moyennes R_{12}

Cette carte représente les réseaux de voirie des IRIS du nord de Tours. Leur intégration spatiale varie selon la morphologie des réseaux de voirie. Les réseaux de rues sinueuses composés d'impasses sont moins intégrés que le réseau de voirie régulier et quadrillé où passe l'avenue de l'Europe. C'est donc l'axe de l'avenue de l'Europe qui a un potentiel particulièrement élevé pour attirer les déplacements des piétons.

8-1-6- L'intégration spatiale locale (R_3) des lignes axiales de Tours

Afin d'identifier la hiérarchisation structurelle des lignes axiales au niveau local, nous avons calculé cette mesure pour un rayon topologique de 3 pas. Ainsi, nous avons mesuré de combien de lignes **chaque ligne** est séparée d'une distance topologique de 3 pas (3 changements de direction). Cela nous a amenée à identifier les axes structurants au niveau local, lesquels sont à proximité topologique d'un grand nombre de lignes voisines. Ainsi, cette mesure s'appuie sur le niveau d'importance de chaque axe donné dans la structuration spatiale du réseau par rapport aux lignes situées dans son environnement immédiat. Cela peut donc

nous aider à évaluer la configuration spatiale en fonction des déplacements de petite portée permettant d'accéder aux activités locales comme aux commerces de proximité. Ainsi, une intégration spatiale locale (R_3) élevée correspond à une probabilité très élevée que ces lignes soient empruntées pendant les trajets à pied. Nous précisons que, comme le montre le tableau 14, les valeurs d'intégration locale (R_3) des lignes axiales de Tours varient dans un intervalle entre 0,33 et 4,5 et que la moyenne générale est de 1,46. La mesure de l'écart-type est de 0,55, et elle indique que les valeurs d'intégration locale (R_3) des lignes axiales n'ont pas de fortes variations et qu'elles sont généralement concentrées autour de la moyenne.

La carte axiale Tours	**Moyenne générale**	Minimum	Maximum	Écart-type
Intégration spatiale locale (R_3)	**1,46**	0,33	4,5	0,55
Profondeur spatiale locale (R_3)	**2,3**	1,6	2,9	0,23

Tableau 14. Valeurs d'intégration et profondeur spatiales locales (R_3) de la carte axiale d'**Ispahan**

Nous examinons maintenant la composition de l'intégration spatiale locale (R_n) des lignes axiales et des IRIS de Tours (figures 89 et 90) :

- Les axes les plus intégrés à l'échelle locale ne sont pas très nombreux. Il s'agit uniquement de 5 lignes. Ces axes correspondent à : (1) un segment de l'axe central nord-sud, c'est-à-dire le pont Wilson, la rue Nationale et l'avenue Grammont) (2) certaines lignes horizontales (est-ouest) qui croisent cet axe vertical de manière perpendiculaire, tel que les boulevards Béranger et Heurteloup, Jean Royer et la rue d'Entraigues. Ainsi, cela confirme que non seulement ces lignes ont un très bon niveau d'intégration spatiale à l'ensemble du réseau (à l'échelle intermédiaire et globale), mais qu'elles sont également hautement intégrées à un grand nombre de lignes voisines. Cela veut dire qu'elles sont accessibles depuis plusieurs axes avec seulement 3 changements de direction. Cependant, lorsque nous comparons les figures 68 et 89 nous constatons l'existence d'autres lignes dont le taux d'intégration globale (R_n) est élevé, alors qu'elles sont moins accessibles au niveau local (R_3). Nous estimons que le fait que ces lignes sont directement connectées à l'axe central principal de la ville contribue à ce niveau d'intégration globale élevé. À l'opposé et de manière indépendante, elles ne sont pas connectées à un grand nombre de lignes dans leur voisinage. C'est la raison pour laquelle le segment de l'axe nord-sud qui se trouve

au nord de la Loire montre un taux d'intégration locale plus faible que celui du niveau global.

- De façon similaire aux taux d'intégration spatiale globale (R_n) et intermédiaire (R_r), une grande majorité des rues de Tours-centre[1] ont un taux d'intégration spatiale locale (R_3) moyen.

- La grande majorité des axes ont un niveau d'intégration spatiale locale (R_3) très faible, comme à Ispahan. Ainsi, la configuration spatiale du réseau, dans son ensemble, révèle au niveau local hautement ségrégé et fortement dépendant d'un nombre limité d'axes situés au centre. La figure 90, qui représente la valeur moyenne d'intégration spatiale locale (R_3) des IRIS, confirme également cela.

- La structure spatiale au niveau local des IRIS du centre de Tours n'est pas fortement intégrée, malgré la présence des lignes les plus intégrées du réseau (figure 90), tout comme à Ispahan. Ceci s'explique par des réseaux de rues organiques à l'intérieur de ces quartiers. En général, à l'exception d'un nombre très limité d'IRIS (qui sont concentrés autour de l'axe de l'avenue Grammont) la valeur moyenne d'intégration locale des IRIS de Tours est très faible. Ceci peut s'expliquer par des caractéristiques particulières du réseau de voirie de Tours : (a) les coupures imposées par les rivières, les voies ferrées, l'autoroute, les chemins de fers, etc., diminuent la linéarité[2] et la continuité[3] du réseau de voirie à l'intérieur des unités d'IRIS ; (b) un plus grand nombre de voies locales et à l'intérieur des quartiers sont composées de rues sinueuses et d'impasses. Ainsi, à Tours, la configuration spatiale des réseaux de rues d'un grand nombre de secteurs donnent lieu à des trajets complexes nécessitant plusieurs changements de direction. Ceci met en évidence qu'à l'extérieur de la partie centrale, le déplacement pédestre est plus laborieux et que, avec l'éloignement du centre, la configuration du réseau est de moins en moins adaptée à la marche.

[1] Entre la Loire et les boulevards Béranger et Heurteloup.

[2] Comme nous l'avons évoqué dans les chapitres IV et V, la linéarité du réseau de voirie renvoie à la différence angulaire entre les sommets de ses rues. Ainsi, plus un réseau est complexe, moins il est linéaire, plus le nombre de changements de direction est important lors des déplacements sur ce réseau.

[3] La continuité d'un réseau de voirie renvoie à la continuité des parcours, sans être confronté à des obstacles physiques comme les voies rapides, les cours d'eaux, les voies ferrées, etc.

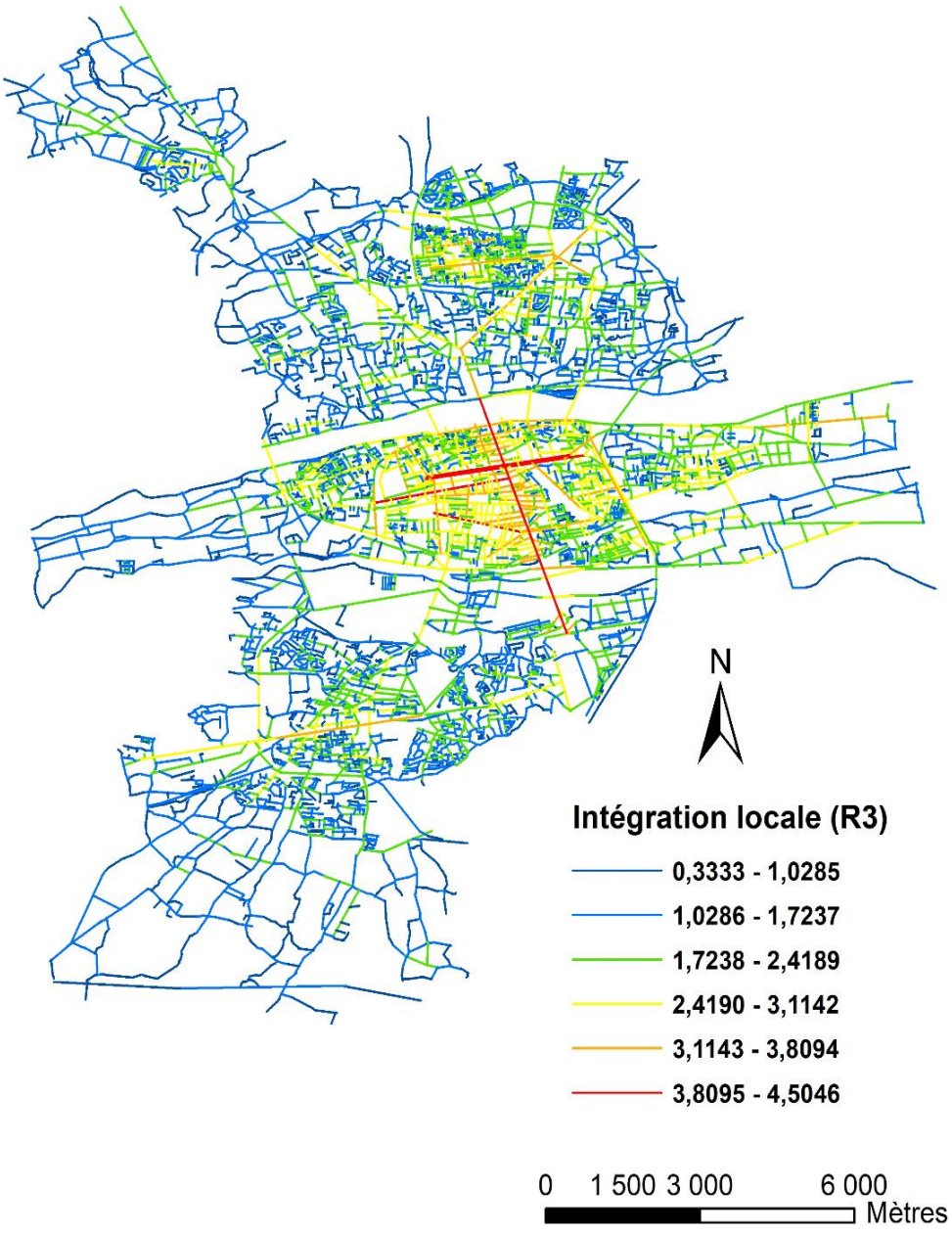

Figure 89. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale locale (R_3) des lignes axiales du réseau de voirie de **Tours**

Cette carte représente la configuration spatiale de l'ensemble du réseau de manière hiérarchique, selon le rayon topologique 3. Les lignes axiales les plus intégrées au niveau locale (qui correspondent au pont Wilson, à la rue Nationale et à l'avenue Grammont, aux boulevards Béranger et Heurteloup, à la rue Jean Royer et à la rue d'Entraigues) sont uniquement au nombre de 5. Ainsi, elles ont un potentiel élevé pour être empruntées par les piétons lors de leurs trajets.

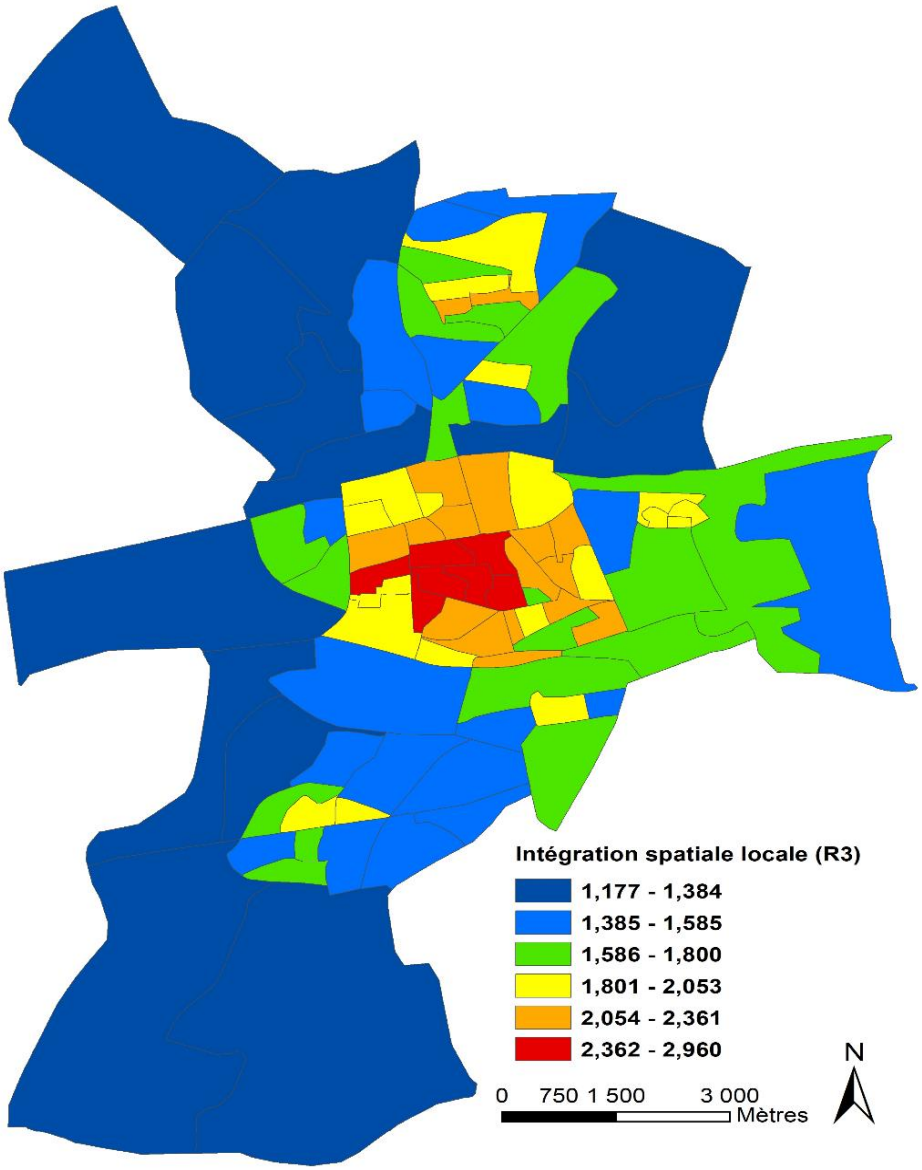

Figure 90. Valeur moyenne des taux d'intégration spatiale locale (R_3) des IRIS de **Tours**

Cette carte représente la configuration spatiale du réseau de rues des IRIS de manière hiérarchique, selon le rayon topologique 3. Les IRIS de la partie centrale sont plus intégrés et donc plus susceptibles d'être traversés par des piétons lors de leurs trajets à pied. Pourtant, de façon similaire à Ispahan, la morphologie du réseau de rues à l'intérieur des quartiers historiques réduit l'intégration spatiale de ces quartiers au niveau local. Néanmoins, la bonne intégration de ces IRIS au niveau global explique la présence d'une grande variété de commerces de proximité et d'autres équipements urbains.

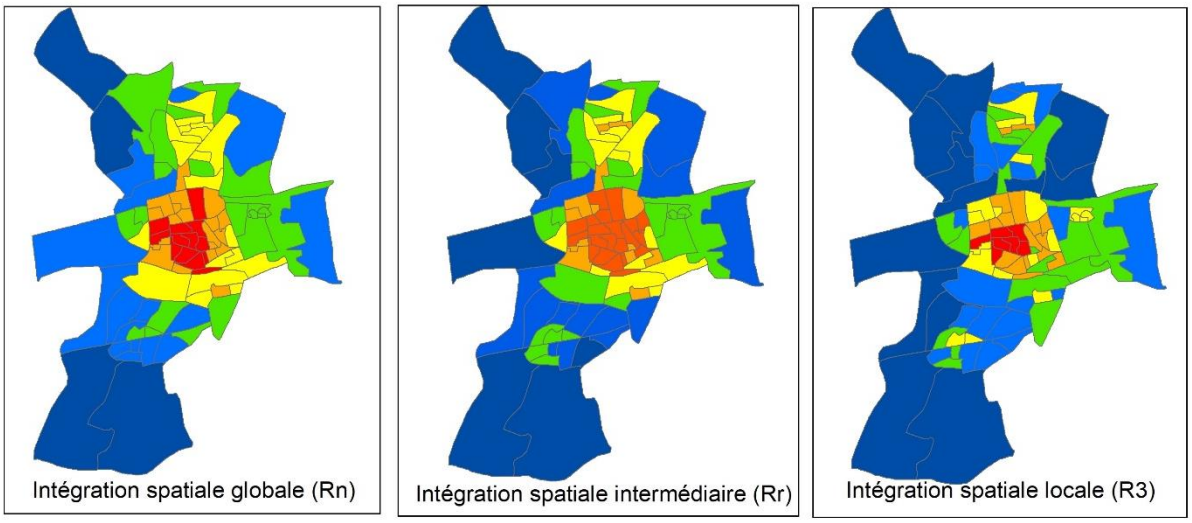

Figure 91. Aperçu général de la configuration du réseau de voirie de **Tours** aux niveaux local, intermédiaire et global

Cette figure montre que les trois niveaux d'intégration spatiale globale, intermédiaire et locale sont plutôt similaires. Les quartiers du centre sont plus intégrés. Les quartiers périphériques sont faiblement intégrés, sauf ceux qui présentent une morphologie de leur réseau de voirie plus régulière. Ainsi, de manière générale, les parties centrales sont propices aux trajets des piétons.

8-2- La faible intelligibilité de la configuration spatiale des terrains d'étude

Selon la Syntaxe spatiale, une des autres caractéristiques de la structure spatiale urbaine est l'intelligibilité de la configuration spatiale. Dans le logiciel Depthmap, l'intelligibilité est représentée sous forme d'un diagramme de dispersion, mettant en corrélation la valeur moyenne de l'intégration spatiale globale (R_n) de chaque axe donné avec sa connectivité[1]. Comme indiqué dans le chapitre IV, cette mesure quantitative s'appuie sur la capacité d'une structure à donner des informations sur la structure globale du réseau, à partir des informations perçues au niveau local. Selon Space Syntax (2006) et Rejeb-Bouzgarrou (2019), une intelligibilité élevée de la configuration spatiale permet aux personnes de comprendre la cohésion spatiale des grands réseaux complexes et facilite leur orientation dans l'espace. Cela signifie qu'une structure spatiale est intelligible quand ce que la personne perçoit de son environnement immédiat (à l'échelle locale) l'informe correctement sur la

[1] Rappelons que la connectivité se définie par le nombre de lignes axiales directement connectées à une ligne donnée.

structuration globale du réseau. Ainsi, la personne en déplacement parvient à comprendre la structuration globale de l'ensemble du réseau de voirie à partir des informations directement observables dont elle dispose sur les axes locaux. Cette mesure permet donc de quantifier la facilité à s'orientater dans un réseau de voirie.

À Ispahan (dont la valeur moyenne de l'intelligibilité du réseau est de 0,03), la valeur de l'intelligibilité[1] révèle un système quasiment inintelligible, puisque globalement seuls 3 % des lignes axiales sont de bons prédicteurs de la structure globale du réseau. Donc, cette valeur de l'intelligibilité du réseau d'Ispahan reflète une très faible corrélation entre la connectivité et la valeur d'intégration globale (R_n) moyenne du réseau de voirie. Par conséquent, la structure spatiale au niveau local n'informe pas les personnes sur la disposition globale du réseau, ni sur leur position globale dans le réseau de voirie. Ceci peut impliquer que les piétons changent souvent de directions et se perdent plus fréquemment, ce qui rend le processus d'orientation dans le réseau de voirie d'Ispahan relativement difficile[2].

Cette faible intelligibilité du réseau de voirie d'Ispahan peut avoir plusieurs explications.

- Une première explication peut être la croissance urbaine rapide de la ville qui va de pair avec le fait que les nouvelles parties du réseau de voirie ne s'appuient par sur le modèle du tracé initial du réseau de la ville. Ainsi la morphologie du réseau de voirie d'Ispahan est particulièrement peu homogène et ses différents quartiers possèdent des réseaux de voirie de formes très variées. Par exemple, certains quartiers résidentiels du nord, du sud et de l'est, qui ont été construits récemment en appliquant le plan de développement officiel, possèdent un réseau de rues régulier et quadrillé. En revanche, le réseau de rues de l'ensemble des tissus urbains fragmentés dans la partie ouest et au bord de

[1] Celle-ci est obtenue à partir du coefficient de détermination R^2 (le carré du coefficient de corrélation linéaire r) de la régression linéaire entre les valeurs de la connectivité et de l'intégration globale (R_n) des lignes axiales. Cette valeur est toujours comprise entre 0 et 1. Si la valeur de R^2 est 1, cela signifie que chaque fois qu'une ligne axiale est faiblement connectée, elle devient aussi faiblement intégrée. Ainsi, il y a une corrélation parfaite (100 %) entre les variables.

[2] En Iran, il y a un cliché très répandu contre les ispahanais, selon lequel ils ne sont pas très accueillants. Très souvent, les touristes iraniens ne parviennent pas à trouver facilement le chemin menant aux endroits touristiques. Et, bien qu'ils demandent de l'aide aux habitants, ils se perdent toujours. C'est la raison pour laquelle, ils pensent que les ispahanais leur causent délibérément des ennuis. Mais, selon nous, il est possible que cette difficulté à trouver son chemin soit due à la configuration spatiale du réseau de voirie d'Ispahan dans lequel il n'est pas facile de trouver son chemin ou d'aider autrui à s'orienter. Cette anecdote ne constitue pas une démonstration, cependant, elle est révélatrice de la faiblesse de l'intelligibilité d'Ispahan.

Zayandeh-Roud se caractérisent par des formes organiques et irrégulières. Comme nous l'avons décrit précédemment, les réseaux de ces parties correspondent aux réseaux ruraux d'origine.

- Une deuxième explication se trouve dans la configuration particulière de la ville, notamment celle des quartiers anciens. En effet, ils sont constitués de réseaux de rues complexes, de ruelles organiques et d'impasses.

- Une dernière explication peut résider dans le fait que, comme le précise Hillier (1996), la valeur de l'intelligibilité est sensible à la taille de la ville. Ceci signifie que plus une ville est grande, plus il est possible que l'indice de l'intelligibilité de son réseau de voirie soit faible. Ainsi, Ispahan est une ville relativement grande, ce qui par conséquent peut diminuer son intelligibilité.

En ce qui concerne la moyenne de l'intelligibilité de la structure spatiale de Tours, cette valeur est de 0,096. Ainsi, pour seulement 9 % des lignes axiales, les personnes ont une chance de prévoir correctement la structure globale du réseau et de se positionner dans l'ensemble du réseau. Ce réseau de voirie peu intelligible reflète une corrélation assez faible entre la connectivité et la valeur d'intégration spatiale globale (R_n) de ces lignes axiales. Ceci implique que, de manière générale, l'orientation n'est pas facile dans le réseau de voirie de ce périmètre. Cela peut être justifié par certaines particularités du réseau de sa voirie : premièrement, les coupures imposées par le passage du chemin de fer, de l'autoroute A10, des routes départementales D129, D801, D938, D37, par le Cher et la Loire ; et, deuxièmement, le caractère rural et périurbain des parties sud, ouest et nord de cette zone. Ces facteurs contribuent à la constitution d'un réseau de voirie complexe et plein de coupures, composé de voies organiques et d'impasses.

Ainsi, à Ispahan tout comme à Tours, la distance moyenne topologique des axes par rapport à l'ensemble du réseau n'est pas corrélée avec leurs nombres de connexions directes. Cela signifie que toutes les lignes fortement intégrées ne sont pas systématiquement connectées à un grand nombre de lignes.

Les diagrammes suivants présentent le coefficient de détermination R^2 (le carré du coefficient de corrélation linéaire r)[1] de la régression linéaire de la valeur de la connectivité et de l'intégration spatiale globale (R_n) du réseau de voirie d'Ispahan et de Tours. Dans ces diagrammes, chaque point colorié représente une ligne de la carte axiale. Les points rouges correspondent aux lignes structurantes du réseau qui ont une valeur d'intégration spatiale globale (R_n) élevée. Les axes secondaires (moyennement intégrés) sont représentés par des points oranges et jaunes. Enfin, les axes faiblement intégrés sont indiqués par des points verts, bleus clairs et bleus foncés. La ligne blanche est la ligne de corrélation entre l'intégration globale (R_n) et la connectivité de toutes les lignes axiales. Cette ligne représente la régression linéaire d'un nuage de points fortement concentrés autour de la valeur du coefficient de détermination R^2.

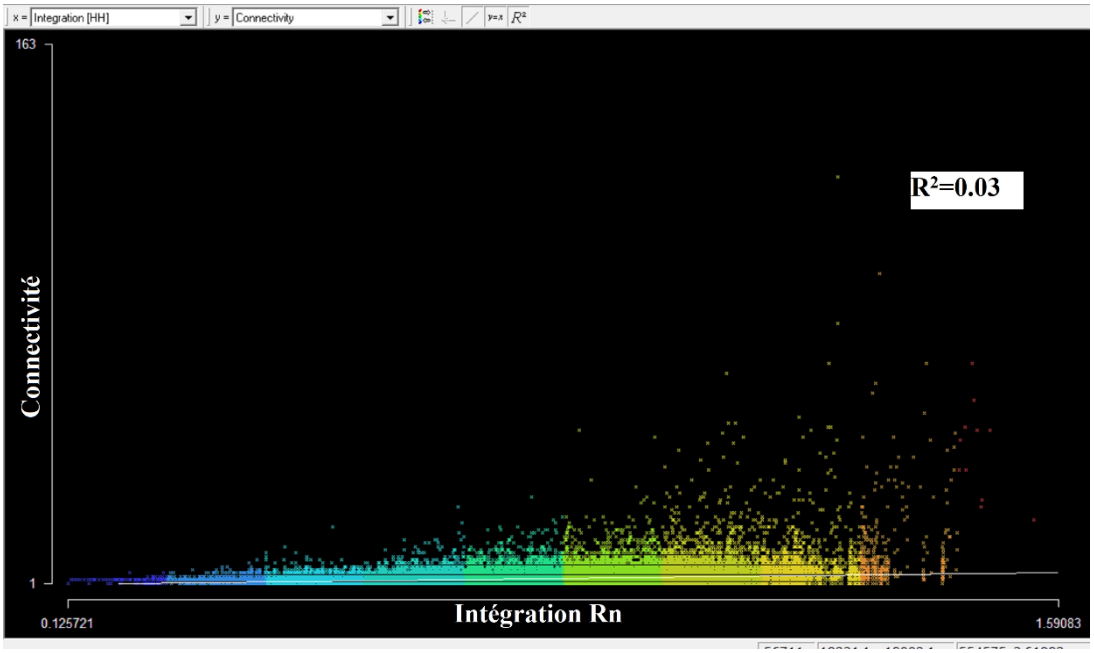

Figure 92. Diagramme de l'intelligibilité du réseau de voirie d'**Ispahan**

Nous constatons que la plupart des lignes fortement intégrées (les points rouges) ne possèdent pas forcément une valeur de connectivité élevée. La valeur du coefficient de détermination $R^2 = 0{,}03$ confirme que le réseau de voirie d'Ispahan est très faiblement intelligible. Elle montre que l'orientation des piétons n'est pas facile dans ce réseau.

[1] Ou bien R Square, qui indique la qualité d'une régression linéaire simple. Quand les points sont exactement alignés sur la droite de régression, $R^2 = 1$.

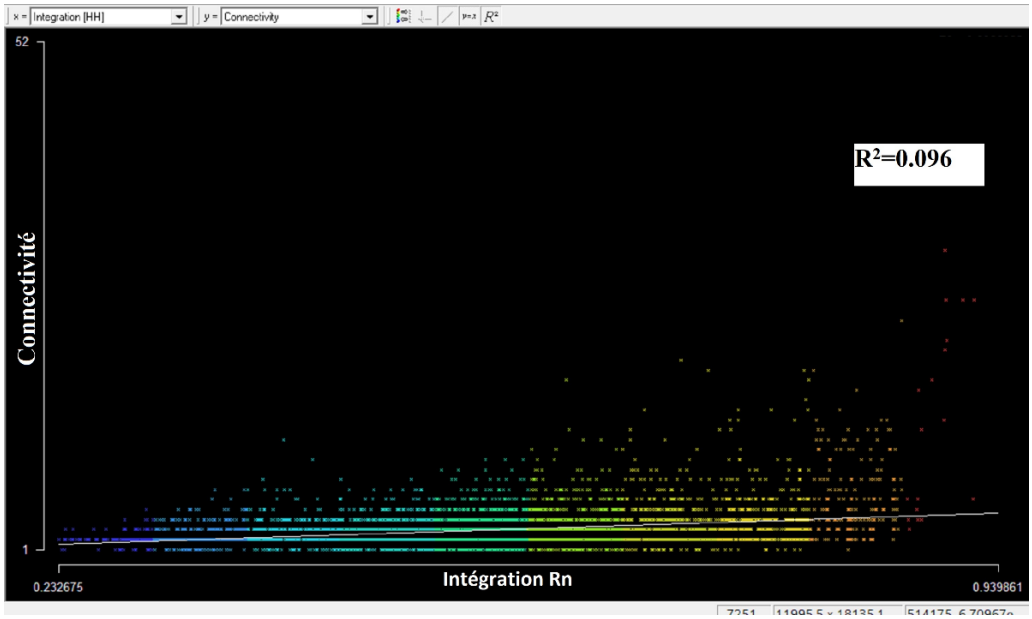

Figure 93. Diagramme de l'intelligibilité du réseau de voirie de **Tours**

Nous constatons que la plupart des lignes fortement intégrées (les points rouges) ne possèdent pas forcément une valeur de connectivité élevée. La valeur du coefficient de détermination $R^2 = 0,09$ confirme que le réseau de voirie de Tours est très faiblement intelligible. Elle montre que l'orientation des piétons n'est pas facile dans ce réseau.

Conclusion du chapitre VIII

Dans ce chapitre, nous avons analysé les données théoriques de nos terrains d'étude. Ces données théoriques sont issues du chapitre précédent, dans lequel nous avons employé la Syntaxe spatiale afin de modéliser la structure du réseau de voirie. Ainsi, à partir des mesures quantitatives topologiques telles que l'intégration spatiale et la profondeur spatiale des lignes axiales, nous avons évalué la disposition de ces lignes. En d'autres termes, nous avons évalué la configuration de la structure du réseau de voirie. Nous avons opéré à différentes échelles : globale (R_n), intermédiaire (R_r) et locale (R_3).

Ensuite, à partir des valeurs topologiques obtenues concernant les lignes axiales, nous avons prédit l'orientation des piétons et la probabilité que les itinéraires soient empruntés par les piétons lors de leurs déplacements à pied dans chacun des deux réseaux de voirie. Nous avons donc simulé les itinéraires théoriques des piétons à partir des facteurs structurels de la configuration des réseaux de voirie.

Cette modélisation nous a permis de constater que les structures spatiales de nos deux terrains d'étude se ressemblent, dans le sens où ils sont tous deux composés d'un axe central nord-sud ainsi que de certains axes est-ouest perpendiculaires à cet axe. Ces axes constituent les lignes structurantes principales du réseau, aussi bien aux niveaux global, intermédiaire que local. Ainsi, pour chaque réseau, ces lignes les plus intégrées sont topologiquement plus proches de l'ensemble des autres lignes du réseau. Dès lors, d'un point de vue structurel, elles sont les plus attractives pour les piétons. Ceci augmente donc le potentiel de ces rues à être parcourues par des piétons. Autrement dit la probabilité que les piétons empruntent ces rues est particulièrement élevée.

Nous avons également remarqué que diverses activités comme les commerces, les restaurants, les banques, etc. sont localisées sur les axes les plus intégrés. Ceci peut contribuer à augmenter la probabilité que ces lignes soient empruntées par les piétons. *A contrario,* les axes périphériques ainsi que les impasses et les voies locales à l'intérieur des quartiers forment des lignes ségrégées de l'ensemble du réseau de voirie. Dès lors, ces quartiers sont théoriquement moins attirants pour les piétons et il est moins probable qu'ils soient traversés à pied.

Comme nous le constatons dans le tableau suivant, la valeur moyenne de l'intégration spatiale globale (R_n) du réseau de voirie à Ispahan est de 0,87, alors qu'il est de 0,56 à Tours.

Ainsi, en général, la structure spatiale d'Ispahan est relativement plus intégrée par rapport à celle de Tours. Ceci peut s'expliquer en grande partie par la présence dans l'ensemble de réseau de Tours de plusieurs éléments urbains de coupure. Ainsi, à Ispahan, les rues sont mieux connectées entre elles ; elles se situent dans une distance topologique plus proche les unes des autres. Le réseau d'Ispahan a donc une accessibilité relativement plus élevée que celui de Tours.

En ce qui concerne l'intégration spatiale intermédiaire (R_r), c'est toujours la structure spatiale d'Ispahan qui est la mieux intégrée, car la valeur de l'intégration spatiale d'Ispahan est de 1,25, alors que celle de Tours est de 0,88.

Néanmoins, au niveau local (R_3), la différence de la valeur moyenne d'intégration spatiale de nos deux réseaux n'est pas considérable. En effet, le taux d'intégration spatiale locale (R_3) d'Ispahan est de 1.55 et celui de Tours est de 1.46. Nous pouvons donc déduire que sur ces deux terrains, la structuration des réseaux de rues à l'intérieur des quartiers présente des particularités communes : il y a dans chacun de ces deux réseaux des rues complexes, des ruelles organiques et des impasses à l'intérieur de certains quartiers, notamment dans les quartiers historiques ainsi que dans les quartiers résidentiels nouvellement construits. Ces réseaux de rues engendrent une accessibilité limitée à un grand nombre d'espaces à l'échelle locale.

Globalement, la structure spatiale d'Ispahan est donc relativement plus intégrée que celle de Tours aux échelles globale (R_n), intermédiaire (R_r) et locale (R_3).

Carte axiale	**Ispahan**	**Tours**
Intégration spatiale globale (R_n)	0,87	0,56
Intégration spatiale intermédiaire (R_r)	1,25	0,88
Intégration spatiale locale (R_3)	1,55	1,46
Profondeur spatiale globale (R_n)	17	20
Profondeur spatiale intermédiaire (R_r)	7,6	9,3
Profondeur spatiale locale (R_3)	2,5	2,3

Tableau 15. Comparaison des structures spatiales d'Ispahan et de Tours
Ce tableau compare les moyennes générales des valeurs d'intégration et profondeurs spatiales globales (R_n), intermédiaires (R_r) et locales (R_3)

Enfin, nous avons mesuré l'intelligibilité de la configuration spatiale de nos deux terrains d'étude. Notre analyse a mis en évidence que de manière générale, les configurations respectives des réseaux de voirie de nos deux terrains sont très faiblement intelligibles. Ainsi,

les configurations de ces deux réseaux ne permettent pas aux individus de comprendre la structuration globale de l'ensemble du réseau dans lequel ils se trouvent à partir de leur position locale. De même, l'orientation des piétons dans ces deux réseaux s'avère être relativement difficile.

Dans le but d'évaluer si ces résultats sont conformes aux comportements réels des piétons, nous proposons de croiser les résultats présentés dans ce chapitre avec les itinéraires effectués par les personnes. C'est la raison pour laquelle, dans le chapitre suivant, nous analysons les informations recueillies au sujet des déplacements empiriques des personnes enquêtées. Nous cherchons d'abord à d'étudier la longueur métrique et topologique des trajets pratiqués, puis nous analysons de manière précise les caractéristiques structurelles et fonctionnelles des segments de rues empruntés.

CHAPITRE IX : Analyse des trajets enregistrés et interprétation des résultats

Introduction du chapitre

Après avoir traité les données saisies par les traceurs GPS (comme décrit dans le chapitre VII), nous disposons désormais d'une base de données qui comporte des informations précises sur les déplacements pédestres effectués. Ces données concernent : les origines et les destinations des déplacements à pied ainsi que les itinéraires réellement empruntés sur le réseau de voirie. Ces itinéraires pratiqués sont enregistrés dans des fichiers « shp », format utilisé par le logiciel ArcGIS.

Dans ce chapitre, nous cherchons à analyser les trajets recueillis de façon désagrégée, c'est-à-dire en nous intéressant à chaque trajet de manière singulière. Afin d'identifier les critères du choix des trajets des piétons en rapport avec la configuration spatiale du réseau de voirie, nous procédons selon quatre étapes que nous présentons maintenant.

– Dans un premier temps, nous mettons en œuvre l'approche économique qui repose sur l'aspect rationnel du comportement des piétons et donc du choix d'itinéraires. Ainsi, en nous appuyant sur les **attributs géométriques** du réseau de voirie, nous mesurons la distance métrique des trajets réellement effectués. Ensuite, nous simulons les trajets théoriques les plus courts qui sont disponibles sur le réseau de voirie pour chaque couple d'origine-destination. Dès lors, nous pouvons confronter chaque trajet pratiqué avec celui simulé. Ainsi, il est possible d'évaluer la corrélation entre les distances géométriques des trajets théoriques prévus (qui est issue du calcul du chemin le plus court), avec celles des itinéraires enregistrés. Ceci permet d'évaluer, selon une certaine conception de la réalité, le degré de rationalité[1] du comportement des piétons enquêtés en matière de choix d'itinéraire.

[1] Comme décrit dans le chapitre II, selon l'approche du choix rationnel (qui repose sur l'approche économique), l'un des premiers facteurs à intervenir lors de la sélection d'un itinéraire concernant la minimisation de la distance (métrique) du trajet. Ceci conduit donc les piétons à choisir la distance métrique ou temporelle la plus courte.

– Dans un deuxième temps, nous évaluons le comportement des piétons enquêtés en lien avec **l'aspect fonctionnel du réseau de voirie.** Nous cherchons à appréhender le niveau d'importance des tronçons de rues empruntés dans la hiérarchisation fonctionnelle de l'ensemble du réseau de voirie.

– Dans un troisième temps, nous analysons le comportement des piétons par rapport à **l'aspect structurel du réseau de voirie.** Nous cherchons donc à déterminer les attributs topologiques des segments de rues empruntés. Nous confrontons donc les résultats de nos données théoriques et empiriques. Précisons que nos données théoriques comprennent les caractéristiques de la configuration du réseau de voirie mesurées par la Syntaxe spatiale et nos données empiriques qui contiennent les trajets effectués, collectés par les traceurs GPS. Ceci permet d'évaluer la sensibilité des piétons aux spécificités configurationnelles du réseau de voirie lors de leur choix d'itinéraire.

– En nous appuyant encore sur l'approche cognitive du choix, nous examinons également la rationalité des piétons par rapport à la **longueur topologique** des trajets, c'est-à-dire par rapport au nombre de changements de direction lors du parcours. De même, nous calculons la longueur topologique des trajets effectués et celle des itinéraires théoriques géométriquement les plus courts. Ensuite, nous les comparons afin d'évaluer la prise en compte de la distance topologique dans les déplacements à pied que nous avons enregistrés.

Ainsi, en croisant ces résultats, il est possible d'appréhender les **préférences individuelles révélées** des individus enquêtés à propos du choix d'itinéraire et d'évaluer la contribution de la configuration du réseau de voirie à ce choix.

Enfin, nous évoquons les résultats de l'analyse qualitative des entretiens semi-directifs menés avec les participants de notre enquête. Ceci permet d'identifier les **préférences individuelles déclarées** des piétons en matière de choix de trajet.

Ainsi, l'ensemble de ces analyses nous amènent à comparer les préférences individuelles **théoriques, révélées** et **déclarées** des personnes enquêtées à propos des choix d'itinéraire lors des déplacements à pied.

9-1- Évaluation des attributs géométriques des segments de rues empruntés

9-1- 1 - La distance métrique des trajets réellement effectués

Tout d'abord, partant d'une approche économique, nous évaluons la rationalité des choix d'itinéraires des piétons. Ainsi, nous prenons en compte l'aspect objectif du rapport entre, d'une part, le comportement des piétons et, d'autre part, les mesures métriques du réseau de voirie. De ce fait, nous évaluons la longueur métrique des trajets effectués (enregistrés par GPS) à Ispahan et à Tours. En outre, comme nous l'avons expliqué dans le chapitre VII, nous avons exclu quelques trajets de l'ensemble de l'analyse des itinéraires (une dizaine de nos deux terrains d'étude), trajets dont la longueur était inférieure ou égale à 130 mètres. En effet, nous avons décidé de ne pas les prendre en compte pour deux raisons, en nous appuyant sur les effectifs et sur la répartition des distances saisis : premièrement, pour ne pas avoir de résultats biaisés au moment de l'analyse des trajets, notamment en ce qui concerne la distance moyenne parcourue ; deuxièmement, ces trajets correspondent aux trajets directs sur un tronçon de rue et ils nous semblent trop courts pour pouvoir être soumis aux analyses approfondies des critères de choix d'itinéraire, de l'effet de la structure du réseau, etc.

Distance métrique des trajets effectués à Ispahan

Pour l'ensemble des 40 individus enquêtés à Ispahan, nous avons identifié 95 itinéraires distincts de 141 à 3555 mètres de longueurs. Ces itinéraires totalisent une longueur de 71 kilomètres et leur moyenne est de 760 mètres. Le nombre moyen de déplacements à pied le jour de l'enquête et par personne est de 2,37. Pourtant, nous avons constaté que 4 trajets sont particulièrement longs : ils vont de 3300 à 3555 mètres. Ces trajets ont attiré notre attention pour deux raisons : premièrement, leur distance est particulièrement longue par rapport à celle des autres trajets ; deuxièmement, ils se situent sur des artères principales (notamment sur l'avenue de Tcharbagh) qui disposent d'une offre de transport public très variée (métro, bus, taxis). C'est la raison pour laquelle nous avons interrogé spécifiquement ces participants pour nous renseigner au sujet de leurs déplacements. Ainsi, nous nous sommes rendue compte qu'ils ont parcouru exceptionnellement ces longs trajets à pied, alors qu'ils prennent habituellement le métro ou le bus. La raison invoquée par les enquêtés était notre enquête et leur souhait de nous « rendre service ». Or, nous souhaitons non seulement éviter ces écarts artificiels entre les données enregistrées, mais aussi avoir des données plus homogènes au

moment du calcul de la moyenne totale des distances parcourues. C'est la raison pour laquelle nous n'avons pas pris en compte ces 4 trajets. Néanmoins, nous les avons bien inclus dans nos calculs lors de toutes les autres démarches de notre analyse.

Ainsi, après avoir exclu ces 4 trajets, nous disposons donc de 91 itinéraires enregistrés à Ispahan pour lesquels les distances parcourues sont de 141 mètres à 2200 mètres. La longueur totale de ces trajets est de 57 kilomètres, et la moyenne générale des distances parcourues correspond à 645 mètres. En outre, comme le montre le tableau 16, de manière plus détaillée : la distance de la moitié des trajets enregistrés est inférieure à 500 mètres, plus de 30 % des trajets font entre 500 et 1000 mètres et seulement 17 % ont une distance de 1000 à 2200 mètres. Tout cela confirme qu'en général, les distances parcourues à pied à Ispahan sont relativement courtes.

Distance métrique des trajets effectués à Tours

En ce qui concerne Tours, où 20 personnes ont été enquêtées, nous avons identifié 76 itinéraires distincts de 140 à 3400 mètres de longueurs. Ces itinéraires totalisent 72 kilomètres de longueur et leur moyenne est d'environ un kilomètre (980 m). Ainsi, à Tours, le nombre moyen de déplacements à pied et par personne le jour de l'enquête est de 2,37. Ceci correspond aux résultats de l'enquête de mobilité de Touraine de 2019, qui indique que dans cette zone, le nombre moyen de déplacements à pied par jour et par personne est de 2,51, et que la distance moyenne est de 900 mètres.

Concernant l'analyse de la distance métrique moyenne des itinéraires empruntés à Tours, pour les mêmes raisons que celles évoquées plus haut à propos d'Ispahan, nous avons exclu un itinéraire particulièrement long par rapport à tous les autres trajets. Il s'agit d'un itinéraire d'une distance de 3400 mètres. Ainsi, après l'exclusion de ce trajet, nous disposons donc de 75 itinéraires à Tours, dont les longueurs des trajets vont de 140 mètres à 2900 mètres, avec une moyenne générale de 940 mètres. Nous constatons de façon plus précise dans le tableau 16 que parmi ces itinéraires pratiqués : 27 % des trajets parcourus font moins de 500 mètres, environ 45 % font entre 500 et 1000 mètres, 20 % font entre 1000 et 2000 mètres et 10 % ont une longueur entre 2000 et 3000 mètres.

Comparaison de la distance métrique des trajets effectués à Ispahan et à Tours

La comparaison entre les distances métriques des itinéraires enregistrés à Tours et à Ispahan montre que les déplacements à pied sont, en moyenne, plus longs à Tours, et ce, bien qu'Ispahan soit une ville de plus grande taille que celle de Tours. Ainsi, 645 mètres sont

parcourus en moyenne à Ispahan alors qu'à Tours, ce sont 940 mètres qui sont parcourus. Il y a donc 295 mètres d'écart entre la distance moyenne des itinéraires parcourus à Ispahan et celle parcourue à Tours. En revanche, le nombre moyen de déplacements effectués à pied par chaque individu sur les deux terrains d'étude est exactement le même (2,37 déplacements à pied par jour et par personne).

En outre, la dispersion de la longueur des itinéraires effectués est, elle aussi, significativement différente : contrairement à Tours où seulement 27 % des itinéraires font moins de 500 mètres, à Ispahan, ce sont la moitié des trajets parcourus qui font moins de 500 mètres (tableau 16). Ceci confirme la tendance des piétons ispahanais à marcher pour des déplacements de très courte portée. Ceci peut s'expliquer par la marginalisation de la marche à pied et des autres modes de déplacement non motorisés dans les déplacements quotidiens des habitants. Il y a à cela plusieurs raisons :

- la taille de la ville qui génère l'éloignement des activités urbaines les unes par rapport aux autres, notamment entre le lieu d'habitation et le lieu de travail ;
- l'importance de la place des moyens motorisés de déplacement, notamment de la voiture particulière, dans les politiques urbaines ;
- les facteurs économiques comme l'existence de moyens de transport semi-collectif (taxis) peu onéreux et le prix relativement bas de l'essence.

Longueurs des trajets effectués (mètres)	Tours %	Ispahan %
(130, 500]	27	51
(500, 1000]	44	32
(1000, 1500]	10	10
(1500, 2000]	10	5
(2000, 2500]	6	2
(2500, 3000]	4	0

Tableau 16. Répartition des longueurs métriques des trajets effectués à Ispahan et à Tours

9-1-2 - Simulation des itinéraires théoriques les plus courts pour chaque couple d'OD

Dans cette partie, nous vérifions l'hypothèse du choix rationnel des individus, selon laquelle le comportement des piétons est supposé être rationnel et prédictible. Pour rappel, cette approche postule que le choix d'un itinéraire parmi plusieurs possibilités repose sur la

minimisation de l'effort et du temps de parcours et donc sur le choix de la distance géométrique la plus courte. Ainsi, le trajet optimal est le plus court chemin métrique entre l'origine et la destination du déplacement. C'est pourquoi nous cherchons à déterminer si les trajets recueillis sont conformes aux trajets « optimaux » ou non. Nous avons donc appliqué l'algorithme de *Dijkstra*[1] qui permet de simuler le comportement et la prise de décision du choix d'itinéraire des piétons au niveau individuel. Afin d'obtenir la distance métrique théorique la plus courte sur le réseau de voirie, nous avons employé l'extension « Network Analyst » sur ArcGIS qui s'appuie sur l'algorithme de *Dijkstra*. Nous abordons maintenant le déroulement de cette analyse.

– Tout d'abord, nous avons calculé pour toutes les paires d'origine-destination (OD) identifiées le chemin le plus court qui est disponible sur le réseau de voirie. Ainsi, nous avons obtenu une matrice d'OD dans laquelle est calculée la distance métrique la plus courte sur le réseau de voirie[2].

– Dans un deuxième temps, nous avons croisé le résultat de la matrice précédente (les trajets théoriques prédits par l'algorithme de *Dijkstra*) avec les longueurs des trajets empiriques (recueillies lors de notre enquête). Cela nous permet d'estimer quantitativement la correspondance entre la longueur métrique des trajets réellement parcourus et les itinéraires simulés les plus courts possibles.

---

[1] Nous avons expliqué dans le chapitre IV (sous-section 4-1-3), que l'algorithme de *Dijkstra* fournit une modélisation quantitative microscopique du comportement des individus. Il permet de déterminer le plus court chemin disponible sur le réseau de voirie pour chaque couple d'OD donné dans une matrice d'OD.

[2] Dans le but de tester le résultat de cette analyse, nous avons vérifié un échantillon de trajets enregistrés avec l'itinéraire le plus court, calculé selon la matrice d'OD. Pour la plupart des OD, nous avons constaté des erreurs considérables concernant quelques plus courts chemins calculés via « Network Analyst » : ils sont plus longs que le trajet réalisé par les participants. Après plusieurs reprises du calcul pour les deux terrains d'étude, nous avons constaté que la cause de ces erreurs est en lien avec les cartes des réseaux de voirie dont nous disposons, aussi bien pour Tours que pour Ispahan. Pour rappel : nous avons utilisé la carte du réseau de voirie de la BD TOPO® pour Tours. Pour Ispahan, nous avons utilisé la carte du réseau de voirie que l'Organisation du Transport et de la Mobilité de la Mairie d'Ispahan a mise à notre disposition. Or, ces représentations de réseaux de voirie ne prennent en grande partie en compte que les modes de déplacement motorisés. C'est la raison pour laquelle il manque certaines voies réservées spécifiquement aux déplacements à pied, par exemple les ponts dédiés aux piétons ou les petites ruelles, etc. Ainsi, à partir des informations d'Open Street Map et de Google Earth, nous avons modifié certaines parties de ces cartes pour pouvoir réaliser les analyses les plus précises possibles. Ensuite, nous avons retravaillé nos analyses via l'extension de « Network Analyst » dans ArcGIS, avec les matrices d'OD modifiées, correspondant aux distances métriques les plus courtes sur le réseau de voirie entre chaque paire d'OD.

– Dans un troisième temps, nous avons produit une carte qui représente les traces des itinéraires théoriques simulés concernant tous les couples d'OD sur le réseau. Puis nous présentons le résultat de cette analyse pour chacun de nos terrains. Ceci offre un aperçu général de l'ensemble des comportements simulés. Ainsi, il est possible de de croiser visuellement les itinéraires simulés avec ceux réellement choisis par les piétons enquêtés.

Les chemins les plus courts pour chaque couple d'OD à Ispahan

À Ispahan, les longueurs des trajets réellement parcours sont fortement conformes aux chemins les plus courts disponibles sur le réseau de voirie tels que prédis par « Network Analyst ». Tout d'abord, nous avons comparé la moyenne générale de la longueur des trajets réellement parcourus avec celle simulée par l'algorithme. Ceci montre que, en moyenne, les individus choisissent les trajets qui sont plus longs de seulement environ 50 mètres que le chemin le plus court possible sur le réseau. En outre, l'écart-type par rapport à cette moyenne est de 69, ce qui signifie que la valeur de l'écart entre les trajets effectués et les trajets simulés est dispersée autour de la moyenne. De plus, pour 63 % des trajets enregistrés (réellement parcourus) cet écart est inférieur ou égal à 35 mètres (tableau 17). Ainsi, les participants de notre enquête à Ispahan ont des comportements de déplacement extrêmement rationnels en ce qui concerne la distance métrique des trajets (figure 94).

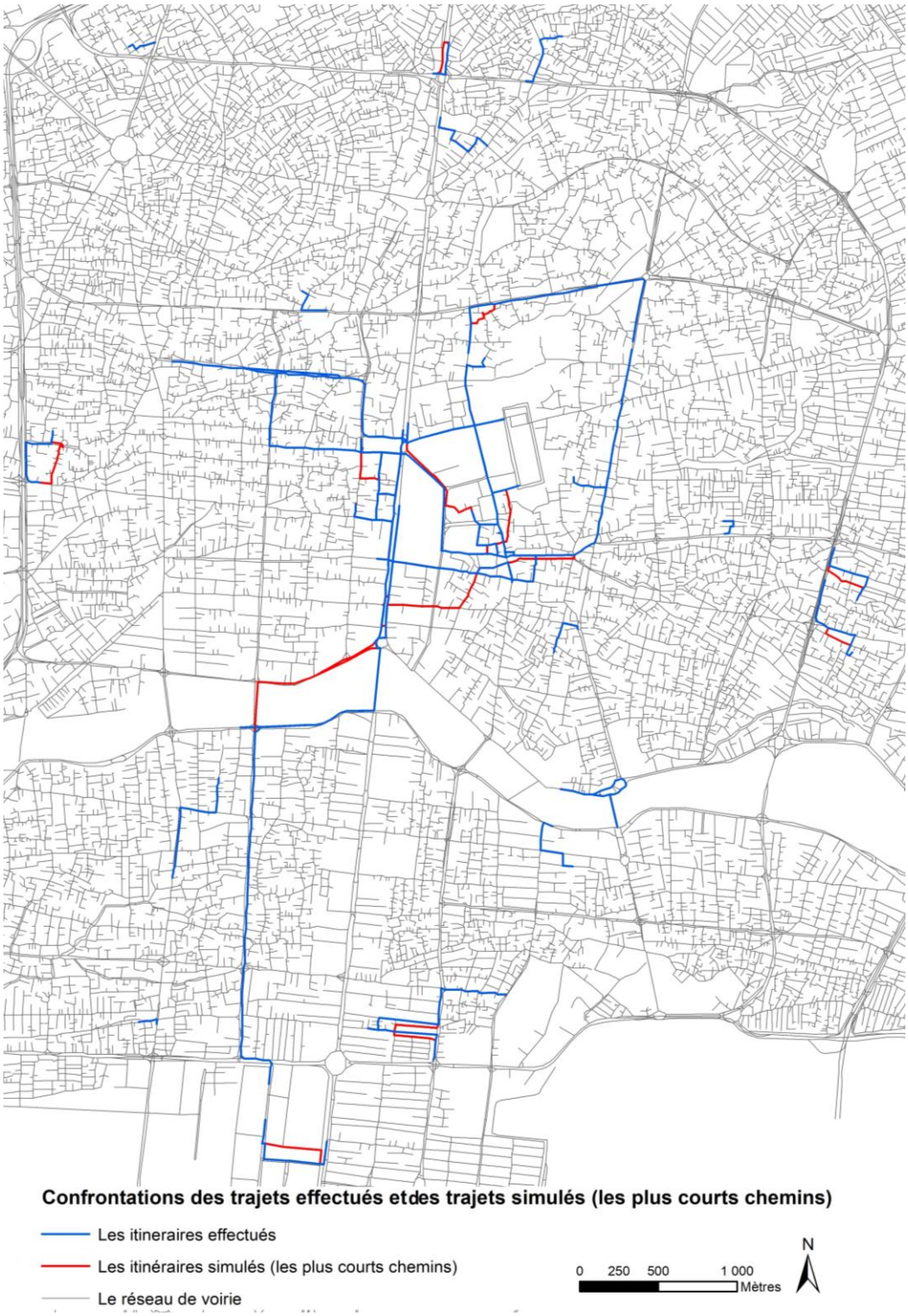

Figure 94. Superposition des tracés des trajets pratiqués avec celles des trajets simulés (les plus courts chemins) à **Ispahan**

Cette figure montre qu'une grande majorité des déplacements effectués sont conformes à l'approche rationnelle et donc que le choix préférentiel de la majorité des individus se porte sur le trajet métrique le plus court.

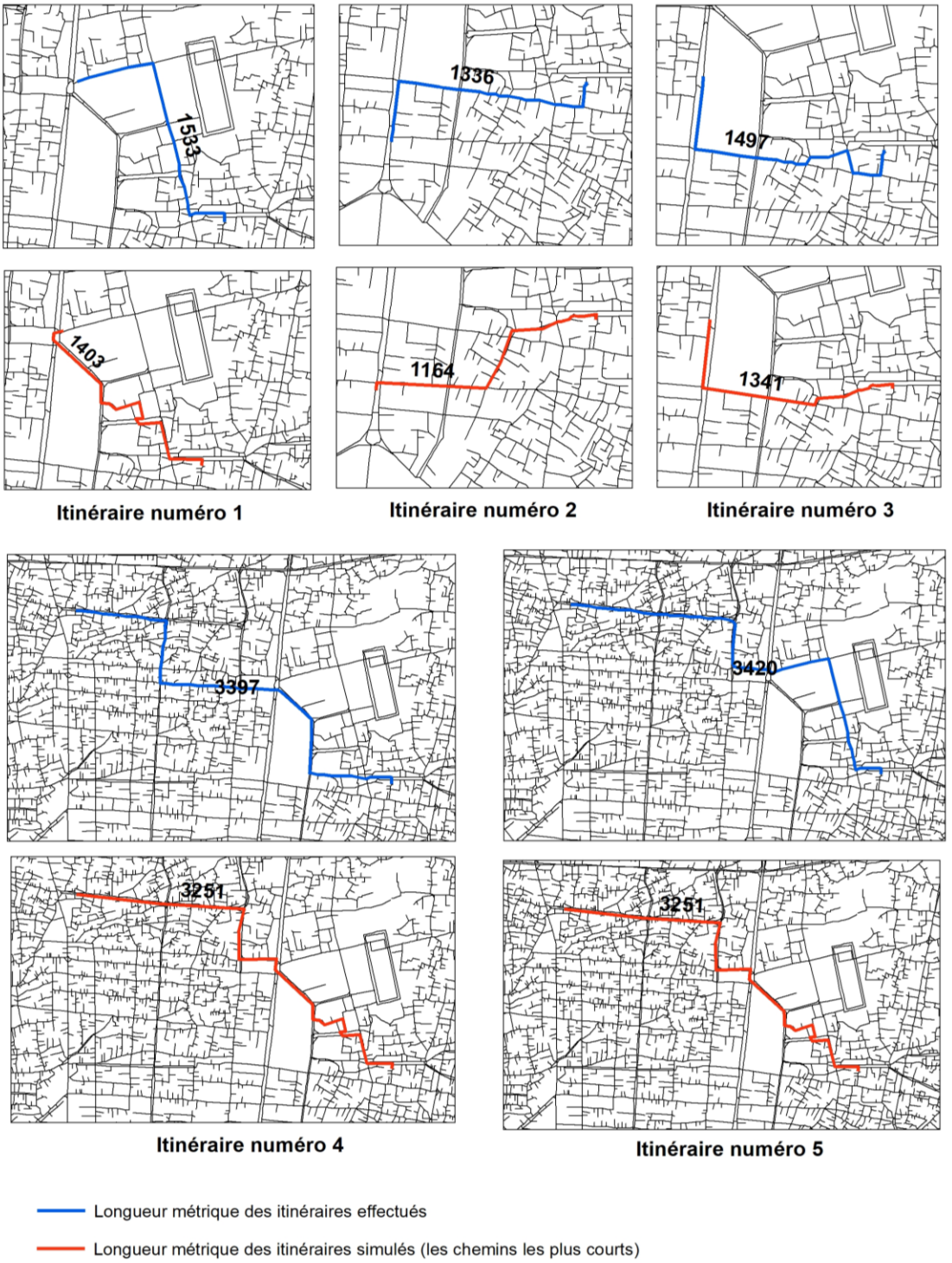

Figure 95. Comparaison de quelques trajets (5 trajets) effectués et simulés à **Ispahan**

Dans cette figure nous distinguons les itinéraires effectués des itinéraires simulés (les chemins les plus courts), ce qui permet d'observer les tracés et la longueur métrique de chaque trajet.

Les chemins les plus courts pour chaque couple d'OD à Tours

À Tours, les longueurs des trajets réellement parcourus sont conformes aux chemins les plus courts simulés par « Network Analyst ». La différence entre la moyenne générale des longueurs des trajets réellement parcourus avec celle des longueurs des trajets simulés par l'algorithme est de 100 mètres. En outre, l'écart-type par rapport à cette moyenne est de 110 mètres, ce qui signifie que la valeur de l'écart entre les trajets effectués et les trajets simulés est dispersée autour de la moyenne. De plus, la longueur métrique de la moitié des trajets effectués est de maximum 35 mètres plus longue que celle des trajets simulés correspondants (les chemins les plus courts) (tableau 17). Tout cela confirme que, à Tours, la distance de la moitié des itinéraires pratiqués correspond à la distance métrique la plus courte entre les origines et les destinations des déplacements. Ainsi, le comportement de la moitié des individus enquêtés est largement conforme au choix rationnel.

La synthèse de notre analyse conduit donc au constat qu'à Ispahan ainsi qu'à Tours, la longueur métrique des itinéraires pratiqués est conforme à celle des chemins les plus courts simulés pour une partie des déplacements enregistrés. Ceci confirme la rationalité de comportements des piétons et révèle la préférence d'une partie des participants pour le choix d'itinéraire le plus court lors de leurs déplacements à pied. Pourtant, les personnes enquêtées à Ispahan se montrent plus rationnelles que celle de Tours, ceci pour deux raisons : premièrement, l'écart entre la longueur des trajets pratiqués et celle des trajets simulés à Ispahan est seulement de 50 mètres, alors que celui-ci est de 100 mètres à Tours. Deuxièmement, 63% des trajets enregistrés sont plus longs de maximum 35 mètres que ceux simulés, contre environ 50 % à Tours (tableau 17).

Précisons par ailleurs que l'observation des tracés des trajets simulés sur la carte de la ville de Tours montre que les segments de rue des trajets prédits ne correspondent pas forcément à ceux parcourus par les participants de notre enquête (figure 96). Ceci met principalement en évidence qu'il est très restrictif d'envisager un seul plus court chemin pour les couples d'origine-destination, notamment dans le contexte de nos terrains où une partie des réseaux de voirie est caractérisé par des rues quadrillés. En effet, l'algorithme de *Dijkstra* appliqué dans « Network Analyst » d'ArcGIS n'est pas en mesure de calculer tous les chemins potentiels correspondant à chaque paire d'OD. Il donne uniquement le résultat d'un seul plus court chemin. S'il existe deux trajets potentiels ayant uniquement 5 mètres écart, l'algorithme de *Dijkstra* prend uniquement en compte celui qui est le plus court.

Quoi qu'il en soit, ces résultats mettent en évidence que le choix du trajet le plus court n'est pas le premier critère de tous les piétons. C'est pourquoi, afin de déterminer les autres facteurs déterminant les préférences des piétons en matière de choix d'itinéraire, nous proposons d'étudier les autres particularités des trajets recueillis. De plus, l'approche du choix rationnel est limitée par le fait qu'elle repose sur la dimension géométrique. De cette façon, elle sous-estime l'importance de la dimension fonctionnelle des rues. Elle néglige la pertinence de la forme et de la configuration du réseau de voirie ainsi que l'importance de la distance topologique. Ces limites signifient donc que d'autres mesures doivent être utilisées afin de comprendre pleinement l'interaction entre le comportement des piétons et l'espace urbain. C'est pourquoi nous proposons maintenant d'évaluer les différentes caractéristiques des segments de rues pratiqués.

Différence de la longueur des trajets effectués et simulés par l'algorithme de *Dijkstra* (les chemins les plus courts)	Ispahan %	Tours %
(0,35]	63	49
(35,50]	4	21
(50, 100]	13	31
(100,…]	20	0

Tableau 17. Différence entre les longueurs des trajets effectués et celles simulées par l'algorithme de *Dijkstra*



Figure 96. Superposition des tracés des trajets pratiqués avec celles des trajets simulés (les plus courts chemins) à **Tours**

Cette figure montre qu'une partie des déplacements effectués ne correspond pas aux chemins simulés. En effet, nous observons plusieurs lignes rouges sur cette carte. De plus, en comparant avec la carte équivalente d'Ispahan, nous constatons qu'il y a beaucoup plus de ligne rouges à Tours. Ceci confirme qu'à Tours, les personnes enquêtées ont des comportements de déplacement moins rationnels concernant la longueur de leurs trajets.



Figure 97. Comparaison de quelques trajets (6 trajets) effectués et simulés à **Tours**

Dans cette figure nous distinguons les itinéraires effectués de ceux simulés (les chemins les plus courts), ce qui permet d'observer les tracés et la longueur métrique de chaque trajet.

9-2- Évaluation du niveau d'importance fonctionnelle des tronçons de rues empruntés

Partant d'une approche fonctionnelle, nous prenons en compte un autre aspect objectif du rapport entre le comportement des piétons et l'usage du réseau de voirie. Ainsi, nous intégrons les facteurs fonctionnels du réseau de voirie. Ceci permet de compléter la compréhension qu'apporte l'approche rationnelle et de ne pas limiter l'analyse des itinéraires effectués uniquement aux aspects géométriques du réseau de voirie. L'approche fonctionnelle, telle que nous l'avons appliquée, s'appuie sur une classification classique du réseau de voirie. Celle-ci repose sur le niveau d'importance fonctionnelle des voies dans l'ensemble du réseau de voirie.

Le niveau d'importance fonctionnelle des voies désigne leur niveau d'importance dans l'organisation globale du réseau par rapport aux critères suivants : (1) d'abord leur potentiel à relier les différentes parties de l'espace urbain ; en d'autres termes, la zone géographique qu'ils supportent, allant de l'échelle du quartier jusqu'à l'ensemble de la ville ; (2) ensuite des facteurs tels que la vitesse autorisée des moyens de déplacement ; le volume théorique ou empirique du trafic ; la largeur de la chaussée ; les modes de transport autorisés ; et le nombre de voies de passage pour les voitures sur une rue, etc. Cela implique donc différents types de voies et chaque type dispose d'un aménagement spécifique donnant la priorité à des usagers particuliers en desservant une superficie géographique déterminée. Ainsi, nous évaluons le rapport entre le comportement des piétons en ce qui concerne leur choix d'itinéraire et l'aspect fonctionnel des tronçons de rues empruntés. Dans ce qui suit, nous décrivons plus en détail comment nous avons procédé.

Dans un premier temps, nous avons identifié et quantifié la catégorisation de tous les tronçons de rues du réseau de voirie pour chacun de nos terrains d'étude. Nous avons donc appliqué les données de la hiérarchisation du réseau de voirie qui proviennent de la BD TOPO®[1] concernant Tours et celui de l'Organisation du Transport et de la Mobilité de la

[1] La BD TOPO® (Base de données topographique) contient une description des éléments du paysage sous forme de vecteurs de précision métrique, classés selon une thématique adaptée. Elle constitue la composante topographique du Référentiel à Grande Echelle (RGE®).

https://artificialisation.biodiversitetousvivants.fr/bases-donnees/bd-topo

mairie d'Ispahan. Dans cette classification, les tronçons de rues sont classés selon 5 niveaux[1], en attribuant un chiffre de 1 à 5 à chaque tronçon. Ainsi, la hiérarchisation fonctionnelle des tronçons de rues pour Ispahan ainsi que pour Tours est la suivante :

- le niveau d'importance 1 indique l'importance la plus basse par rapport au reste du réseau. Il comprend toutes les voies locales qui desservent l'intérieur des quartiers et permettent l'accès aux bâtiments ;

- le niveau d'importance 2 est attribué aux voies qui relient les îlots urbains et les voies locales ;

- le niveau d'importance 3 désigne le réseau de voirie inter-quartiers qui distribue le trafic des quartiers entre les voies supérieures et inférieures ;

- le niveau d'importance 4, est attribué aux grands axes et aux artères principales qui connectent les communes ou les arrondissements ;

- le niveau d'importance 5 représente les grandes artères de transit à forte vitesse : les autoroutes, les voies à caractéreristique autoroutières et les routes nationales ; elles relient les régions ;

Dans un deuxième temps, nous avons confronté les trajets enregistrés pendant l'enquête de terrains avec le niveau d'importance fonctionnelle des segments de rues. Ainsi, nous obtenons la moyenne générale du niveau d'importance des voies empruntées pour chaque trajet. Pour plus de précision, nous avons pondéré notre calcul selon la longueur (la portion) des tronçons empruntés. Par exemple, il est possible que durant son trajet, une personne marche une grande partie dans des ruelles et seulement quelques mètres sur une voie principale. Dans ce cas, si nous ne prenons pas en compte la proportion des distances parcourues, la moyenne générale du niveau d'importance des segments de rues empruntés pour ce trajet sera faussement élevée. C'est pour cette raison que nous avons calculé la moyenne du niveau d'importance des trajets à partir de la valeur attribuée à chaque tronçon emprunté, pondérée selon la longueur parcourue sur le tronçon concerné. C'est ainsi que nous avons obtenu la moyenne totale du niveau d'importance pour chaque itinéraire :

> **La valeur moyenne d'importance de chaque trajet** = [somme de (la valeur d'importance accordée à chaque tronçon de rue emprunté × la longueur parcourue sur le tronçon en question)] /la longueur métrique du trajet.

[1] Descriptif du contenu de la BD TOPO®, Version 2, Descriptif de contenu, Institut Géographique National, décembre 2009, www.ign.fr

Le niveau d'importance des tronçons de rues empruntés (enregistrés) à Ispahan

À Ispahan, la valeur moyenne du niveau d'importance des tronçons de rues pris lors de l'ensemble des itinéraires est de 2,86. Comme le montre le tableau 19, la répartition de cette moyenne par rapport à chacun des trajets montre qu'en général : 77 % des itinéraires pratiqués présentent un niveau d'importance de (3 à 5) ; 44 % ont un niveau d'importance de (4,5) ; plus qu'un tiers ont un niveau d'importance de (3 à 4] ; environ 14 % ont un niveau d'importance de (2 à 3] ; et seulement 9 % des itinéraires passent par des ruelles et des voies locales ayant un niveau d'importance inférieur ou égal à « 2 ».

Cela montre qu'à Ispahan, près de la moitié des itinéraires empruntent des voies principales et structurantes du réseau de voirie. Cela va à l'encontre du caractère singulier du réseau de voirie d'Ispahan dans lequel une grande majorité des voies, c'est-à-dire 88 %, sont classées comme « locales » (tableau 18). En effet, il s'agit de voies locales desservant l'intérieur des quartiers, et du réseau des îlots qui ont le niveau d'importance le plus bas dans la hiérarchie du réseau de voirie, c'est-à-dire ceux de niveau « 1 » et de niveau « 2 ». Ceci met en évidence qu'en dépit de la part très élevée des voies locales et des ruelles dans l'ensemble du réseau de voirie d'Ispahan, les individus (91 % des trajets) préfèrent ne pas les emprunter. Ainsi, les participants prennent les segments de rues qui sont plutôt adaptés à la circulation de l'automobile.

Niveau d'importance	**Ispahan**		**Tours**	
	Longueur totale des tronçons de route (km)	%	Longueur totale des tronçons de route (km)	%
Importance 1 (voies locales)	4990	**84**	950	**73**
Importance 2 (voies secondaires de collecte de trafic)	265	**4**	154	**12**
Importance 3 (voies primaires inter-quartiers)	273	**5**	87	**7**
Importance 4 (grands axes)	311	**5**	87	**7**
Importance 5 (réseaux rapides)	128	**2**	30	**2**
Total (en km)	5967	100	1309	100

Tableau 18. Part et longueur des différents niveaux d'importance des voies dans les réseaux de voirie d'Ispahan et de Tours
Source : calculs à partir des données de la BD TOPO® pour Tours et de l'Organisation du Transport et de la Mobilité de la Mairie d'Ispahan pour Ispahan

Le niveau d'importance des tronçons de rues empruntés (enregistrés) à Tours

À Tours, une grande part des tronçons de rues (73 %) qui sont classés comme locaux, ont le niveau d'importance le plus bas dans la hiérarchie du réseau de voirie (tableau 18). La moyenne du niveau d'importance des tronçons de rues pris pendant le trajet (pondérée par rapport à leur longueur) est de 1,58 (tableau 20). Plus précisément, la grande majorité des itinéraires (78 %) passent par des tronçons de route ayant un niveau d'importance inférieur ou égal à 2 (tableau 19). L'écart-type obtenu par rapport à la moyenne est de 0,55, ce qui confirme une forte concentration de tous les itinéraires autour de la moyenne générale. En effet, seulement 21 % des itinéraires empruntent des rues de niveau d'importance de 2 à 3 et uniquement 1 % des trajets parcourent des rues de niveau d'importance de 3 à 4. Tout cela montre qu'à Tours, en général, les individus évitent de passer par les rues principales et qu'ils prennent donc des rues locales desservant l'intérieur des quartiers et le réseau des îlots ou le réseau de collecte.

Intervalle d'importance des tronçons de voies	Moyenne générale du niveau d'importance des tronçons de rues empruntés	
	Tours	**Ispahan**
[1]	15 %	1 %
(1,2]	63 %	8 %
(2,3]	21 %	14 %
(3,4]	1 %	33 %
(4,5]	0 %	44 %

Tableau 19. Répartition de la moyenne générale du niveau d'importance des tronçons de rues empruntés à Ispahan et à Tours

Moyenne du niveau d'importance des itinéraires enregistrés		
	Tours	**Ispahan**
Moyenne	1,58	2,86
Écart-type	0,55	1,04

Tableau 20. Moyenne générale du niveau d'importance des tronçons de rues empruntés pour tous les trajets effectués à Tours et à Ispahan

Comparaison des analyses de niveau d'importance des tronçons de rues empruntés

Notre analyse montre qu'à Ispahan la moyenne générale du niveau d'importance des tronçons de rues parcourus est beaucoup plus élevée qu'à Tours (respectivement 2,86 contre 1,58) (tableau 20). Nous dressons ce constat malgré la part plus élevée des voiries locales à Ispahan qu'à Tours (tableau 18). Ainsi, ceci met en évidence qu'à Ispahan, contrairement à Tours, les piétons ont plutôt tendance à emprunter des voies ayant un niveau d'importance plus élevé lors de leurs trajets pédestres, autrement dit, les voies où les voitures ont souvent la priorité. Plusieurs raisons peuvent expliquer cela.

(1) La morphologie particulière d'Ispahan, dans une grande partie des quartiers centraux (figure 98 et 99), mène à une répartition non équilibrée de la classification fonctionnelle du réseau de voirie par rapport à Tours. En effet, nous avons constaté dans le chapitre VI que le réseau de voirie d'Ispahan est caractérisé par des voies locales et des ruelles majoritairement organiques à l'intérieur des quartiers. Ces quartiers sont entourés et reliés par des artères principales possédant un niveau d'importance élevé. En outre, à Ispahan, les artères principales sont majoritairement bordées d'activités variées, notamment par des commerces, alors que les voies locales desservent exclusivement des activités résidentielles situées à l'intérieur des quartiers. Ainsi, la concentration des activités le long de ces voies suscite la coprésence des autres personnes ainsi que la diversité au niveau des façades. À l'opposé, les voies locales desservent des quartiers monofonctionnels résidentiels et ne produisent pas cette qualité sociale.

(2) Par contre, à Tours, où les trajets enregistrés passent majoritairement par les quartiers centraux, la morphologie du réseau présente une structuration fonctionnelle plus équilibrée du réseau de voirie. C'est-à-dire dans cette partie l'écart entre les voies en matière de hiérarchisation fonctionnelle est moins important. En effet, dans l'ensemble de la partie centrale de Tours (figure 101), il y a uniquement deux catégories de niveau d'importance des voies. Cela implique que la différence du niveau d'importance des tronçons de rue n'est pas très élevée dans cette zone. Cela influence également la localisation des activités urbaines. Nous constatons ainsi une répartition plus homogène et équilibrée des occupations du sol le long des voies. Par conséquent, le positionnement du commerce est différent à Tours qu'à Ispahan : à Ispahan, il est dans les grandes avenues ; à Tours, il est dans les grandes avenues ainsi que dans les petites rues. De ce fait, le réseau de voirie locale de Tours, qui offre structurellement des possibilités de déplacement à l'intérieur des quartiers (ayant un niveau d'importance 1 et 2), est davantage emprunté que les grands axes et les artères principales.

(3) Le fonctionnement du système de transport semi-collectif à Ispahan, assuré par les taxis collectifs (et bon marché), est une autre particularité d'Ispahan. En effet, comme nous l'avons expliqué dans le chapitre VI, à Ispahan, les taxis collectifs ne passent pas par les voies locales et à l'intérieur des quartiers. Ils circulent majoritairement sur le réseau de voirie, en passant par des voies de niveau d'importance 3 (les rues qui relient les quartiers), où ils ont plus de chance de trouver leur clientèle de manière aléatoire. Ils permettent ainsi un déplacement plus rapide que les autres modes de transport en commun et même parfois que les voitures particulières, notamment pour aller au centre-ville. Ainsi, ceci peut être l'une des raisons pour lesquelles certaines personnes passent par les voies principales : les opportunités sont plus nombreuses pour changer de mode de déplacement afin de joindre la destination finale. De ce fait, pour ces personnes, la marche est un mode de déplacement intermédiaire qui complète leurs chaînes de déplacement, leur permettant de joindre les arrêts de transport en commun (bus, métro).

(4) La qualité de l'aménagement urbain peut être envisagée comme un autre élément décourageant le passage par les voies locales. En effet, nous estimons qu'à Tours, la qualité de l'aménagement urbain des voies locales est souvent meilleure que celle d'Ispahan, où l'accent est plutôt mis sur les voies principales et les artères. Par exemple, à Ispahan, comme les voies locales sont très étroites, l'aménagement d'une grande partie des ruelles est dédié à faciliter la circulation de la voiture, tout en consacrant toute la largeur des voies aux voitures, sans distinguer la limite du trottoir et sans adapter le pavé du sol à la marche. À l'opposé, les voies plus larges ont un niveau d'importance fonctionnelle plus élevé. Leurs trottoirs sont bien distincts de la chaussée. Elles sont plantées (notamment d'arbres) et la qualité du revêtement du sol est, dans une grande majorité des cas, satisfaisante.

(5) Enfin, il est possible que les critères de la classification des voies soient un peu différents à Tours par rapport à Ispahan, au regard de la taille de la ville et des normes appliquées par les sources que nous avons utilisées.

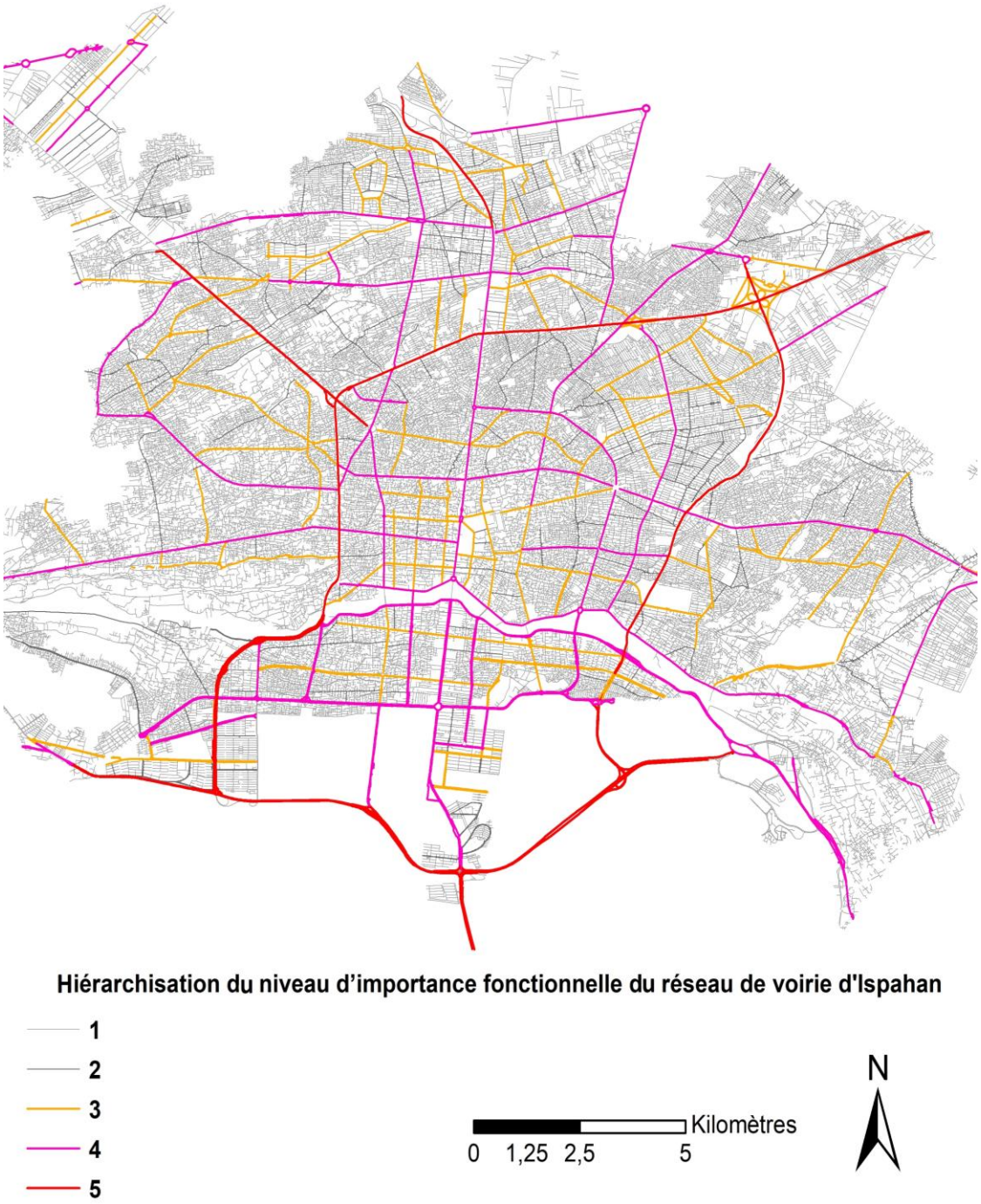

Figure 98. Hiérarchisation du réseau de voirie d'**Ispahan** selon le niveau d'importance fonctionnelle des voies.

Source : à partir des données de l'Organisation du Transport et de la Mobilité de la mairie d'Ispahan

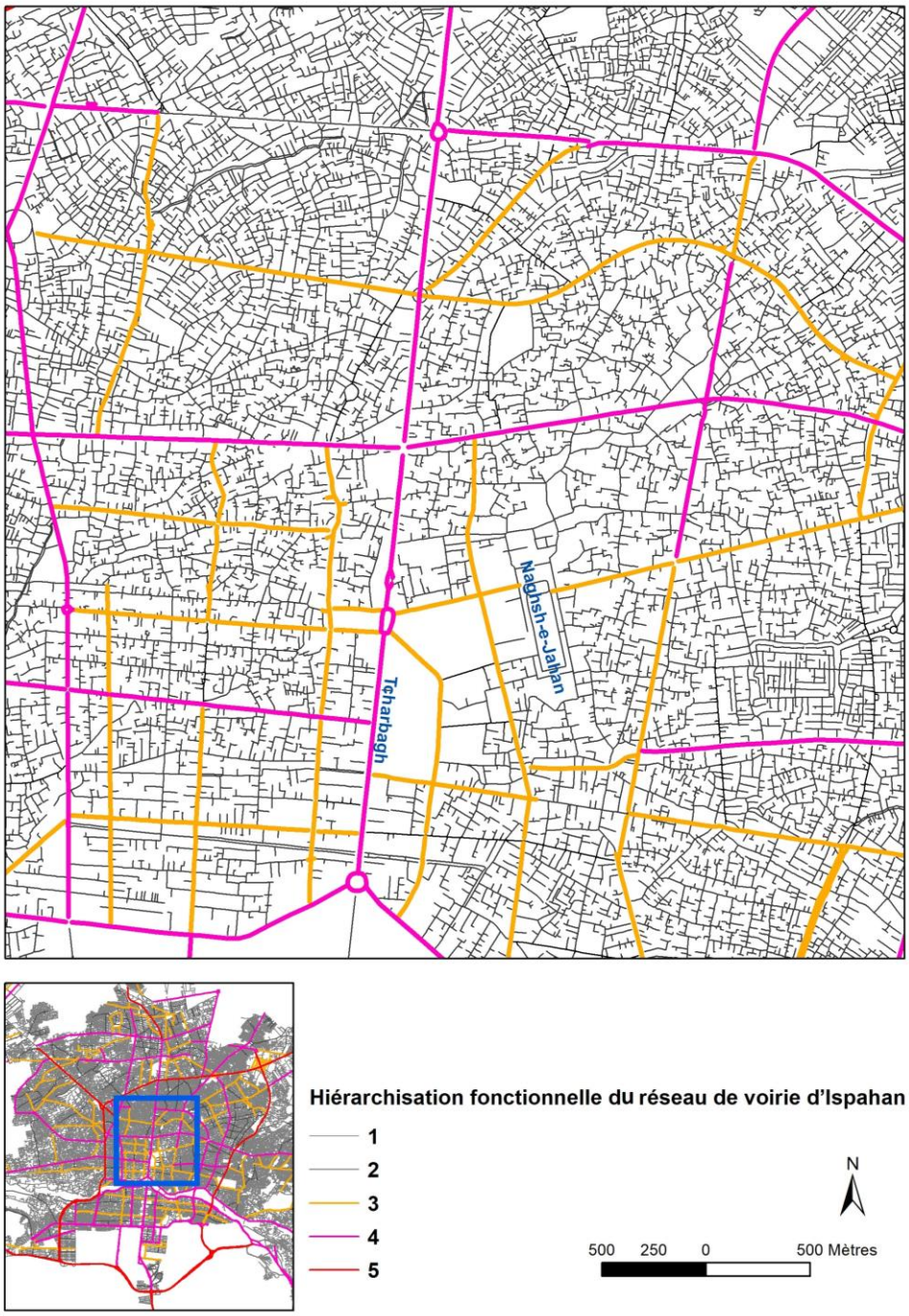

Figure 99. Hiérarchisation fonctionnelle du réseau de voirie de la partie centrale d'**Ispahan**, dans laquelle passe une grande part des trajets effectués passent

Les tissus urbains de toute la partie centrale de la ville sont caractérisés par des voies locales majoritairement organiques et irrégulières à l'intérieur des quartiers et par le passage d'artères principales possédant un niveau d'importance élevé (3 et 4).

Source : à partir des données de l'Organisation du Transport et de la Mobilité de la mairie d'Ispahan

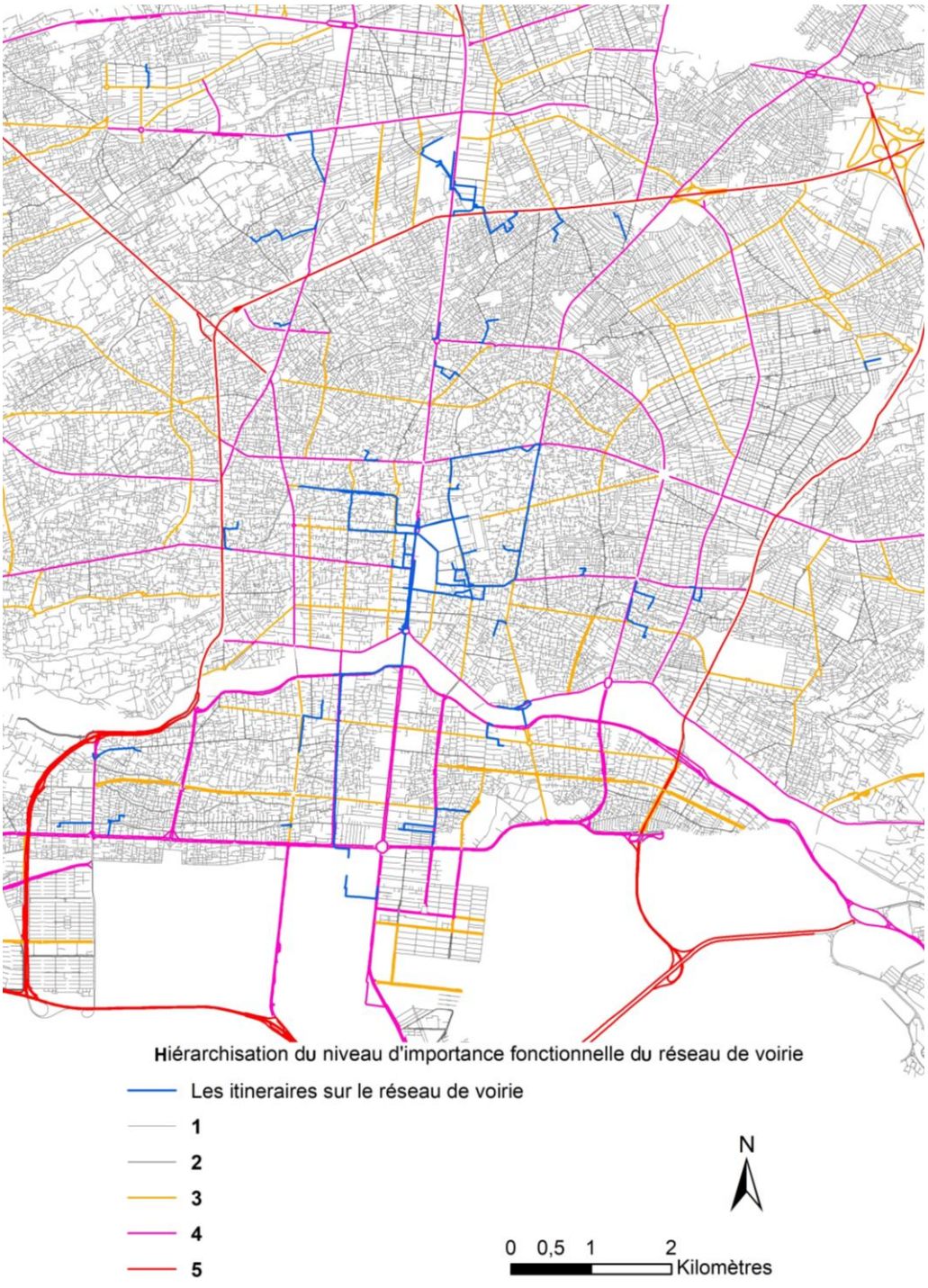

Figure 100. Tracés des trajets effectués par les participants ispahanais sur la carte de la hiérarchisation fonctionnelle du réseau de voirie

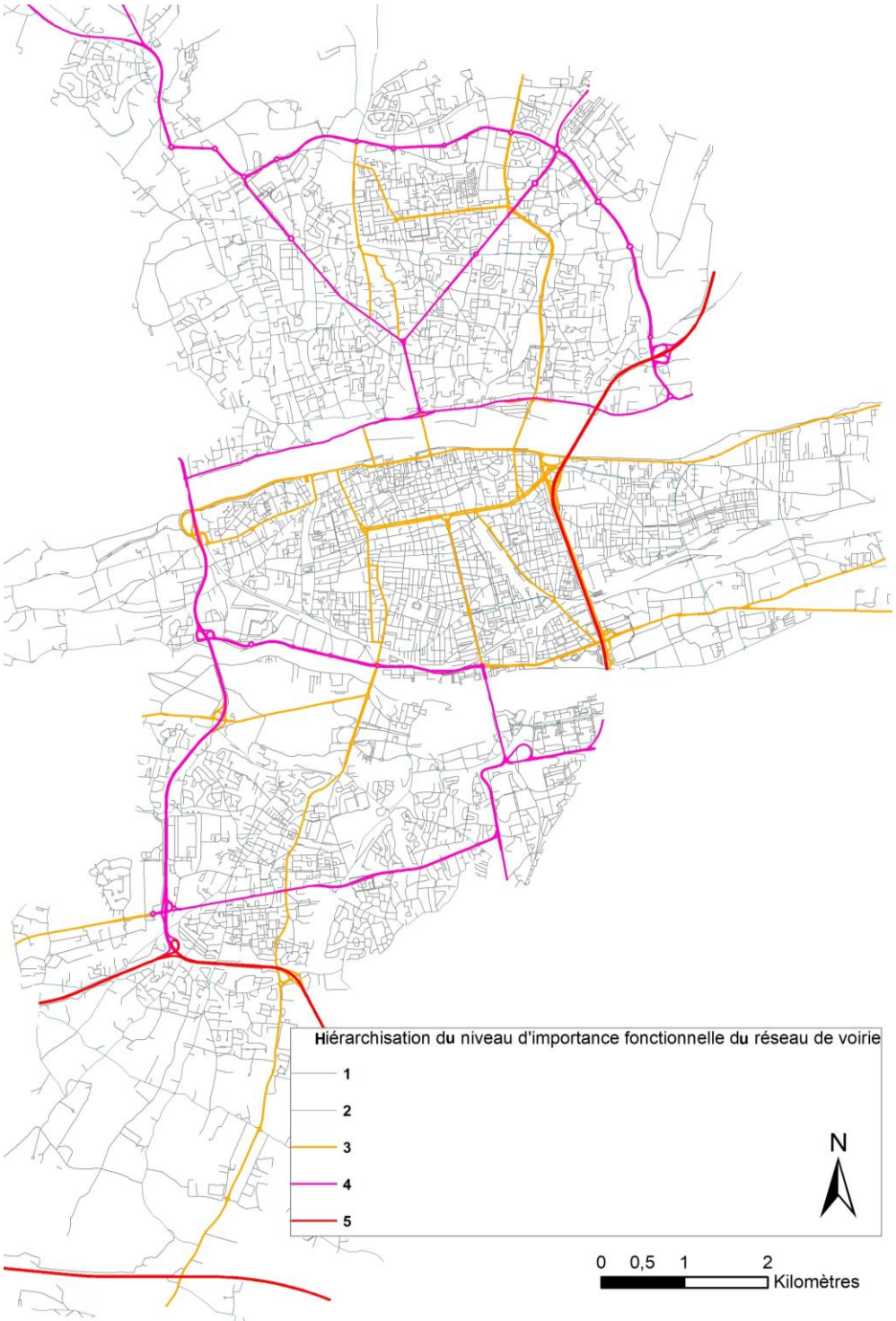

Figure 101. Hiérarchisation du réseau de voirie de **Tours** selon le niveau d'importance fonctionnelle des voies
Source : à partir des données de la BD TOPO®

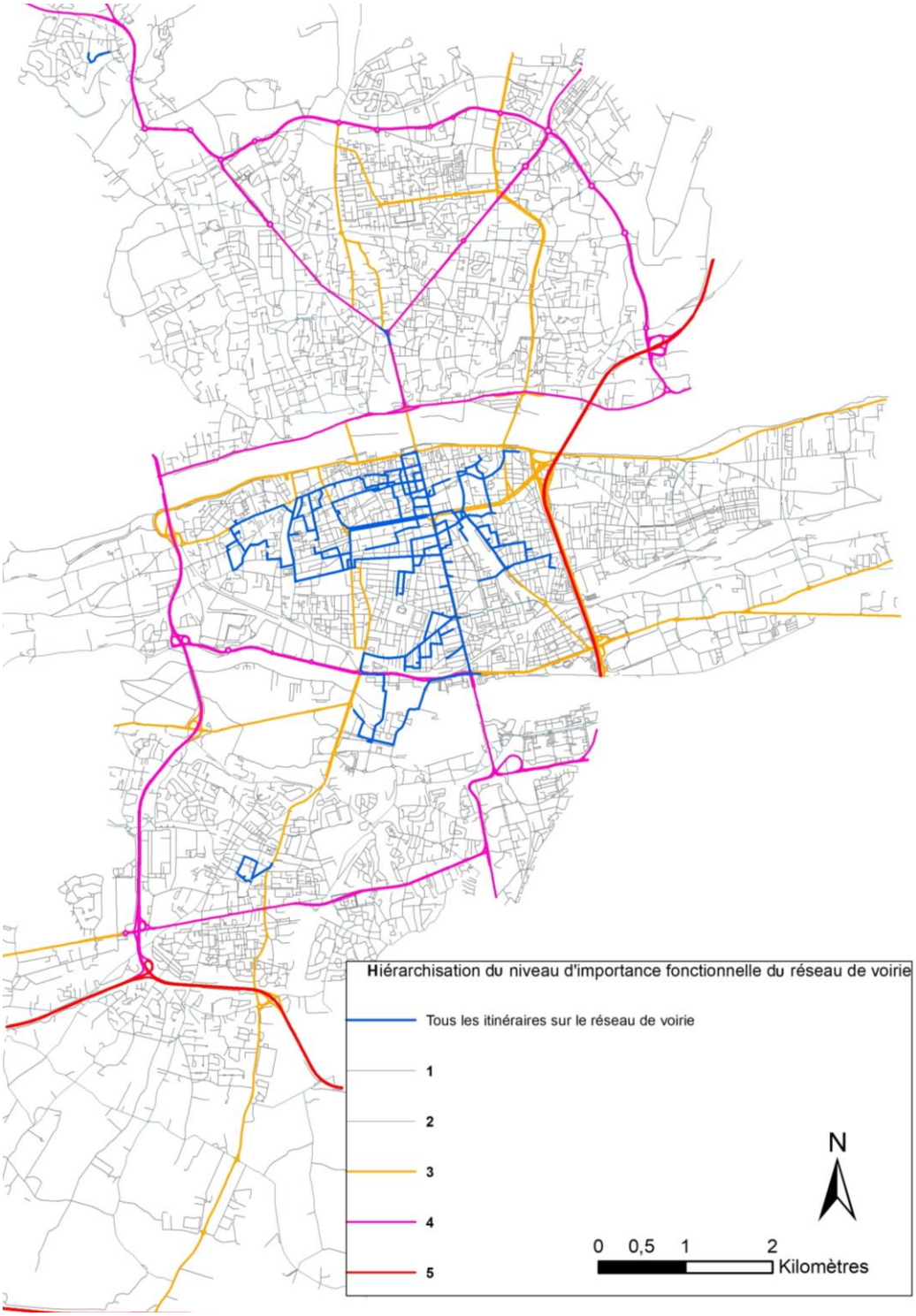

Figure 102. Tracés des trajets effectués par les participants de **Tours** sur la carte de la hiérarchisation fonctionnelle du réseau de voirie

9-3- Confrontation des données théoriques et empiriques : évaluation des attributs topologiques des segments de rue empruntés

Dans cette partie, nous analysons le comportement des piétons en lien avec **l'aspect structurel** du réseau de voirie. Nous avons donc intégré les facteurs structurels du réseau de voirie tels qu'ils sont calculés par la Syntaxe spatiale pour analyser les trajets recueillis durant l'enquête par les traceurs GPS. Ainsi, nous analysons de manière détaillée les mesures quantitatives topologiques des lignes axiales parcourues lors des trajets à pied de nos participants[1]. Nous confrontons donc nos données empiriques (les itinéraires collectés via GPS[2]) avec notre base de données théoriques (les résultats d'analyse du réseau de voirie à partir de la théorie de la Syntaxe spatiale). Ceci permet d'évaluer la sensibilité des piétons aux spécificités configurationnelles du réseau de voirie lors de leur choix d'itinéraire. Cette analyse met également en avant si les **préférences théoriques** des piétons simulées par la Syntaxe spatiale sont conformes aux **préférences révélées** des trajets réellement effectués.

Cependant, comme nous l'avons expliqué précédemment, les travaux[3] s'appuyant sur la Syntaxe spatiale ont en général tendance à modéliser le comportement des flux de piétons de manière agrégée (macroscopique). Ceci permet de prédire les segments de rues qui ont le potentiel pour être parcourus par les flux de piétons. En ce qui concerne notre recherche, elle interroge l'évaluation de la convergence entre la perception de la configuration de la structure spatiale et le choix d'itinéraire pédestre au niveau individuel (désagrégé). C'est la raison pour laquelle nous cherchons à déterminer les attributs topologiques des segments de rue empruntés pour chaque itinéraire enregistré de manière désagrégée. Ainsi, dans un premier temps, nous superposons les itinéraires effectués sur la carte axiale afin de calculer le taux d'intégration et les profondeurs spatiales globale (R_n), intermédiaire (R_r) et locale (R_3) des tronçons de rues pratiqués. Dans un deuxième temps, et dans le but d'avoir des résultats les plus précis possible, nous pondérons la valeur attribuée à chaque tronçon[4] emprunté de la carte axiale par rapport à la longueur (la portion) parcourue sur ce dernier. Nous avons donc

[1] Nous avons décrit auparavant (chapitre IV) que ces mesures reposent sur la perception des piétons de la structure de l'espace.

[2] Décrit dans le chapitre VII.

[3] Hillier et Hanson (1984), Genre-Grandpierre (2001), Genre-Grandpierre et Foltête (2003), Lagesse et *al.* (2010), Lerman et *al.* (2014) et Koohsari et *al.* (2014) confirment que la configuration du réseau de voirie détermine en grande partie la répartition des flux de piétons dans celui-ci.

[4] Un tronçon est la portion de ligne de vue (axiale) empruntée sur la carte axiale.

calculé la valeur d'intégration spatiale de chaque trajet (aux échelles globale, intermédiaire et locale) de la façon suivante :

> **La valeur d'intégration spatiale des tronçons de rues empruntées pour chaque trajet** = [somme de (la valeur d'intégration spatiale attribuée à chaque tronçon emprunté de la carte axiale × la longueur parcourue sur chaque tronçon)] /la longueur totale du trajet

Cela permet d'obtenir la moyenne générale des mesures syntaxiques pour chaque itinéraire et ce, de manière pondérée par rapport à leur longueur. Nous calculons également la moyenne générale de ces mesures pour l'ensemble des itinéraires effectués sur chacun de nos terrains d'étude.

Enfin, nous calculons également la distance topologique des trajets. Précisons que la distance topologique correspond au nombre de lignes axiales (lignes de vues) perçues, en d'autres termes, le nombre de changements de direction pendant le trajet. Ainsi, nous mesurons d'une part la distance topologique des itinéraires réellement pratiqués et, d'autre part, celle des itinéraires théoriques les plus court (simulée par l'algorithme de *Dijkstra*). Ensuite, nous les confrontons, afin d'évaluer la sensibilité des piétons à la longueur topologique des trajets.

9-3-1- Le niveau d'intégration et le profondeur spatiale des tronçons de rue empruntés à Ispahan

Après avoir effectué les étapes précédentes, nous avons obtenu 1.34 comme moyenne générale du niveau d'intégration spatiale globale (R_n) pour l'ensemble des itinéraires effectués à Ispahan. Bien évidemment, cette moyenne ne correspond pas à celle de chaque piéton puisque celle-ci dépendant des choix et des pratiques individuels. L'écart-type est de 0,18, ce qui est très faible par rapport à la moyenne générale (tableau 21). Cet écart-type met en avant une concentration très forte de la valeur d'intégration spatiale globale (R_n) de tous les itinéraires autour de la moyenne obtenue. Ainsi, l'intégration spatiale de 68 % des segments de rues empruntés se trouve dans l'intervalle de 1,16 à 1,52. Nous avons vu, dans la sous-section 8-1-1, que la moyenne de cette mesure pour l'ensemble du réseau de voirie est de 0,87. Dès lors, en moyenne, les tronçons de rues pratiqués ont une intégration spatiale globale qui est plus élevée d'environ 150 % par rapport à celle du réseau de voirie. De plus, la profondeur spatiale globale (R_n) moyenne, en d'autres termes la distance topologique

moyenne des tronçons de rues empruntés, est de 11, alors que celle concernant l'ensemble du réseau est de 17. Quant au niveau d'intégration spatiale intermédiaire (R_r), sa moyenne générale pour les segments de rues empruntés est de 2 (avec un écart-type de 0,28[1]), alors que cette valeur pour l'ensemble du réseau de voirie est de 1,25. En ce qui concerne le niveau d'intégration spatiale locale (R_3), la moyenne totale de tous les itinéraires est de 4, tandis que la moyenne du niveau d'intégration spatiale locale (R_3) du réseau de voirie est de 1,55. Sachant que l'écart-type est de 1,05, cela confirme la concentration relativement élevée de la mesure d'intégration spatiale locale de tous les itinéraires par rapport à la moyenne. Il en va de même pour la distance topologique (la profondeur spatiale) moyenne des tronçons de rues empruntés. En effet, aux niveaux général, intermédiaire et local, ces derniers sont bien inférieurs à ceux de l'ensemble du réseau. De plus, les écarts-types obtenus pour ces valeurs étant très bas, cela confirme l'homogénéité relativement forte des moyennes obtenues pour l'ensemble des trajets pratiqués.

De plus, à Ispahan, nous ne constatons aucune préférence pour des itinéraires qui empruntent des axes dont l'intégration spatiale est plus faible par rapport à celle des lignes avoisinantes, sauf si l'origine ou la destination de la personne est à l'intérieur d'un quartier et sur un axe moins intégré.

Ces confrontations mettent en évidence que les individus prennent des segments de rues ayant un niveau d'intégration spatiale supérieur par rapport à la moyenne générale du réseau de voirie d'Ispahan (tableau 21). Ces résultats confirment donc la corrélation entre l'orientation des piétons au niveau individuel dans l'espace urbain et la configuration du réseau de voirie d'Ispahan. En effet, les piétons parcourent majoritairement les segments de rues qui correspondent aux lignes (topologiquement) centrales constituant les axes structurants de la configuration du réseau de voirie. Dans le chapitre VI, sous-section 4-3-4-2, nous avons expliqué que ces lignes sont situées à une distance topologique plus proche de l'ensemble des autres segments de rues du réseau. Ceci contribue à une meilleure position stratégique de ces tronçons par rapport aux autres. Comme le soulignent Hillier et *al*. (1993), Baran et *al*. (2008), Hillier (2009) et Koohsari et *al*. (2014), ces axes sont relativement facilement accessibles depuis les autres rues. Leur degré d'accessibilité spatiale est donc plus élevé.

[1] Ceci montre qu'il y a une concentration très élevée de cette mesure autour de la valeur moyenne obtenue pour l'ensemble des itinéraires pratiqués.

Mesures syntaxiques à **Ispahan**	Moyenne générale pour les tronçons de rues empruntés (**trajets**)				Moyenne pour le **réseau** de voirie
	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum	
Intégration globale (R_n)	**1,34**	0,18	0,78	1,6	**0,87**
Intégration intermédiaire (R_r)	**2**	0,28	1,05	2,4	**1,25**
Intégration locale (R_3)	**4**	1,05	1,9	5,5	**1,55**
Profondeur globale (R_n)	**11**	1,6	9,3	18	**17**
Profondeur intermédiaire (R_r)	**7**	0,5	6	8	**7,6**
Profondeur locale (R_3)	**2,7**	0,07	2,3	2,8	**2,5**

Tableau 21. Comparaison des mesures syntaxiques des tronçons de rues empruntés (itinéraires enregistrés) avec ceux du réseau de voirie d'**Ispahan**

Nous constatons que pour toutes les mesures évoquées dans ce tableau, la moyenne générale de l'ensemble des trajets pratiqués est supérieure à la valeur moyenne et qu'elle est même proche de la valeur maximale.

9-3-2- Le niveau d'intégration et la profondeur spatiale des tronçons de rue empruntés à Tours

Concernant le niveau d'intégration spatiale globale (R_n) des segments de rues empruntés à Tours, sa moyenne générale est de 0.82 (avec un écart-type de 0,09[1]) (tableau 22). Ainsi, l'intégration spatiale globale de 68 % des trajets se trouvent dans l'intervalle de 0,73 à 0,91. Par ailleurs, la moyenne générale de cette mesure pour l'ensemble du réseau de voirie est de 0,56. Nous pouvons donc déduire que de façon similaire à Ispahan, l'intégration spatiale globale des tronçons de rue choisis lors des déplacements à pied est en moyenne plus élevée d'environ 150 % par rapport à celle du réseau de voirie. Concernant le niveau d'intégration spatiale au niveau intermédiaire (R_r), la moyenne générale pour tous les itinéraires est de 1,3 (et l'écart-type est de 0,15[2]) alors que la moyenne générale de cette mesure pour le réseau de voirie est de 0,88. En ce qui concerne le niveau d'intégration spatiale locale (R_3), la moyenne totale de tous les tronçons de rues empruntés est de 3 (son écart-type est de 0,7[3]), alors qu'en moyenne, le niveau d'intégration spatiale locale (R_3) du réseau de voirie est seulement de 1,46. De la même manière, ces résultats sont également valides pour la comparaison de la

[1] Comme cet écart-type est très faible par rapport à la valeur moyenne, ceci montre qu'il y a une concentration fortement élevée de tous les itinéraires autour de la valeur moyenne.

[2] Ce constat est le même que le précédent.

[3] Ce constat est le même que le précédent.

profondeur spatiale moyenne des tronçons de rues empruntés (aux niveaux global, intermédiaire et local) avec celle de l'ensemble du réseau de voirie. En effet, les mesures de ces trajets s'avèrent être inférieures à celles de l'ensemble du réseau. (Nous avons abordé les causes possibles plus haut). Par exemple, la profondeur spatiale globale (R_n) des tronçons de rues pris lors des trajets est en moyenne de 14, alors que celle-ci est de 20 pour l'ensemble du réseau. De plus, les écarts-types obtenus pour ces valeurs confirment l'homogénéité relativement élevée des moyennes obtenues pour l'ensemble des trajets.

Ces résultats révèlent la préférence des participants de notre enquête (sur nos deux terrains d'études) pour les déplacements sur les axes les mieux reliés à l'ensemble du réseau (tableau 23). En effet, comme ces tronçons de rues sont topologiquement plus proches de l'ensemble du réseau, ils exigent de passer par un nombre moins important de rues intermédiaires. Ils sont donc comparativement plus facilement accessibles depuis les autres rues. Dès lors, les piétons choisissent consciemment ou inconsciemment leur chemin selon le niveau d'importance structurelle des tronçons dans la configuration spatiale du réseau. Ainsi, ces résultats mettent en avant l'importance de la configuration du réseau de voirie dans le choix des trajets des piétons. Plus particulièrement, le niveau d'intégration spatiale des segments de rues s'avère être un facteur qui peut influencer le comportement des piétons et contribuer à leur orientation dans l'espace urbain.

Mesures syntaxiques de **Tours**	Moyenne générale pour les tronçons de rues empruntés (**trajets**)				Moyenne pour le **réseau** de voirie
	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum	
Intégration globale (R_n)	**0,82**	0,09	0,4	0,94	**0,56**
Intégration intermédiaire (R_r)	**1,3**	0,15	0,86	1,53	**0,88**
Intégration locale (R_3)	**3**	0,7	1,5	4,5	**1,46**
Profondeur globale (R_n)	**14**	2	12	26	**20**
Profondeur intermédiaire (R_r)	**8**	0,57	7	9	**9,3**
Profondeur locale (R_3)	**2,6**	0,07	2,5	2,8	**2,3**

Tableau 22. Comparaison des mesures syntaxiques des tronçons de rues empruntés (itinéraires enregistrés) avec ceux du réseau de voirie à **Tours**

Nous constatons que pour toutes les mesures évoquées dans ce tableau, la moyenne générale de l'ensemble des trajets pratiqués est supérieure à la valeur moyenne et qu'elle est même proche de la valeur maximale.

Mesures syntaxiques des tronçons de rues empruntés	**Ispahan**	**Tours**
Intégration spatiale globale (R_n)	1,34	0,82
Intégration spatiale intermédiaire (R_r)	2	1,3
Intégration spatiale locale (R_3)	4	3
Profondeur spatiale globale (R_n)	11	14
Profondeur spatiale intermédiaire (R_r)	7	8
Profondeur spatiale locale (R_3)	2,7	2,6

Tableau 23. Comparaison des mesures syntaxiques des tronçons de rues empruntés (itinéraires enregistrés) à **Ispahan** et à **Tours**

Les valeurs d'intégration spatiale des tronçons de rues empruntés à Ispahan sont plus elevées que ceux de Tours.

9-3-3- Niveau d'intégration et profondeur spatiale des itinéraires par rapport à celui des quartiers/IRIS traversés

Dans ce qui précède, nous avons comparé les valeurs moyennes des niveaux d'intégration et de profondeur spatiale des segments de rue empruntés, avec celles de l'ensemble du réseau de voirie pour chacun de nos deux terrains. Nous avons ainsi évalué les comportements des piétons et leurs préférences en ce qui concerne les caractéristiques structurelles des trajets en comparaison avec celles de l'ensemble du réseau de voirie. Pour aller plus loin, nous souhaitons également comparer les moyennes des mesures topologiques des trajets à celles

des tronçons de rues disponibles dans leur environnement immédiat. Ainsi, pour obtenir une évaluation plus rigoureuse, nous avons comparé les caractéristiques topologiques et structurelles (le taux d'intégration et la profondeur spatiale) des tronçons de rues empruntés avec ceux des quartiers/IRIS traversés lors des trajets. Comme pour l'analyse précédente, nous avons pondéré ces moyennes générales selon la longueur métrique des trajets.

À **Ispahan**, nous constatons qu'en moyenne, les individus choisissent les tronçons de rues les plus intégrés des quartiers traversés, entre les origines et les destinations de leurs déplacements. Le tableau ci-dessous confirme ces résultats. Ainsi, nous constatons que les valeurs moyennes de la mesure d'intégration spatiale (aux niveaux global, intermédiaire et local) des segments de rues empruntés sont nettement supérieures à celles des quartiers traversés. Cela révèle que pendant les trajets, les individus choisissent (consciemment ou inconsciemment) les tronçons de rues les plus intégrés de leur environnement immédiat parmi un ensemble d'alternatives potentielles. Nous pouvons également insister sur ce résultat par un autre constat : le tableau 24 révèle que les valeurs moyennes des taux de profondeur spatiale (globale, intermédiaire et locale) des rues parcourues sont bien inférieures à celles des quartiers traversés. Ainsi, pendant les déplacements à pied, les participants prennent consciemment ou inconsciemment les tronçons de rues les moins profondes, qui sont donc topologiquement plus accessibles par rapport aux autres rues de ces quartiers.

Mesures syntaxiques	Moyenne générale	
	Tronçons de rues empruntés (les **trajets**)	Quartiers traversés
Intégration spatiale globale (R_n)	1,34	1,07
Intégration spatiale intermédiaire (R_r)	2	1,88
Intégration spatiale locale (R_3)	4	1,55
Profondeur spatiale globale (R_n)	11	14
Profondeur spatiale intermédiaire (R_r)	7	7,8
Profondeur spatiale locale (R_3)	2,7	2,9

Tableau 24. Comparaison des mesures syntaxiques des tronçons de rues empruntés (itinéraires enregistrés) avec ceux des quartiers traversés pendant les déplacements à pied à **Ispahan**

Les piétons passent par les axes les plus structurants et les moins profonds des quartiers traversés.

À **Tours**, comme le montrent les résultats de nos analyses présentés ci-dessous dans le tableau 25, les valeurs moyennes d'intégration spatiale (globale, moyenne et locale) des itinéraires effectués sont plus élevées que celles des IRIS traversés. Ceci prouve qu'en

moyenne, parmi un ensemble de choix potentiels disponibles, les participants choisissent (consciemment ou inconsciemment) les tronçons de rues les plus intégrés de leur environnement immédiat. Ceci est d'autant plus vrai que nous remarquons également dans le tableau 25 qu'en moyenne, les profondeurs spatiales (globale, moyenne et locale) des segments de rues empruntés sont considérablement inférieures à celles des IRIS traversés.

Ceci confirme que, tout comme à Ispahan, les participants de notre enquête à Tours choisissent consciemment ou inconsciemment davantage les tronçons de rues les plus intégrés de leur environnement immédiat. De même, il nous semble qu'ils évitent de passer par les tronçons de rues très profonds se situant à une distance topologique plus longue de l'ensemble du réseau. Rappelons brièvement que ces derniers sont moins accessibles et qu'ils nécessitent plus de changements de direction lors du trajet. Ainsi, nous supposons que l'intégration spatiale des tronçons de rues fait partie des déterminants des choix d'itinéraire lors des déplacements pédestres. Nous sommes donc d'avis que les voies qui sont reliées à un plus grand nombre de rues sont plus parcourues par les piétons. Ainsi, il ressort de ces résultats que des caractéristiques configurationnelles des segments de rues contribuent au processus d'orientation des piétons et à leur prise de décision du choix d'itinéraire.

Mesures syntaxiques	Moyenne générale	
	Tronçons de rues empruntés (les **trajets**)	IRIS traversés
Intégration spatiale globale (R_n)	0,82	0,29
Intégration spatiale intermédiaire (R_r)	1,3	0,98
Intégration spatiale locale (R_3)	3	1,47
Profondeur spatiale globale (R_n)	14	18
Profondeur spatiale intermédiaire (R_r)	8	8,4
Profondeur spatiale locale (R_3)	2,6	3,8

Tableau 25. Comparaison des taux de mesure syntaxique des tronçons de rues empruntés (itinéraires enregistrés) et ceux des quartiers traversés pendant le déplacement à pied à **Tours**

Les piétons passent par les axes les plus structurants et les moins profonds des quartiers traversés.

Les résultats de cette partie de la thèse permettent de conclure que l'aspect structurel du réseau de voirie, plus précisément les attributs topologiques des segments de rues, représentent une partie déterminante des choix d'itinéraire de déplacement pédestre.

9-4- Évaluation de la distance topologique des trajets

Dans le but de ne pas limiter l'analyse de la longueur des itinéraires effectués à la distance métrique, nous avons également pris en considération la distance topologique des trajets. Ceci permet d'évaluer la prise de décision des choix d'itinéraires en tenant compte de la perception de la linéarité et de la visibilité des trajets lors de l'orientation des piétons dans l'espace urbain. Comme nous l'avons décrit dans le chapitre IV (sous-section 4-3-3), la distance topologique constitue le pilier de la théorie de la Syntaxe spatiale pour l'évaluation de la configuration du réseau de voirie et du rapport de chaque segment de rue à l'ensemble du réseau. Cependant, lorsque nous parlons ici de « distance topologique des trajets », il ne s'agit pas de la distance topologique des tronçons de rues empruntés. La distance topologique correspond, en effet, au nombre de changements de direction entre l'origine et la destination des déplacements à pied enregistrés.

Ainsi, nous avons obtenu les distances topologiques des trajets à partir du comptage des changements de direction qui séparent chaque couple d'origine-destination sur la carte axiale de nos terrains d'étude. Dans un premier temps, ceci donne un aperçu de la simplicité ou de la complexité des itinéraires recueillis lors de l'enquête de terrain. Ceci renvoie, selon Lamiquiz et López-Dominguez (2015) et Victor (2016), à la linéarité[1] (rectitude) des trajets. Ainsi, plus les changements de direction sont nombreux, plus l'itinéraire pratiqué est complexe ; il est par conséquent moins rectiligne. Dans un deuxième temps, nous avons également calculé la distance topologique des chemins les plus courts prédits par l'algorithme de *Dijkstra*. Enfin, nous avons comparé la longueur topologique des trajets réellement effectués et celle des chemins les plus courts simulés par l'algorithme.

La moyenne générale de la distance topologique des trajets pratiqués à Ispahan est de 3,5. Ainsi les participants ont opéré en moyenne 3,5 changements de direction lors leurs parcours, alors que cette valeur pour les chemins simulés (les chemins géographiquement plus court) est de 4,5. Ainsi, de manière générale, à Ispahan, la distance topologique des itinéraires réellement pratiqués est plus courte que la distance des trajets métriquement les plus courts disponibles sur le réseau. Pourtant, selon le tableau 27, il s'avère que 22 % des trajets empiriques et théoriques ont la même distance topologique. Par contre, 40 % des trajets pratiqués sont plus simples (topologiquement plus courts). Ceci souligne l'importance que

[1] Straightness

certains piétons accordent consciemment ou inconsciemment à la simplicité et à la linéarité de leurs itinéraires. En revanche, 38 % des trajets sont plus complexes, autrement dit topologiquement plus longs que les trajets simulés par l'algorithme de *Dijkstra* (les trajets métriquement plus courts disponibles sur le réseau).

Quant à Tours, la moyenne de la distance topologique des trajets réellement pratiqués, ainsi que celle des chemins simulés, est d'environ 6 changements de direction. Pourtant, lorsque nous analysons les données de manière plus précise, seulement 29 % des trajets empiriques et théoriques ont la même distance topologique, alors que 29 % des trajets pratiqués sont plus simples (topologiquement plus courts) et que 42 % sont même plus complexes (topologiquement plus longs) par rapport aux trajets simulés[1] (voir tableau 27).

Ainsi, pour les deux terrains d'études, il nous semble difficile de tirer une conclusion générale par rapport aux préférences révélées des piétons en matière de choix d'itinéraires en fonction de la minimisation de l'effort cognitif (longueur topologique) des trajets. En effet, les choix effectués coïncident, mais seulement en partie, avec la distance topologique des trajets. Cependant, comme le montre le tableau 27, il est certain que les trajets ayant des chemins plus complexes (le plus de changements de direction) sont moins nombreux (environ 40 %).

En outre, nous constatons qu'en général, à Tours, la moyenne du nombre de changements de direction lors des trajets est bien supérieure à celle d'Ispahan. Voici les explications que nous avançons.

> Premièrement, cette distance topologique plus élevée des trajets enregistrés à Tours peut se justifier par les caractéristiques fonctionnelles des tronçons de rue pris lors des parcours[2]. Nous avons montré dans le sous-section 9-2 qu'à Tours, les participants passent plutôt par les voies locales du réseau de voirie qui présentent une morphologie plus complexe. Comme expliqué, ceci peut être lié à la distribution du commerce dans le réseau de voirie de Tours. Rappelons que dans le centre-ville de Tours les commerces sont localisés sur les grandes avenues ainsi que dans les petites rues. Cette localisation peut donc contribuer à l'utilisation des voies locales et donc à plus de changements de direction. Au contraire, dans toute la ville d'Ispahan, les commerces sont plutôt localisés sur

[1] Les trajets métriquement plus court disponibles sur le réseau.

[2] Nous avons montré qu'à Tours, la valeur moyenne du niveau d'importance des tronçons de rue pris pendant les trajets est de 1,58, alors qu'elle est de 2,86 d'Ispahan.

les grandes avenues. Ces voies permettent d'accéder aux transport en commun, notamment aux taxis collectifs. C'est une des raisons pour lesquelles les participants ispahanais parcourent plutôt les voies principales du réseau qui ont un niveau d'importance fonctionnelle beaucoup plus élevé au sein du réseau. Ainsi, ils parcourent des trajets plus linéaires et donc moins complexes.

Deuxièmement, (a) d'un côté, le nombre de changements de direction lors des trajets peut être lié aux taux d'intégration spatiale (aux niveaux global, intermédiaire, local) des tronçons de rues empruntés. Nous avons constaté dans la sous-section 9-3 que la moyenne des taux d'intégration spatiale des segments de rues empruntés à Tours est inférieure[1] à celle d'Ispahan. Ceci met en évidence qu'à Ispahan, des tronçons de rues parcourus sont topologiquement moins profonds par rapport à l'ensemble du réseau. Ainsi, en général à Tours, les segments de rues empruntés sont topologiquement plus éloignés de l'ensemble du réseau. (b) D'un autre côté, dans le chapitre précédent nous avons montré que, en général, le taux d'intégration spatiale du réseau de voirie à Ispahan est plus élevé qu'à Tours. Ainsi, nous supposons que le niveau de la linéarité ou de la complexité de l'ensemble du réseau de voirie influence la linéarité ou la complexité des itinéraires à parcourir dans ce réseau.

[1] Rappelons que la moyenne générale des taux d'intégration spatiale globale (R_n), intermédiaire (R_r) et locale (R_3) est respectivement à Ispahan : 0,87 ; 1,25 ; et 1,55, mais à Tours : 0,56 ; 0,88 ; et 1,46.

	Ispahan		Tours	
	Trajets pratiqués	Itinéraires les plus courts simulés	Trajets pratiqués	Itinéraires les plus courts simulés
Moyenne générale	3,5	4,5	6,1	6,1
Écart-type	2,3	4	4,8	4,3

Tableau 26. Longueur topologique (le nombre de changements de direction) des trajets

Confrontations des trajets pratiqués et des trajets simulés	Ispahan		Tours	
	Différence de distance topologique	Part (%)	Différence de distance topologique	Part (%)
Égale	0	22	0	29
Plus simple	-4.7*	40	-4	29
Plus complexe	2,5**	38	3	42

Tableau 27. Confrontations de la longueur topologique des trajets pratiqués et des trajets théoriques (les chemins métriquement les plus courts simulés par l'algorithme de *Dijkstra*)

*C'est-à-dire qu'à Ispahan, pour 40 % des trajets, l'itinéraire effectué est plus simple ; autrement dit, il y a en moyenne 4,7 changements de direction qui sont plus courts que ceux simulés par l'algorithme de *Dijkstra*.

** C'est-à-dire qu'à Ispahan, pour 38 % des trajets, l'itinéraire effectué est plus complexe ; autrement dit, il y a en moyenne 2,5 changements de direction qui sont plus longs que ceux simulés par l'algorithme de *Dijkstra*.

Longueurs	Ispahan		Tours	
	Trajets pratiqués	Itinéraires les plus courts simulés	Trajets pratiqués	Itinéraires les plus courts simulés
Longueur métrique	645	595	940	840
Longueur topologique	3,5	4,5	6,1	6,1

Tableau 28. Valeur moyenne de la longueur métrique et topologique des trajets pratiqués à Ispahan et à Tours

Ceci valide le fait que la topologie influence plus le piéton que la géographie



Figure 103. Comparaison des tracés de quelques (5) trajets réellement effectués et simulations (les chemins les plus courts disponibles) de leurs tracés sur le réseau de voirie à **Ispahan**

Dans cette figure, nous comparons à la fois les **tracés des trajets effectués** et ceux simulés, ainsi que **le nombre de changements de direction** (distance topologique) de chacun. Tous les itinéraires réalisés sont topologiquement plus courts que les trajets simulés.



Figure 104. Comparaison des tracés de quelques (6) trajets réellement effectués et simulation (les chemins les plus courts disponibles) de leurs tracés sur le réseau de voirie à **Tours**

Dans cette figure, nous comparons à la fois les **tracés des trajets effectués** et ceux simulés, ainsi que **le nombre de changements de direction** (distance topologique) de chacun. Les itinéraires réalisés sont parfois topologiquement plus courts que les trajets simulés, et parfois moins courts.

9-5- Analyse des discours : interprétation des préférences déclarées

Dans cette thèse, l'accent est mis sur l'approche méthodologique quantitative et sur l'analyse des préférences révélées des piétons. C'est pour cette raison que, jusqu'à présent, nous avons évalué les critères des piétons en matière de choix d'itinéraire uniquement en fonction de l'observation des comportements des personnes à partir des déplacements pédestres enregistrés par GPS. Ceux-ci ont permis de déterminer les **préférences révélées** des piétons par rapport à un ensemble de facteurs structurels et en fonction du réseau de voirie. Cette perspective qui est conforme à l'approche de l'économiste Samuelson (1938) se limite uniquement à l'observation du comportement des personnes. Cet auteur défend l'idée que, contrairement aux préférences qu'expriment les individus, l'observation des comportements des personnes révèle leurs préférences réelles.

En plus, les modélisations (macroscopiques et microscopiques) de comportements des piétons se limitent à supposer les piétons ont les capacité physiques, mentale et cognitives égale (Perduea, 2019). C'est pourquoi, pour une meilleure prise en compte des comportements décisionnels des personnes lors de l'orientation dans l'espace urbain, nous proposons de les questionner sur leurs préférences. C'est pourquoi nous nous appuyons également sur les méthodes d'enquêtes qualitatives *a posteriori* (des entretiens semi-directifs avec les participants tourangeaux et des questionnaires pour les participants ispahanais)[1] afin d'apporter des éléments de compréhension reposant sur la subjectivité des participants. En effet, nous souhaitons connaître les représentations des piétons concernant leur environnement lorsqu'ils se déplacent, afin de comprendre leurs motivations de choisir un trajet plutôt qu'un autre. Nous avons donc amené les personnes à verbaliser leurs choix. Nous avons ainsi questionné les participants afin d'identifier leurs préférences en matière de critères qu'ils mettent en place, ou bien qu'ils pensent mettre en place, lors de leurs choix d'itinéraires. Ceci permet de saisir les **préférences déclarées** des participants. Ainsi, il est également possible de mettre en lien les préférences révélées des piétons (la dimension comportementale et pratiquée) issues de nos analyses précédentes et les préférences déclarées issues des entretiens semi-directifs.

Ainsi, à partir des réponses des enquêtés nous avons obtenu deux types de résultats. Dans un premier temps, nous avons obtenu des résultats qui permettent de repérer la tendance

[1] Nous avons abordé ces méthodes dans les chapitres IV et VII.

générale des personnes interrogées. Dans un deuxième temps, nous avons obtenu des résultats qui mettent en évidence des cas particuliers et qui nous amènent à nuancer les résultats généraux.

Le choix du trajet le plus court est le premier facteur cité et le plus fréquemment exprimé. Notre enquête éclaire la tendance générale des personnes interrogées à mettre l'accent sur la distance métrique ou temporelle de leurs itinéraires. En effet, pour eux, la distance la plus courte s'exprime sous deux formes : soit la préférence de diminuer le temps de trajet, soit celle de minimiser la longueur métrique du trajet et par conséquent de minimiser son effort physique. Rappelons que nos deux terrains sont plats et que l'effort physique nécessaire pendant la marche y est similaire. La préférence déclarée pour le choix de trajet le plus court peut correspondre à une réelle préoccupation de la distance des trajets, ou simplement de se montrer rationnel aux yeux de l'enquêteur. La confrontation des longueurs métriques des trajets effectués avec celles des trajets simulés les plus courts souligne que les préférences révélées et déclarées des participants sont cohérentes. En effet, rappelons que comme expliqué dans la sous-section 9-1-2 à Ispahan, 63 % des trajets parcourus sont au maximum plus longs de seulement 35 mètres que le chemin le plus court simulé par l'algorithme de *Dijkstra*. À Tours, ceci correspond à 50 % des trajets.

En outre, comme expliqué dans le chapitre II, il est possible que les personnes se trompent et que leurs perceptions des distances soient très approximatives, qu'elles soient parfois surestimées ou sous-estimées. Par exemple, à Tours, deux personnes (étudiants) soulignent qu'elles ont « *beaucoup* » marché le jour de l'enregistrement des trajets par les traceurs GPS, alors que leurs déplacements enregistrés ne confirment pas ce constat : ces deux personnes n'ont marché qu'environ 500 mètres. Une de ces personnes a changé plusieurs fois de ligne de bus en se rendant à l'université depuis son lieu d'habitation, ce qui correspond à son déplacement quotidien. C'est peut-être pour cette raison qu'elle a surestimé son déplacement à pied. L'autre personne, en plus de ses déplacements pédestres quotidiens, a exceptionnellement effectué un déplacement à pied supplémentaire pour se rendre à une administration où elle a passé environ 1 heure. Nous pensons que c'est éventuellement pour cette raison qu'elle a surestimé la longueur de ses trajets de marche à pied. Ceci souligne donc l'importance du rôle de la subjectivité et de la lassitude des personnes dans l'évaluation de leurs déplacements.

En outre, sur les deux terrains (Tours et Ispahan), nous avons constaté une corrélation entre la tendance à choisir le trajet le plus court et le motif de déplacement de la personne. Par

exemple, si elle est pressée ou bien si elle doit se rendre quelque part à un moment précis de la journée, la personne tendra à choisir le trajet le plus court. C'est également le cas si elle estime que les circonstances météorologiques sont défavorables (la pluie à Tours et la chaleur à Ispahan).

Nous avons également remarqué que les personnes qui déclarent que la marche est une habitude sont plus nombreuses à Tours qu'à Ispahan. En effet, une grande majorité des participants ispahanais déclarent la marche comme moyen intermédiaire de déplacement leur permettant de joindre les moyens motorisés de déplacements collectifs et semi-collectifs.

Pourtant, la plupart des individus (notamment à Tours) soulignent que, selon eux, la longueur du trajet n'est pas le critère premier de leur choix d'itinéraire. Ce ne sont donc pas des individus rationnels dont les choix reposent uniquement sur la minimisation de la longueur du trajet. En effet, ces personnes ont souligné que le choix de la marche à pied comme mode de déplacement par rapport aux autres moyens de déplacement renvoie aux bienfaits (physique et moral) de ce mode. C'est la raison pour laquelle ces personnes attribuent une importance plus faible à la distance métrique des trajets. Ainsi, nous supposons que la marche à pied ne se limite pas uniquement à être un mode de déplacement. Pour la plupart des individus, c'est une activité en soi, notamment pour le flâneur ou le promeneur, mais aussi pour ceux qui ont un objectif spatial (une destination) prédéterminé. Plusieurs enquêtés à Ispahan ainsi qu'à Tours décrivent explicitement que la marche est très avantageuse pour la santé physique et mentale. Elles sont contentes de pratiquer la marche à pied, qu'elles aient ou non le choix. Madame F.Y., une enquêtée ispahanaise, décrit que la marche « *permet de faire une activité physique et de perdre du poids* ». Elle regrette que son lieu de travail soit très loin de son lieu d'habitation et ne pas pouvoir aller au travail à pied. Ces révélations sont intéressantes dans la mesure où elles prennent le contre-pied des représentations communes qui insistent beaucoup sur la rationalité des distances métriques des piétons comme facteur central de choix. Ainsi, d'autres éléments interfèrent dans le choix d'itinéraires de ces personnes. Ces éléments peuvent renvoyer aux représentations de la personne et à son rapport à elle-même, à l'espace ou bien aux autres personnes, au-delà des critères purement rationnels des espaces. Ces entretiens mettent en évidence les autres éléments qui déterminent les choix de trajet des piétons interrogés.

La sécurité en lien avec la circulation des voitures

À Ispahan, une autre partie importante des personnes interrogées déclarent choisir leurs trajets pédestres en fonction du volume du trafic motorisé des rues. Elles déclarent chercher à ne pas s'exposer à l'insécurité routière, à la pollution de l'air[1], à la pollution sonore et particulièrement à l'encombrement des rues. À Tours, les participants ne déclarent pas se soucier de la pollution de l'air, mais ils précisent eux aussi l'importance qu'ils accordent à la sécurité routière comme un des critères de choix de trajet. Ainsi, sur nos deux terrains d'études, il y a des représentations mentales socialement partagées, associées aux modes de déplacements motorisés. C'est pour cette raison que les grandes artères ne sont pas forcément connotées positivement en matière de sécurité des piétons et de pollution (de l'air et sonore). Cependant, les préférences révélées des participants lors de l'analyse des trajets pratiqués ne confirment pas ces préoccupations. Nous avons montré qu'à Ispahan, 77 % des trajets enregistrés ne passent pas par les voies locales ayant un niveau d'importance fonctionnelle 1, 2 et 3. Il s'agit des voies locales desservant l'intérieur des quartiers et des rues reliant les quartiers. Elles sont en effet moins adaptées à la circulation automobile en matière de vitesse autorisée et de volume de trafic. Ainsi, malgré les préférences déclarées pour des trajets plus sécurisés, moins pollués et moins bruyants, le comportement réel des participants à Ispahan montre le contraire. Contrairement à Ispahan, à Tours, les préférences révélées des trajets effectués confirment les préférences déclarées : 78 % des déplacements pédestres enregistrés empruntent des voies locales (ayant le niveau d'importance fonctionnelle 1 ou 2).

Cette exigence par rapport à la sécurité augmente selon la composition familiale du groupe qui se déplace, plus particulièrement avec la présence d'enfants accompagnant la personne au moment du trajet. Ainsi, les personnes choisissent leurs trajets en fonction d'une représentation de la sécurité en empruntant les voies où circulent moins de voitures. En outre, cela se concrétise par un trajet où les trottoirs sont suffisamment larges pour permettre de passer avec une poussette. C'est le cas d'une des personnes enquêtées à Tours qui est mère de deux enfants en bas âge ainsi que de quelques personnes âgées de 55 à 65 ans, dont la sensibilité à la sécurité des rues vis-à-vis des voitures est plus importante que celle des autres enquêtés.

[1] Plus précisément, les grandes villes iraniennes sont souvent confrontées à la pollution de l'air, cela à cause de l'utilisation du mazout (le fioul lourd) dans les centrales électriques et les industries, la mauvaise qualité de l'essence et l'ancienneté du parc automobile. Par exemple, en 2019, à Ispahan, 91 jours de l'année ont été enregistrés avec un niveau d'alerte rouge concernant la pollution.

En général, à Tours, les enquêtés manifestent également une sensibilité à tout ce qui concerne la sécurité des piétons et au bruit du trafic automobile. Cette sensibilité est indépendante de la taille de la ville, puisque Tours est plus petite qu'Ispahan. Elle est également indépendante de l'importance du trafic, puisque la circulation des véhicules motorisés dans les rues de Tours est considérablement moins importante que dans les rues d'Ispahan.

La préférence pour les voies principales

D'un côté, comme nous l'avons mentionné plus haut, nos entretiens révèlent l'importance du sentiment de sécurité par rapport à la circulation de l'automobile pour la plupart des piétons. D'un autre côté, certains déclarent préférer éviter de passer par les ruelles, même si ces dernières permettent de raccourcir les trajets sur le plan métrique, mais aussi sur le plan temporel. En effet, nous avons montré dans la sous-section 9-3 la préférence révélée des piétons (à Ispahan ainsi qu'à Tours) pour l'évitement d'axes moins intégrés, autrement dit, les tronçons de rues faiblement reliés à l'ensemble du réseau de voirie. Nous avons expliqué que ces derniers correspondent, pour une grande majorité, aux ruelles et aux voies locales à l'intérieur des quartiers qui présentent un rôle structurel très faible dans le réseau de voirie. Ainsi, les préférences révélées confirment les préférences déclarées de ces personnes en matière de choix de trajets. Elles passent plutôt par les rues principales (structurantes) du réseau qui sont plus et donc mieux intégrées à l'ensemble du réseau. Il s'agit maintenant d'analyser la raison de ce choix.

- Tout d'abord, rappelons que les ruelles dans le centre et à proximité du centre sont relativement courtes, sinueuses et étroites, notamment à Ispahan. Cela diminue la lisibilité de la structure du réseau de voirie et rend plus compliquée l'orientation des piétons dans l'espace. Certaines personnes interrogées à Ispahan évoquent une meilleure connaissance de la structure du réseau de voirie concernant les grandes voies rectilignes et une moindre connaissance concernant les ruelles organiques. Ceci confirme l'idée de Lynch (1960), selon qui les chemins, en tant qu'éléments les plus structurants du milieu urbain, sont un des composants physiques clefs collectivement reconnaissables pour s'orienter dans l'espace urbain. Certains enquêtés croient qu'en passant par les ruelles et les voies locales à l'intérieur de certains quartiers ils se perdront ou ils perdront du temps. Cette croyance est observée, même s'ils ont vécu toute leur vie dans cette ville. À l'opposé, les voies principales sont plus lisibles et

donc plus familières aux personnes. Ainsi, elles nécessitent moins d'énergie mentale pour être décortiquées pendant le trajet. Ceci découle du fait que la structure des voies principales est plus simple et donc plus facile à retenir, alors que le fait de passer par un ensemble de petites ruelles suppose non seulement la connaissance de celles-ci, mais aussi la connaissance de leur articulation. Ceci confirme les constats de Peponis et *al*. (1990) et de Montello (2007) selon qui les axes structurants du réseau sont susceptibles de fonctionner comme des lignes de repère puisqu'ils sont reliés à un grand nombre de rues. Par conséquent, ces rues sont plus familières et plus reconnaissables pour les personnes. De plus, les processus cognitifs s'autorenforcent : le piéton va plus dans les rues qu'il connaît et ainsi les connaît mieux, alors qu'il « oublie » les autres.

- Une autre raison est liée au couplage de la marche avec les autres moyens de transport afin de compléter une chaîne de déplacement. À Ispahan, la marche est rarement un moyen de déplacement de porte-à-porte. Ainsi, à Tours, et plus encore à Ispahan, la marche se révèle être souvent associée aux autres modes de transport. Elle permet d'accéder à un arrêt de bus, de tram ou de métro, conduisant donc les piétons à utiliser les voies principales. C'est pourquoi, certaines personnes interrogées à Tours et un plus grand nombre de personnes à Ispahan déclarent que l'accès aux arrêts de transport en commun est un autre critère lors du choix de leurs trajets. Ajoutons également qu'à Ispahan, l'accès aux arrêts de moyens de transport mis en place par les employeurs[1] est déclaré comme autre critère de choix des trajets. De plus, la situation d'Ispahan diffère également de celle de Tours, car les taxis (collectifs et peu onéreux) exercent une très forte concurrence à la marche ainsi qu'aux transports en commun. Tout comme les piétons, ils utilisent essentiellement les voies principales, plus rapides et plus confortables. Ainsi, les piétons qui sont aussi les clients potentiels du taxi se localisent prioritairement dans ces artères où circulent les taxis. *In fine*, les transports en commun à Tours (bus et tramway) et à Ispahan (bus, BRT, métro et

[1] En Iran, dans les grandes villes, une grande majorité des fonctions publiques, des universités, des industries et des entreprises ont mis en place un système de transport (généralement gratuit) pour leurs employés. Ce sont des bus, des minibus ou même des voitures particulières à partager. Ils s'arrêtent aux arrêts prédéfinis, à proximité des lieux d'habitation des personnes et dans les rues principales en évitant de passer à l'intérieur des quartiers pour ne pas perdre de temps.

taxis collectifs) circulent essentiellement sur des voies larges et relativement rectilignes du réseau de voirie, ce qui attire les piétons.

- En outre, dans les petites ruelles, la configuration de la voirie en lien avec le bâti donne l'impression d'un relatif enfermement. Le rapport entre la hauteur du bâti et la largeur de la voie ne laisse pas voir de « sortie » : le regard ne peut s'échapper vers un horizon lointain, alors que les grandes avenues le permettent. Cela peut générer un sentiment d'insécurité notamment la nuit ou bien lorsqu'il n'y a pas de fenêtres aux bâtiments qui bordent ces ruelles ou encore lorsque personne n'y circule.

- D'autres raisons conduisant les piétons à choisir plutôt les voies principales que les ruelles : elles sont relatives aux activités urbaines. En effet, d'une façon générale, les piétons préfèrent passer dans des rues où se succèdent de nombreuses boutiques avec des vitrines ou avec des bâtiments abritant des activités de type « services » (banques, assurances…) ou des ateliers (artisanat). Il ne s'agit pas d'en inférer que les piétons sont systématiquement intéressés par ces façades et par l'idée de faire du shopping. L'ensemble de ces façades contribue plutôt à une ambiance plus agréable, en tout cas plus appréciée, comparativement aux rues sans commerces et donc, souvent, aux petites ruelles. Au contraire, les petites ruelles desservent les quartiers monofonctionnels résidentiels. Elles sont donc visuellement moins intéressantes et moins animées. Comme le précise un enquêté à Ispahan : « *j'évite de passer par les ruelles, je préfère les grands boulevards où je ne me sens pas isolé (…), et il y a plus de choses intéressantes à observer* » (Monsieur A.G) ; ou encore Madame A.P., tourangelle, qui décrit qu'« *il est intéressant de pouvoir regarder les vitrines des magasins du centre-ville en marchant* ». Dans les ruelles, la diversité des éléments visuels des façades est moindre comparée à celles des voies principales qui sont bordées d'activités variées. La structure d'ensemble des petites ruelles amène à penser qu'en cas de problème (agression[1], malaise, sentiment d'être égaré…) le contrôle social, perçu comme solution à ce problème, ne pourra pas s'exercer. Ainsi, ces petites ruelles sont peu passantes, ce qui renforce le

[1] Nous remarquons cependant que Tours et Ispahan sont des villes avec très peu de problèmes d'insécurité (risque d'agression), notamment près du centre-ville.

sentiment d'isolement et contribuera à ne pas y passer, par un processus d'autorenforcement de cette faible densité humaine.

Les voies bordées par les activités urbaines

La plupart des participants confirment préférer passer par des rues qui sont bordées d'une grande variété d'activités urbaines. D'ailleurs, l'analyse des trajets enregistrés met en évidence la tendance des piétons à prendre les rues les plus intégrées à l'ensemble du réseau. Nous avons également montré qu'une grande variété d'occupations des sols (notamment les activités commerciales) sont localisées le long de ces rues. Ainsi, les préférences révélées, issues des résultats d'analyses des trajets enregistrés sont cohérentes avec ces préférences déclarées. La présence d'activités amène à plusieurs aspects fonctionnels et non fonctionnels des espaces publics intéressants pour les piétons.

- Les voies urbaines bordées par les activités urbaines donnent accès à une grande variété de fonctions, notamment aux commerces de proximités. Cette diversité génère la proximité des activités et diminue donc la distance métrique entres les origines et les destinations des déplacements à pied.

- Ces voies suscitent également une ambiance favorable à la marche. Cette ambiance, qui émane des façades de ces commerces et services, provient également de la diversité d'éléments visuels qui peuvent attirer l'œil (diversité de formes, de couleurs, de matières, de luminosités, d'agencements, de textes…), mais provient aussi du nombre et de la diversité des personnes qui côtoient ces bâtiments et de la sociabilité de ces trajets. Tout cela crée des chemins animés où les usages sont variés et où il y a des vitrines, des cafés, des fenêtres ou plus simplement d'autres personnes. Il s'agit de la diversité en elle-même, mais aussi pour ce qu'elle apporte en matière d'ambiance et d'impression de sécurité qui sont des facteurs de choix du trajet pour les piétons. Certaines des personnes interrogées indiquent qu'elles prennent systématiquement les voies les plus animées, commercialement (vitrines de magasins, cafés et restaurant) et/ou socialement parlant (densité et diversité de personnes et des usages, ambiance), quitte à allonger leur trajet : la rue est alors, en partie, spectacle et non simple tronçon dans un parcours. Ici aussi, un processus d'autorenforcement social se développe : le nombre et la diversité des personnes conduisent à renforcer cette ambiance et donc à attirer d'autres piétons. C'est pour cette raison qu'à Ispahan et

à Tours, tout particulièrement sur l'avenue Tcharbagh et sur la rue Nationale, une bonne partie des individus interrogés explicitent ce choix de trajet par la présence de vitrines de magasins et l'ambiance qu'elles génèrent, associée à celle d'arrêts de tramway et de stations de métro. Ce point est accentué la nuit, car ces vitrines sont généralement éclairées. Ceci ajoute à cette ambiance, alors même que les petites ruelles sont moins lumineuses du fait d'un éclairage public moins présent et qu'elles présentent très peu de vitrines éclairées. Aussi, à Ispahan, les magasins sont ouverts le soir, parfois jusqu'à minuit, ce qui rend les grandes avenues beaucoup plus animées par rapport aux ruelles.

Ainsi, les quartiers monofonctionnels résidentiels, notamment ceux issus de constructions plus récentes, sont moins intéressants pour les piétons en raison du manque de variété des activités urbaines. C'est la raison pour laquelle certaines personnes interrogées les estiment « ennuyeuses » et elles essayent d'éviter de passer par les ruelles des quartiers monofonctionnels pendant leurs trajets. Par ailleurs, même si pour les raisons évoquées précédemment, les quartiers résidentiels sont beaucoup moins fréquentés, ils ne répondent, de plus, pas exactement au modèle du plus court chemin géographique ni au choix du plus court chemin topologique.

Par contre, concernant les déplacements pédestres que les personnes sont obligées de faire à l'intérieur de ce type de quartiers, la question de la diversité visuelle a été évoquée à plusieurs reprises. À Tours, des critères d'ordre esthétique et social motivent les piétons à choisir un chemin permettant de voir et d'observer les jardins des maisons riveraines et donc le goût et le mode de représentation des propriétaires. À Ispahan, ce sont les aspects esthétiques et la variété des façades des appartements ou des maisons qui sont l'objet d'observations.

À Tours, il y a également des individus qui déclarent chercher à éviter les endroits trop densément fréquentés. Pour cela, plusieurs arguments sont avancés.

- Le souci d'efficacité correspondant aux déplacements à pied ne relève pas nécessairement d'un plaisir de la marche ou d'un plaisir d'être en ville. Par exemple une des personnes enquêtées affirme que : « *je marche beaucoup, la marche est mon mode de déplacement principal, ce n'est pas pour me faire plaisir que je marche, alors je dois marcher vite* » (Mme S.H.). Pour ces personnes, une trop grande densité humaine diminue la fluidité dans les trajets et fait donc perdre

du temps. De plus, circuler dans la foule demande un effort cognitif plus important que lorsque la densité humaine est moins importante. En effet, la foule oblige à de multiples ajustements, physiques et cognitifs, entre piétons qui se croisent ce qui, finalement, fait perdre de la vitesse et donc du temps.

- Associé à la perte de vitesse et donc de temps, la critique d'une trop grande densité humaine s'accompagne du fait que « *les autres* », collectivement trop nombreux, sont individuellement trop peu attentifs. Ainsi, une des personnes enquêtées, Mme L.S., tourangelle, pense que dans les espaces publics, les gens ne sont pas suffisamment attentifs aux autres marcheurs et qu'il est possible d'être bousculé par « *la foule* ». Elle estime également que dans ces endroits, elle se sent « *anonyme* » et « *transparente* », chacun est « *préoccupé* » par soi-même et « *auto-concentré* » sur ses propres pensées, les gens ne se regardent même pas, « *ils ne communiquent pas* ». C'est pour cette raison qu'elle préfère ne pas passer par les axes principaux de Tours (où elle estime qu'il y a beaucoup de piétons) ou au aller centre-ville les week-ends ou les jours fériés. Ainsi, pour son chemin quotidien entre sa maison et son lieu de travail, elle prend un chemin plus long mais qu'elle considère comme « *plus agréable* », notamment parce qu'elle passe par des parcelles privées non construites où les passants sont les habitants des quartiers, car « *les gens qu'elle voit se regardent, se sourient, communiquent et se saluent* ». De même, deux autres tourangeaux se sentent gênés lorsqu'il y a « *trop de monde* » et ils essayent de passer par d'autres rues.

Nous constatons que les personnes doivent maintenir l'équilibre entre, d'un côté, ne pas passer par les grandes artères par souci de sécurité routière et de l'autre côté, éviter les ruelles qui réduisent l'accès aux activités urbaines et aux arrêts de transport public.

La dernière remarque concerne une autre différence entre Tours et Ispahan : il s'agit des choix d'itinéraires relatifs aux conditions climatiques. En effet, ces deux villes ont des climats différents, ce qui se traduit par des différences de température. Nous avons fait notre recherche à Ispahan en été, où la température était de 39 à 42 degrés et où le soleil était considéré comme gênant. Cela est explicité à plusieurs reprises : les personnes déclarent essayer de choisir des chemins où il y « *des arbres pour passer à l'ombre* ». L'aménagement des grandes avenues de la ville est adapté à ces conditions climatiques : elles sont en grande majorité plantées d'arbres, ce qui les rend plus attractives du point de vue visuel et thermique.

En revanche, notre enquête montre qu'à Tours, la dimension météorologique intervient peu dans le choix d'itinéraire des piétons du fait du caractère tempéré du climat.

Ainsi, les analyses issues des entretiens semi-directifs avec les personnes nous ont permis d'appréhender les critères de choix d'itinéraires déclarés. Cela met en évidence qu'en plus des critères rationnels de choix de trajets des piétons reposant sur la distance métrique, il y a également un ensemble d'autres critères. Ceux-ci renvoient aux représentations qu'ont les personnes des espaces traversés, aux aspects fonctionnels et esthétiques des espaces urbains.

Conclusion du chapitre IX

Ce chapitre porte sur l'analyse et l'interprétation des données empiriques de notre thèse, c'est-à-dire sur les trajets[1] enregistrés et sur l'enquête menée suite à ces trajets (les traceurs GPS et les entretiens semi-directifs et quastionnaires *a posteriori*). Plus précisément, les données exploitées des traceurs GPS portent sur les origines-destinations ainsi que sur les itinéraires réellement parcourus des participants sur le réseau de voirie. En effet, comme l'affirme Piombini (2006, p. 81), « *le chemin suivi n'est ni anodin ni banal ; c'est une action qui traduit spatialement les préférences du marcheur* ». Ainsi, au cours de l'analyse des déplacements effectués, nous avons cherché à identifier les **préférences révélées** des piétons en matière de critères de choix d'itinéraire, en rapport avec certaines caractéristiques du réseau de voirie. Nous avons donc combiné des mesures quantitatives métriques, fonctionnelles et topologiques liées aux réseaux de voirie. Celles-ci nous ont permis d'évaluer la corrélation entre le comportement des piétons en matière de choix d'itinéraire et l'espace urbain.

C'est ainsi que, **dans un premier temps**, en nous appuyant sur les attributs géométriques du réseau de voirie, nous avons mesuré la distance métrique des trajets réellement effectués. La confrontation de ces calculs conduit au constat que, en général, il existe environ 300 mètres d'écart entre les moyennes de la longueur des déplacements à pied effectués sur chacun de nos terrains d'études. En effet, à Ispahan la marche est moins considérée comme un moyen de déplacement de porte-à-porte. Elle constitue souvent un moyen intermédiaire pour joindre les moyens de transport motorisé. Ainsi, les participants ispahanais ont parcouru de plus courts trajets. Ensuite, nous appuyant sur une approche économique, nous avons évalué la rationalité des individus concernant la longueur métrique des trajets choisis. C'est pour cette raison que nous avons simulé les trajets théoriques les plus courts qui sont disponibles sur le réseau de voirie pour chaque couple d'origine-destination. Ainsi, nous avons remarqué que sur les deux terrains d'études, pour au moins la moitié des déplacements enregistrés, la longueur métrique des itinéraires pratiqués est conforme aux trajets simulés (les itinéraires métriquement optimaux). Ceci confirme que la rationalité des individus en matière de choix de trajet métriquement le plus court décrit uniquement en partie la préférence révélée des piétons. Ainsi, la longueur métrique ne peut pas être considérée comme le critère premier des piétons pour leur choix de trajet, notamment à Tours.

[1] De manière désagrégée, c'est-à-dire, chaque trajet de façon singulière.

Dans un deuxième temps, après avoir vérifié l'approche économique qui repose sur l'individu et sur le critère rationnel du choix du trajet le plus court, nous avons adopté une approche qui nous semble complémentaire. Celle-ci s'intéresse au réseau de voirie du point de vue des approches du choix cognitif. Nous avons donc évalué le comportement des piétons enquêtés en lien avec la **dimension fonctionnelle du réseau de voirie**. Ainsi, nous avons mesuré le niveau d'importance des tronçons de rue empruntés dans la hiérarchisation fonctionnelle de l'ensemble du réseau de voirie. La préférence pour les artères principales se vérifie à Ispahan, car la moyenne générale obtenue pour le niveau d'importance fonctionnelle des tronçons de rues empruntés est de 2,86 contre 1,58 à Tours. Nous avons également démontré la préférence des piétons de ces deux villes pour les artères animées et bordées par des activités urbaines variées.

Dans un troisième temps, nous avons pris en considération la **dimension structurelle du réseau de voirie**. C'est pourquoi nous avons confronté les itinéraires des déplacements pédestres enregistrés par les traceurs GPS avec les caractéristiques de la configuration du réseau de voirie mesurées par la Syntaxe spatiale. Ainsi, nous avons calculé la valeur moyenne des mesures d'Intégration et de profondeur spatiale des tronçons de rue empruntés pour chaque trajet. Le résultat de ce calcul a mis en évidence qu'à Ispahan ainsi qu'à Tours, les trajets effectués empruntent les segments de rue qui sont caractérisés par des niveaux d'intégration spatiale globale, intermédiaire et locale élevés. Ainsi, consciemment ou inconsciemment, les piétons ont préféré parcourir les axes structurants du réseau.

Dans un quatrième temps, nous avons également évalué la **longueur topologique** des trajets, c'est-à-dire le nombre de changements de lignes de vue (changements de direction) lors des déplacements. De même, nous avons mesuré la longueur topologique des trajets effectués et celle des itinéraires théoriques géométriquement les plus courts. Ensuite, nous les avons comparés afin d'évaluer la prise en compte de la distance topologique dans les déplacements à pied enregistrés. Ceci nous a permis de mettre en lumière qu'en plus de la distance métrique (paramètre considéré plus habituellement comme primordial), la distance topologique des trajets (la linéarité du trajet) a une influence sur le choix d'itinéraire des piétons.

Enfin, nous avons examiné nos données qualitatives empiriques issues des enquêtes semi-directives afin d'appréhender les **préférences déclarées** des personnes enquêtées à propos des critères de choix des trajets lors des déplacements à pied. Autrement dit, il s'agit des critères selon lesquels les personnes enquêtées déclarent avoir choisi leurs itinéraires. Nous avons

considéré un ensemble de critères objectifs et subjectifs variés chez les individus comprenant : la sécurité par rapport à la circulation des voitures, les préférences pour les voies animées et bordées par des activités urbaines variées, la largeur des trottoirs, la pollution de l'air et les nuisances sonores, l'aspect esthétique des trajets, etc. Ceci met en évidence la complexité du *wayfinding* dans l'espace urbain qui ne se limite pas aux dimensions géométriques, fonctionnelles et structurelles du réseau de voirie. Ainsi, le comportement des piétons dépend à la fois des spécificités physiques de l'environnement de la marche, mais aussi des caractéristiques propres aux individuelles et du contexte socioéconomique.

Sous-section	**Approche**s	**Éléments d'analyse**	**Résultats obtenus**
9-1- 1	Dimension géométrique du réseau	Distance métrique des trajets réellement effectués	En moyenne, les trajets effectués à Ispahan sont de 300 mètres plus courts qu'à Tours. À Ispahan la marche est un moyen intermédiaire pour joindre les moyens de transport motorisé.
9-1- 2	Dimension géométrique du réseau	Simulation des trajets théoriques les plus courts entre OD par l'algorithme de *Dijkstra*	Sur les deux terrains d'études, la rationalité des individus en matière de choix de trajet métriquement le plus court ne décrit qu'en partie les trajets effectués (uniquement la moitié).
9-2	Dimension fonctionnelle du réseau	Importance fonctionnelle des tronçons de rues empruntés par hiérarchisation fonctionnelle du réseau	Dans les deux villes, des préférences pour les artères animées (bordé par les activités urbaines variées) sont observées. À Ispahan, la préférence va aux artères principales. À Tours, les tronçons de rues empruntées sont des voies locales.
9-3	Dimension structurelle du réseau	Attributs topologiques des tronçons de rues empruntés	Les spécificités de la configuration du réseau de voirie contribuent au choix d'itinéraire des piétons. L'intégration spatiale de la rue caractérise en grande partie le choix d'itinéraire des piétons.
9-4	Dimension topologique du réseau	Distance topologique des trajets	La distance topologique des trajets (la linéarité des trajets) se révèle être un critère important pour certains trajets effectués.
9-5	Interprétation des entretiens semi-directifs des personnes enquêtées et des questionnaires	Préférences déclarées pour le choix d'itinéraire	Un ensemble de critères objectifs et subjectifs variés interviennent dans le choix des trajets des piétons. Il existe certaines incohérences entre les préférences individuelles déclarées et celles révélées lors de l'analyse des trajets effectués. Ceci renvoie au décalage entre l'espace représenté et l'espace vécu.

Tableau 29. Synthèse des résultats obtenus d'analyse des itinéraires pratiqués et de l'enquête des piétons

CONCLUSION DE LA TROISIÈME PARTIE

Dans la troisième partie de notre thèse, nous avons, analysé à partir d'un ensemble de méthodes, les trajets effectués par les piétons en lien avec différents aspects géométriques, fonctionnels, topologiques et structurels des segments de rues empruntés. Nous avons cherché à répondre à la question principale de cette thèse concernant l'influence du réseau de voirie sur le choix du trajet des piétons. Nous avons structuré cette partie en deux chapitres : les chapitres VIII et IX de la thèse.

Dans le **premier chapitre** de cette partie (**chapitre VIII),** nous avons analysé la configuration spatiale des réseaux de voirie d'Ispahan et de Tours. En nous appuyant sur la Syntaxe spatiale et à partir de mesures quantitatives topologiques telles que l'intégration et la profondeur spatiale (globale [R_n], intermédiaire [R_r] et locale [R_3]), nous avons modélisé le réseau de voirie de nos terrains afin de prédire le comportement des piétons. Les travaux de recherche précédents ayant appliqué la Syntaxe spatiale ont mis l'accent sur le lien entre la configuration spatiale du réseau (l'agencement topologique des tronçons de rue) et la prédiction des flux de piétons. Dans le cadre de cette recherche, nous avons posé l'hypothèse selon laquelle la structuration spatiale du réseau permet de prédire le mouvement de chaque piéton (au niveau individuel/désagrégé). Effectivement, nous pensons qu'en fonction du taux d'intégration spatiale des segments de rues, il est possible de simuler les préférences théoriques des piétons en matière de choix d'itinéraire. Ainsi, cette thèse met en quelque sorte à l'épreuve la Syntaxe spatiale dans sa capacité à prédire le trajet de chaque piéton, de manière individuelle et donc à un niveau désagrégé.

La modélisation du réseau de voirie d'Ispahan et de Tours mène aux constats suivants :

- de manière générale, le réseau de voirie d'Ispahan est plus intégré que celui de Tours. Ainsi à Ispahan, les rues sont mieux connectées entre elles. L'accessibilité du réseau ispahanais est donc plus élevée que celle du réseau tourangeau. Nous avons constaté la présence de plusieurs éléments responsables de coupures urbaines. Il s'agit de voies ferrées, d'une autoroute, de routes départementales, d'un fleuve, d'une rivière, etc. ;

- les configurations spatiales des réseaux de voirie d'Ispahan et de Tours se ressemblent, notamment dans les quartiers de leur partie centrale respective qui sont constitués de ruelles organiques et de réseaux de rues complexes ;

- les configurations spatiales des réseaux de voirie d'Ispahan et de Tours se ressemblent dans certains quartiers résidentiels nouvellement construits ainsi que dans les quartiers périurbains. Les quartiers résidentiels sont marqués par des impasses et des culs-de-sac et les quartiers périurbains sont marqués par des réseaux de rues organiques d'origine rurale ;

- les configurations spatiales d'Ispahan et de Tours sont très faiblement intelligibles ; de manière générale, l'orientation des piétons y est relativement difficile ;

- enfin, les configurations spatiales de nos deux terrains d'étude se ressemblent, dans le sens où aux niveaux global, intermédiaire et local, leurs axes les plus intégrés (les axes les plus structurants) sont composés : en premier lieu, d'un axe central nord-sud (Tcharbagh à Ispahan et la rue Nationale et l'avenue de Grammont à Tours) ; en deuxième lieu, de plusieurs axes est-ouest croisant perpendiculairement le premier. Ainsi, ces axes les plus intégrés sont topologiquement plus proches des autres lignes et ont un potentiel très élevé pour être parcourus par des piétons. Ils correspondent donc aux itinéraires théoriques des piétons. De plus, puisque les activités urbaines sont localisées sur ces axes, ceci contribue à augmenter la probabilité que ces rues soient empruntées par les piétons.

Enfin, dans le **deuxième** chapitre de cette partie (**chapitre IX**), nous avons confronté nos données théoriques et empiriques afin d'analyser les trajets à pied effectués et simulés en lien avec les attributs géométriques, topologiques et fonctionnels du réseau de voirie. Nous avons donc appréhendé les préférences théoriques, révélées et déclarées des individus enquêtés à propos de leurs choix d'itinéraire. Ainsi, nous avons employé une combinaison de mesures métriques, fonctionnelles et topologiques liées au réseau de voirie, qui nous a permis d'évaluer la corrélation entre ce réseau et le choix de trajet des piétons :

- dans un premier temps (9-1), l'analyse de la longueur métrique des trajets réellement effectués (9-1-1) montre qu'à Ispahan, les participants ont parcouru des trajets moins longs. De plus, ils considèrent la marche plutôt comme un moyen de

déplacement intermédiaire permettant de joindre le métro, le bus et le taxi. La cause de cette spécificité relève d'un ensemble d'éléments liés au contexte socioéconomique ainsi que de l'organisation du système de transport d'Ispahan (la taille de la ville, l'existence de taxis collectifs peu onéreux, le prix relativement bas de l'essence, etc.) ;

- sur les deux terrains d'études, la longueur métrique de seulement la moitié des trajets effectués correspond au chemin le plus court disponible sur le réseau de voirie (9-1-2). Ainsi, le choix d'une part des itinéraires pratiqués n'est pas conforme à l'approche rationnelle ;

- dans un deuxième temps (9-2), l'analyse du niveau d'importance fonctionnelle des segments de rues empruntés montre que, à Ispahan, les individus préfèrent de ne pas passer par les voies locales à l'intérieur des quartiers. Au contraire, à Tours, les personnes enquêtées préfèrent passer par les voies locales. Ces tendances renvoient avant tout aux spécificités de la configuration du réseau de voirie de ces deux villes, notamment dans la partie centrale. Dans une grande majorité des quartiers d'Ispahan, les réseaux locaux de rues sont, d'un côté, très complexe, d'un autre côté, ils desservent généralement des habitations. Alors que dans la partie centrale de Tours où les déplacements à pied sont effectués, les réseaux locaux de rues sont moins complexes et ils sont, de plus, bordés par des activités variées. Ainsi, ces constats confirment, premièrement, la préférence des personnes enquêtées dans les deux villes pour passer par les voies animées où il existe des activités urbaines variées. Deuxièmement, ces constats mettent en évidence le lien entre les aspects structurels et fonctionnels du réseau. Ils soulignent que la configuration du réseau de voirie détermine la localisation des occupations du sol.

- dans un troisième temps (9-3), nous avons constaté qu'à Ispahan tout comme à Tours, les piétons préfèrent consciemment ou inconsciemment emprunter les segments de rues les plus intégrés du réseau. Ceux-ci rassemblent les activités urbaines. Ils sont donc plus attractifs et plus empruntés par les piétons. Le choix d'itinéraire des piétons est, par conséquent, fortement lié aux caractéristiques intrinsèques du réseau et aux représentations que les piétons se font de la structure spatiale de la ville. En d'autres termes, le piéton interagit avec son environnement et la configuration du réseau de voirie agit sur le

comportement des piétons, engendrant ainsi des choix d'itinéraires spécifiques. Nous considérons que la configuration du réseau de voirie n'est pas seulement « un des facteurs » qui influence la marche, mais qu'elle est plutôt le facteur moteur et principal de la localisation des activités et de la génération des mouvements. Ainsi, la configuration du réseau de voirie intervient indirectement comme le facteur d'influence le plus important sur le choix du trajet de chaque piéton. Les différents aspects fonctionnels et structurels du réseau de voirie se renforcent et agissent conjointement sur le comportement des piétons : la configuration du réseau de voirie suscite la diversité et la densité d'occupation du sol, ainsi que l'intensité des mouvements, la convivialité de l'environnement urbain et la coprésence des autres personnes. Nous confirmons donc l'hypothèse principale de cette thèse : le réseau de voirie influence le comportement des piétons, notamment en ce qui concerne le choix du trajet au niveau individuel.

- dans un quatrième temps (9-4), la comparaison de la distance topologique des itinéraires effectués et de celle des trajets simulés met en évidence la sensibilité d'une partie des piétons à la linéarité des trajets. Les déplacements effectués coïncident, mais seulement en partie, avec ce que prédit l'approche rationnelle, bien que la Syntaxe spatiale prédise mieux le comportement des piétons ;

- enfin (9-5), l'analyse de l'enquête qualitative avec les personnes a permis de ne pas ignorer les caractéristiques individuelles des personnes ainsi que les spécificités sociales ou économiques des deux terrains d'études. Les personnes déclarent un ensemble de critères objectifs et subjectifs variés concernant leurs choix de trajets à pied. Cependant, il existe certaines divergences entre les préférences déclarées des personnes et les préférences révélées lors de l'analyse des trajets effectués. Ces divergences mettent en évidence à quel point le rapport entre l'individu et l'environnement urbain est complexe. Le comportement des piétons dépend à la fois des spécificités physiques de l'environnement de la marche, mais aussi de leurs caractéristiques individuelles et sociales, du contexte du déplacement et de l'organisation du système de transport de la ville. Bien que le réseau de voirie ait, par plusieurs de ses aspects, la capacité à déterminer le choix du trajet des piétons, l'individu a par ailleurs lui aussi la capacité à s'adapter à l'environnement de la marche. L'individu a un certain degré de liberté de choix

en fonction de ses besoins, de ses attentes et surtout de ses représentations individuelles et sociales de l'espace. Ainsi, en accord avec l'approche interactionnelle, le milieu ne s'impose pas pour autant aux individus puisqu'il n'a pas le même effet sur toutes les personnes.

<table>
<tr><th>Sous-section</th><th>Type de données analysé</th><th>Objet d'analyse</th><th>Approches</th><th colspan="2">Élément d'analyse</th></tr>
<tr><td>Chapitre VIII</td><td>Données théoriques</td><td>Réseau de voirie</td><td>Dimension structurelle/topologique du réseau</td><td colspan="2">Mesures syntaxiques de la configuration du réseau, Syntaxe spatiale, identification des itinéraires potentiels
(préférences théoriques)</td></tr>
<tr><td>9-1- 1</td><td rowspan="4">Données empiriques</td><td rowspan="2">Trajets</td><td rowspan="2">Dimension géométrique du réseau</td><td>Distance métrique des trajets réellement effectués</td><td rowspan="4">Préférences révélées</td></tr>
<tr><td>9-1- 2</td><td>Simulation des chemins les plus courts entre OD, algorithme de Dijkstra
(préférences théoriques)</td></tr>
<tr><td>9-2</td><td>Tronçons empruntés</td><td>Dimension fonctionnelle du réseau</td><td>Importance fonctionnelle des tronçons de rues empruntés</td></tr>
<tr><td>9-4</td><td>Trajets</td><td>Dimension topologique du réseau</td><td>Distance topologique des trajets</td></tr>
<tr><td>9-3</td><td>Confrontation des données théoriques et empiriques</td><td>Tronçons empruntés</td><td>Dimension structurelle du réseau</td><td>Attributs topologiques des tronçons de rues empruntés</td></tr>
<tr><td>9-5</td><td>Enquête (entretiens semi-directifs et questionnaires)</td><td>Trajets</td><td colspan="3">Interprétation des préférences déclarées des personnes enquêtées</td></tr>
</table>

Figure 105. Synthèse des analyses effectuées dans la troisième partie de cette thèse, permettant de confronter les itinéraires effectués et théoriques (simulés) des piétons au réseau de voirie

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette thèse porte sur le lien qu'entretiennent l'environnement urbain et le déplacement pédestre. Il existe de nombreuses recherches qui étudient le rôle que jouent différents attributs de l'environnement construit dans la promotion de la pratique de la marche dans les milieux urbains. En ce qui nous concerne, notre principale motivation à travers cette contribution scientifique a été, dès le départ, de définir une méthode d'appréhension du lien entre l'environnement construit (plus précisément la structure du réseau de voirie) et le comportement des piétons lors du choix du trajet.

Nous avons étudié le choix d'itinéraire des piétons valides au niveau individuel et pour divers motifs. Le choix de deux terrains d'études (villes d'Ispahan et de Tours) a permis de prendre en compte le rôle du contexte de déplacement, notamment les caractéristiques socio-économiques dans le comportement de déplacement des piétons.

L'objectif principal de cette recherche consistait à évaluer l'influence de la structure du réseau de voirie sur le comportement individuel des piétons, plus précisément sur leurs choix d'itinéraire. Afin de mieux appréhender le comportement des personnes, notre deuxième objectif était de saisir le processus mental du choix d'itinéraire de chaque piéton. De plus, dans le but de révéler l'implication des personnes, nous avons choisi un troisième objectif : celui de comprendre la contribution des représentations des personnes dans le choix de trajet de chaque piéton.

Dès lors, ce sont les questions suivantes qui ont guidé notre recherche :

- Comment et dans quelle mesure la structure du réseau de voirie contribue-t-elle à influencer le choix de trajet des piétons ?
- Sur quel(s) critère(s) repose le choix d'itinéraire des piétons ?
- Comment les représentations mentales de l'environnement de la marche interviennent-elles lors du choix de trajet des piétons ?

Notre recherche gravite autour d'hypothèses à travers lesquelles nous questionnons les rapports entre le piéton et le réseau de voirie en tant que lieu des pratiques de déplacement à pied. Ces hypothèses sont les suivantes :

- Premièrement, nous posons l'hypothèse que la structure du réseau de voirie, plus précisément ses attributs géométriques, topologiques et fonctionnels, génère des rôles fonctionnels et structurels variés pour chacun des segments de rues, ce qui, par conséquent, encourage les piétons à emprunter un itinéraire particulier.

- Deuxièmement, la manière dont les piétons perçoivent et se représentent l'environnement de la marche influence leurs évaluations concernant les trajets potentiels, ce qui les amène à effectuer un trajet spécifique plutôt qu'un autre.

- Troisièmement, le choix d'itinéraire suit un processus mental complexe, reposant sur un ensemble de critères objectifs et subjectifs et influençant de manière consciente ou inconsciente l'établissement de préférences pour le choix d'un trajet parmi un ensemble d'alternatives potentielles.

La première partie de cette recherche met en évidence qu'étudier le comportement du piéton en tant qu'usager de l'espace urbain est un sujet très complexe et qu'il ne faut pas nier la subjectivité des individus. Ainsi, le processus d'orientation des piétons dans l'espace urbain (le « *wayfinding* ») s'avère très complexe. Lors du *wayfinding*, le piéton construit une relation complexe avec l'espace urbain. Celle-ci repose sur les perceptions et les représentations que le piéton se fait de l'environnement de la marche. Notre recherche vise donc à comprendre **comment les représentations mentales de l'environnement de la marche interviennent lors du choix de trajet des piétons.** Cette recherche a permis de montrer que le piéton perçoit et se représente l'espace urbain au prisme de différents facteurs liés à la fois à l'environnement de la marche et à ses caractéristiques individuelles et sociales, mais aussi sa capacité à acquérir et interpréter des informations venant de l'espace réel. C'est pourquoi nous avons insisté sur le fait que, tout au long du déplacement à pied, le piéton construit une interaction continue et dynamique avec l'environnement de la marche. Lors du choix du trajet, il n'est pas un usager passif dont le comportement serait déterminé par l'espace. Il s'agit d'une interaction continue et dynamique dans la mesure où les choix successifs se font en fonction de l'avancement vers le point de destination. De plus, nous avons démontré que la prise de décision du choix d'itinéraire repose sur les perceptions et les représentations que les piétons se font de l'environnement de la marche, ainsi que d'un ensemble de critères subjectifs et objectifs que se donne le piéton selon ses besoins et ses attentes.

Arrivée à ce point de la recherche, nous nous sommes demandée **sur quel(s) critère(s) repose le choix d'itinéraire des piétons.** Nous sommes arrivée à la réponse que les critères selon lesquels les piétons choisissent leurs trajets sont à la fois rationnels (au sens strict, comme défini par la théorie économique du choix rationnel), mais aussi cognitifs. Ainsi, non seulement les piétons essayent de minimiser le temps et l'énergie (physique) à dépenser, mais un ensemble de facteurs cognitifs interviennent également dans le choix du trajet. Ces facteurs

sont relatifs aux caractéristiques individuelles et sociales des piétons (leurs capacités physiques, leurs contraintes temporelles, etc.), aux spécificités de l'environnement immédiat de la marche, ainsi qu'à la structure du réseau de voirie. En nous appuyant sur cette approche théorique mixte, nous avons pris en compte le caractère objectif et subjectif du processus de choix du piéton, ainsi que les caractéristiques de l'environnement de la marche.

En ce qui concerne la contribution de l'environnement construit au choix du trajet des piétons, nous avons montré que plus l'environnement urbain satisfait les besoins et les attentes physiques et mentales des piétons, plus il est possible qu'il soit traversé par ces derniers. Ce potentiel est désigné sous le terme de « marchabilité » de l'environnement urbain, autrement dit, l'adaptabilité du milieu urbain à la marche à pied. De plus, nous avons identifié comme principaux attributs de l'environnement construit influant sa marchabilité : la densité et la diversité de l'usage du sol ; l'accessibilité aux services de base ; le design de l'environnement urbain et de la structure du réseau de voirie.

Cependant, nous avons précisé que la marchabilité comme qualité de l'environnement urbain est un point de vue d'experts et de professionnels de l'urbanisme et que les piétons peuvent percevoir l'espace urbain différemment et selon leurs caractéristiques individuelles et sociales. Ainsi, la marchabilité ne détermine pas le comportement des piétons. Pourtant, en accord avec Lang (1987) la marchabilité augmente la possibilité qu'un environnement urbain soit plus pratiqué par les piétons.

Nous avons considéré que le réseau de voirie est un des attributs physiques de l'environnement construit et qu'il joue un rôle multidimensionnel, fonctionnel, structurel, ainsi qu'esthétique et social dans le déplacement à pied. En effet, non seulement le réseau de voirie permet de se déplacer et de rejoindre une destination, mais sa structure spatiale (sa configuration, sa connectivité et la taille et la forme de ses îlots) peut contribuer à l'intérêt de choisir un trajet plutôt qu'un autre. Nous avons confirmé que la structure spatiale du réseau de voirie (sa configuration, sa connectivité, la taille et la forme de ses îlots, sa qualité de l'aménagement) a la capacité à encourager les personnes à choisir un trajet plutôt qu'un autre. Ainsi, la contribution du réseau de voirie au choix d'itinéraire des piétons nous a semblé particulièrement importante. C'est pourquoi dans la deuxième partie de cette recherche nous avons adopté une approche méthodologique adéquate afin de répondre à la principale question que nous nous posons : **Comment et dans quelle mesure la structure du réseau de voirie contribue-t-elle à influencer le choix du trajet des piétons ?**

Dans la **deuxième partie** de la thèse nous avons employé une combinaison d'approches méthodologiques permettant : (a) d'analyser la structure du réseau de voirie ; (b) de simuler les itinéraires théoriques des piétons (au niveau individuel, désagrégé) ; (c) et de saisir les comportements réels des piétons en ce qui concerne leurs choix de trajet dans l'espace urbain. Ceci nous a amenée à appliquer un cadre méthodologique intégrant l'interaction piéton-environnement (piéton-réseau de voirie), de sorte que nous puissions à la fois tenir compte de l'objectivité et de la subjectivité des individus ainsi que de l'aspect multidimensionnel du réseau de voirie.

Ainsi, nous avons employé la Syntaxe spatiale en tant que théorie et méthode permettant de modéliser quantitativement la configuration spatiale du réseau de voirie, ceci à partir d'un ensemble d'outils et de techniques. Puisque cette approche théorique et méthodologique modélise la structure spatiale du réseau de voirie sous la forme d'une carte axiale composée de lignes de vues, elle nous a permis d'intégrer les perceptions visuelles de l'individu d'un point de vue objectif. Rappelons que du point de vue de la Syntaxe spatiale, l'objectivité renvoie à la rationalité des individus et à leur intérêt à minimiser leur dépense d'énergie mentale, autrement dit à la minimisation du nombre de changements de direction lors du processus d'orientation dans l'espace.

Ainsi, en nous appuyant sur l'approche structurelle de la Syntaxe spatiale, nous avons mesuré les interrelations topologiques des lignes axiales à partir de leur intégration et de leur profondeur spatiale (globale [R_n], intermédiaire [R_r] et locale [R_3]). Ceci nous a permis de simuler les itinéraires potentiels des piétons, autrement dit, d'identifier des tronçons de rue qui ont un potentiel élevé pour être parcouru par les piétons.

Puisque la Syntaxe spatiale repose uniquement sur les attributs topologiques des segments de rue et sur la minimisation de l'énergie mentale à dépenser lors du déplacement, nous avons également pris en considération la rationalité des piétons en matière de minimisation d'énergie physique à dépenser. Nous avons donc appliqué l'algorithme de *Dijkstra* pour simuler le chemin métriquement le plus court des piétons. Afin de prendre en compte l'aspect fonctionnel du réseau de voirie, nous avons également pris en compte la classification fonctionnelle du réseau.

Dans le but de saisir les données empiriques du déplacement pédestre des piétons en matière de choix du trajet, nous avons employé des traceurs GPS. Nous sommes ainsi parvenue à recueillir les informations géolocalisées, *in situ* et très précises des déplacements

pratiqués de chaque piéton (des individus volontaires), de manière désagrégée, un jour ordinaire de la semaine.

Puisque les modélisations (macroscopiques et microscopique) du comportement des piétons se limitent à supposer que les individus ont des capacités physiques, mentales et cognitives égales, nous avons également eu recours à des enquêtes de déplacement qualitatives *a posteriori*. Nous avons donc pu accéder au discours des piétons concernant leurs représentations de l'espace urbain et de leurs trajets.

Bien que la construction de notre cadre méthodologique se soit avéré être particulièrement chronophage, il a eu l'avantage de nous permettre d'obtenir des informations précieuses sur le comportement théorique et empirique des piétons en lien avec la structure du réseau de voirie. En somme, l'apport essentiel de la combinaison de ces diverses approches et méthodes quantitative et qualitative pour notre recherche a été de nous permettre de constituer les **préférences théoriques**, **révélées** et **déclarées** des piétons en matière de choix du trajet, en lien avec différents aspects géométriques, fonctionnels, topologiques et structurels du réseau de voirie.

Nous avons appliqué nos approches théoriques et méthodologiques sur deux terrains d'étude distincts : la ville d'Ispahan (Iran) ainsi que Tours et ses communes avoisinantes (France). Nous avons constaté des spécificités concernant les domaines socioculturels et économiques, la superficie, le nombre d'habitants et le fonctionnement du système de transport de ces deux villes. Cependant, nous avons également constaté des similitudes importantes dans le cadre de ce travail entre les structures spatiales d'Ispahan et de Tours. La modélisation du réseau de voirie d'Ispahan et de Tours par la Syntaxe spatiale a confirmé ces similitudes structurelles. De plus, cette modélisation a démontré qu'à Ispahan, le réseau de voirie est plus intégré, c'est-à-dire que les rues sont un peu mieux connectées entre elles et, donc, que l'accessibilité de ce réseau est plus élevée que celle du réseau de Tours. En effet, nous avons constaté à Tours la présence importante de plusieurs éléments de coupures urbaines (comme les voies ferrées, l'autoroute, les routes départementales, le fleuve, la rivière, etc.). Nous considérons celles-ci comme la cause principale de l'intégration moindre du réseau tourangeau. De plus, nous avons constaté des spécificités socio-économiques et des différences dans le fonctionnement des systèmes de transport de ces deux villes (la disponibilité des taxis, le prix de carburants, etc.). La mise en lumière de ces similitudes et de ces différences apporte un résultat supplémentaire à notre recherche : cette comparaison a permis d'analyser les comportements des piétons non seulement en rapport avec la structure

du réseau de voirie, mais aussi en rapport avec d'autres facteurs liés aux terrains et au contexte du déplacement.

Enfin, dans la **troisième partie**, dans le cadre du couplage de nos méthodes théoriques et empiriques, nous avons croisé les trajets théoriques (modélisés par la Syntaxe spatiale et l'algorithme de *Dijkstra*), les trajets effectivement pratiqués et les discours des participants de nos terrains. Nos conclusions portent, d'une part, sur les constats en rapport avec la structure du réseau de voirie, d'autre part, sur les individus, en supposant que le choix du trajet s'effectue dans l'interaction entre ces deux variables.

Tout d'abord, nous avons constaté que de façon générale, sur nos deux terrains d'étude, une grande majorité des déplacements effectivement pratiqués sont conformes aux itinéraires théoriques simulés par la Syntaxe spatiale.

Les résultats d'analyse de la longueur métrique des trajets réellement effectués ont mis en avant les particularités des deux villes : à Ispahan, les participants ont parcouru des distances moins longues et la marche a été pratiquée comme un moyen de déplacement intermédiaire permettant d'accéder aux moyens de déplacement motorisé. Nous avons expliqué ce fait par la marginalisation de la marche dans les déplacements quotidiens des habitants et la motorisation de cette ville due à des facteurs socio-économiques, à la taille de la ville, à l'existence de moyens de transport semi-collectif (taxis) peu onéreux et enfin au prix relativement bas de l'essence. De plus, la plus grande superficie d'Ispahan génère l'éloignement des lieux d'implantation des activités urbaines, ce qui diminue l'efficacité de la marche en tant que mode de déplacement de porte à porte. Ainsi, les spécificités du contexte du déplacement contribuent à la variété des comportements des piétons dans l'espace urbain.

Nous avons également remarqué des différences entre Ispahan et Tours en ce qui concerne le niveau d'importance fonctionnel des segments de rues empruntés : dans la ville d'Ispahan, les participants de notre enquête ont évité de passer par les voies locales à l'intérieur des quartiers, contrairement à Tours où les personnes sont plutôt passées par des voies locales. Nous avons considéré que cette différence est plutôt due aux spécificités de la structure du réseau de voirie de ces deux villes qu'au « choix » et aux préférences des individus. En effet, les individus ont été poussé vers ce choix du fait que, dans une grande majorité des quartiers d'Ispahan, les réseaux de rues locaux sont très complexes, que la qualité de leurs aménagements est inférieure à celle des voies principales, et qu'elles ne desservent que des

habitations. Cependant, concernant ces deux villes, l'étude a révélé une préférence pour les voies animées où il existe des activités urbaines diverses.

Néanmoins, sur ces deux terrains d'études, la longueur métrique de la moitié des trajets effectués correspond au chemin le plus court disponible sur le réseau de voirie. Ainsi, le choix du trajet d'une partie seulement des piétons est conforme à l'approche du choix rationnel. Ainsi, l'analyse de la longueur topologique des trajets démontre qu'une part des itinéraires effectués sont les trajets les plus directs/les plus linéaires (ayant le moins de changements de direction). Ainsi, il résulte de cette recherche que si certains piétons sont rationnels concernant la longueur métrique de leurs trajets, d'autres critères, comme la distance topologique (le changement de direction), sont au centre de la décision relative au choix de trajet d'autres piétons.

Nous avons également analysé les trajets pratiqués en rapport avec la dimension structurelle du réseau de voirie. Pour ce faire, nous avons eu recours à la Syntaxe spatiale. Puisque la Syntaxe spatiale repose sur l'analyse topologique de la configuration de l'espace telle qu'elle est perçue par l'individu en mouvement (les lignes de vues), elle permet de mieux cerner le lien entre l'« espace perçu », l'« espace vécu » et les pratiques de l'espace. En effet, comme le souligne Lefebvre (1974), « l'espace perçu » est le produit de l'utilisation de l'espace physique dans la vie sociale et quotidienne de chaque individu. Il s'agit donc de la déformation individuelle et sociale de « l'espace vécu ». Nous avons donc déterminé les valeurs quantitatives de l'intégration et de la profondeur des segments de rue empruntés lors du trajet des piétons. Nous avons démontré que dans les deux villes, les segments de rues empruntés correspondent aux segments de rue hautement intégrés du réseau. Ceci a mis en évidence le fait qu'à Ispahan ainsi qu'à Tours les spécificités de la configuration du réseau de voirie (l'agencement topologique des tronçons de rue) contribuent au choix d'itinéraire des piétons. Cependant, si les individus ont choisi les trajets les **plus intégrés**, ce n'est pas parce qu'ils sont les plus intégrés, mais pour d'autres raisons qui entrent en résonance avec l'idée d'intégration. Dans ce qui suit, nous proposons les explications suivantes pour ces résultats.

> Tout d'abord, puisque les lignes les plus intégrées constituent les axes structurants du réseau, elles connectent également les axes les moins intégrés au reste du réseau. Ainsi, comme le soulignent Hillier et *al*. (1993) et Hillier (1996, 1999, 2007, 2010), ces axes structurants fonctionnent comme un système gravitaire au niveau local et global. Ils prennent ainsi en charge une partie plus importante des échanges internes et externes **depuis** et **vers** les axes moins

intégrés. De ce fait, comme les segments de rue les plus intégrés sont topologiquement centraux, ils ont une importance stratégique supérieure dans le réseau de voirie (Genre-Grandpierre et *al*., 2008). Ils sont donc davantage utilisés que les tronçons ségrégés. Ainsi, il est plus probable que les tronçons de rues les plus intégrés soient empruntés par les personnes pendant leurs trajets à pied (Koohsari et *al*. 2016).

Ensuite, le fait que les lignes les plus intégrées sont plus empruntées est dû à ce qui lie l'aspect structurel à l'aspect fonctionnel du réseau de voirie. En effet, conformément à la théorie du Mouvement Naturel, la configuration spatiale du réseau de voirie (l'aspect structurel du réseau) agit sur son aspect fonctionnel, et ces deux aspects agissent conjointement sur le comportement des piétons. De fait, la centralité topologique des tronçons de rues génère une centralité fonctionnelle de ces tronçons. Nous avons démontré que, à Ispahan et à Tours, les segments de rue hautement intégrés à l'ensemble du réseau rassemblent des fonctions urbaines diverses telles que les commerces, les services et les équipements. La mixité et la proximité des activités urbaines augmentent la disponibilité des lieux d'origine et de destination des déplacements au niveau local comme au niveau global. Cette disponibilité de la destination est liée à la présence de plusieurs destinations potentielles et non résidentielles (comme les commerces) et à leur diversité le long de ces rues (Hillier et Iida, 2005). Ceci contribue à son tour à privilégier le déplacement pédestre dans ces rues. Les rues fortement intégrées créent donc l'intérêt et l'occasion de se déplacer. Elles attirent les piétons, en partie grâce à la disponibilité des services et des usages du sol dont elles disposent. Dès lors, ces segments de rues ont plus de potentiel pour être sur le trajet des piétons. D'un autre côté, le choix de passer par des voies animées commercialement et socialement rencontre la nécessité, pour les commerces, de se positionner dans des voies aisément accessibles, facilement reconnaissable, et qui croisent d'autres voies de même type. Ceci rejoint l'idée de Koohsari et *al*. (2016) selon qui l'aspect configurationnel du réseau de voirie, et en particulier l'intégration des rues, détermine la localisation des fonctions urbaines, ce qui suscite de manière réciproque une fréquentation plus importante de ces rues par les piétons.

De plus, comme l'ont souligné Newman (1973), Bailly (1977), Whyte (1980), Jacob (1961), Gehl (1980), Lamiquiz et López-Dominguez (2015) et Ellard

(2016), la concentration des activités et la présence d'activités diversifiées peuvent mener à la coprésence des personnes, à la convivialité et à l'attractivité de l'environnement urbain. De ce fait, la densité de personnes et l'idée d'une ambiance positive (quoique parfois critiquée) s'autorenforcent réciproquement. En effet, la coprésence des personnes et l'environnement urbain animé contribuent à répondre aux besoins des piétons en matière de sentiment de sécurité et de bien-être social. En outre, nous constatons qu'en accord avec la théorie du Mouvement Naturel, la localisation des activités le long de ces axes assure le passage des personnes (les clients potentiels pour ces activités), tout en étant à proximité directe de zones résidentielles.

Enfin, nous nous référons aux remarques de Montello (2007) qui affirme (1) qu'étant donné que les rues les plus intégrées constituent les axes structurants du réseau et (2) qu'en raison du fait qu'elles sont reliées à un grand nombre de rues, elles sont donc susceptibles d'être plus familières et plus reconnaissables pour les personnes. Précisons que le résultat de notre enquête qualitative *a posteriori* confirme bien cela. D'ailleurs, les rues plus intégrées constituent les espaces topologiquement centraux du réseau (Hillier et *al*., 1993 ; Hillier, 2009 ; Koohsari et *al*., 2014). Elles peuvent donc fonctionner comme des lignes de repère (Peponis et *al*., 1990). Ces rues sont ainsi mieux connues et mieux gravées dans la mémoire des personnes (Space syntax, 2006 ; Dias, 2016). Ce sont les raisons pour lesquelles elles peuvent contribuer à une orientation plus aisée des piétons dans l'environnement urbain.

Pourtant, les raisons qui conduisent les individus à choisir les voies les plus intégrées ne sont pas forcément les mêmes : certains vont choisir tel itinéraire pour sa diversité d'usages et de personnes, d'autres vont choisir ce même trajet pour son offre commerciale. Ceci amène à devoir considérer les représentations et les subjectivités individuelles, ainsi que leur éventuel partage collectif. De plus, une artère considérée comme très densément fréquentée peut-être vécue par d'autres comme trop ou trop peu dense.

Au départ, il nous a semblé que l'influence de la configuration spatiale sur les préférences de choix d'itinéraire des marcheurs semblait être secondaire par rapport à d'autres facteurs tels que la minimisation de la distance métrique du trajet. Cependant, ce constat doit être nuancé. Puisque la configuration spatiale du réseau de voirie s'avère être un élément

fondamental de la localisation des activités, elle intervient en réalité indirectement comme facteur le plus important dans le processus d'orientation des piétons. Ainsi, pour nous, la configuration du réseau de voirie, telle qu'elle est considérée dans les travaux précédents (Cervero et Kockelman, 1997 ; Ewing et Cervero, 2001, 2010 ; Pouyanne, 2004 ; Barla et *al*., 2010 ; Noriza et *al*., 2013 ; Raulin et *al*., 2016), n'est pas seulement « un des facteurs » qui influencent la marche. Elle est plutôt **le** facteur moteur et principal de la localisation des activités et de la génération des déplacements des piétons. Pourtant nous insistons sur le fait que l'intégration spatiale n'est pas la cause du choix d'itinéraire, mais que les facteurs de choix coïncident avec le niveau d'intégration des rues. **Aussi, il faut bien considérer que la Syntaxe spatiale n'est pas un modèle explicatif, mais seulement un modèle descriptif relativement précis du comportement des piétons.**

Un autre apport de cette thèse consiste en une forme de mise à l'épreuve de la Syntaxe spatiale dans sa capacité à prédire le trajet de chaque piéton de manière individuelle (désagrégée). Notre thèse affirme que les mesures topologiques de la configuration spatiale du réseau de voirie, en plus d'influencer le mouvement des flux de piétons, a le potentiel pour influencer les comportements des piétons au niveau individuel (niveau désagrégé), notamment en ce qui concerne le choix des segments de rue à parcourir lors du trajet. Ceci s'oppose donc à l'idée d'Hillier et *al*. (1993) selon laquelle la configuration de l'espace ne détermine pas le mouvement des piétons au niveau individuel.

Ainsi, l'ensemble des approches et des méthodes ici développées de manière complémentaires les unes aux autres ont permis de constater que le réseau de voirie n'est pas un simple support neutre de déplacements pédestres. Nous confirmons donc l'hypothèse principale de cette thèse : **La structure du réseau de voirie, plus précisément ses attributs géométriques, topologiques et fonctionnels, génère des rôles fonctionnels et structurels variés pour chacun des segments de rues, ce qui, par conséquent, encourage les piétons à emprunter un itinéraire particulier.**

En dernier lieu, l'analyse de l'enquête qualitative avec les participants a donné accès aux explications des individus permettant ainsi de comprendre les représentations qui les ont motivés à pratiquer l'espace urbain. Malgré la prédominance de l'argument de la distance métrique dans cette enquête, un ensemble d'autres critères objectifs et subjectifs variés sont apparus assez rapidement à propos du choix du trajet à pied. Ceux-ci dépendent des besoins, des attentes et surtout des représentations individuelles et sociales de l'espace. Ainsi, il ressort

de cette recherche que les attentes des piétons à l'égard des dimensions matérielles et immatérielles de l'environnement de la marche dépendent avant tout du rapport que la personne entretient avec elle-même, avec les autres, mais aussi avec l'espace réel et perçu. « *Les comportements individuels ou de groupe sont directement déterminés par les représentations élaborées dans et à propos de la situation et de l'ensemble des éléments qui la constituent.* » Abric (1989, p.69). Pourtant, en croisant les représentations exprimées avec les comportements réels des personnes, nous avons identifié certaines divergences entre les préférences déclarées des personnes enquêtées et celles révélées lors de l'analyse des trajets effectivement effectués. Selon Giraud (2005), les préférences déclarées se fondent sur des raisons internes et elles correspondent mieux aux goûts et/ou aux désirs intrinsèques de l'individu. En revanche, d'après cet auteur, les préférences révélées sont formées au fur et à mesure des expériences de choix ; elles proviennent des éléments extérieurs et peuvent donc être le résultat de la nécessité de choisir. De plus, comme l'a souligné Moessinger (1996), les individus ne sont pas toujours capables d'analyser objectivement les raisons de leurs choix. À notre avis, l'incohérence entre les préférences révélées et déclarées peut s'expliquer selon trois raisons. **Premièrement**, les informations reconstruites à partir des descriptions des individus correspondent à une reconstruction de la réalité et donc à des représentations inexactes des personnes. Or, elles peuvent être en décalage par rapport au vécu des personnes. Ainsi, en accord avec Frémont (1999), Lefebvre (1974), Paulet (2002), Jodelet (1989) et Pumain et Saint-Julien (2004), les informations issues des descriptions des individus peuvent être sujettes à une déformation, une sous-estimation ou une surestimation par rapport à la réalité et aux comportements réels des personnes. **Deuxièmement**, comme l'a souligné Bailly (1974), l'enquête de déplacement *a posteriori* peut provoquer la déformation ou l'oubli des représentations des personnes de l'espace vécu. **Troisièmement**, certains facteurs entrant dans la décision pour tel ou tel itinéraire sont de nature inconsciente sans que la technique d'enquête par entretien conduise les enquêtés à verbaliser ces facteurs. Ceci confirme la complexité de la relation des piétons avec l'environnement urbain.

Enfin, nous concluons que bien que plusieurs aspects du réseau de voirie détiennent la capacité à influencer le choix du trajet des piétons, le milieu urbain, par ailleurs, ne doit pas être considéré comme un déterminant du comportement humain. Il existe « *un système d'interrelations dialectiques et permanentes entre l'individu et l'espace* » (Paulet, 2002, p.11). En effet, l'environnement est traité par l'individu en fonction de ses spécificités, mais il est nécessaire de prendre en compte les caractéristiques individuelles, sociales, ainsi que le

vécu des personnes dans cette relation (Dias, 2016). Le résultat de notre recherche confirme donc les constats de Lefebvre (1974), selon qui l'espace est à la fois produit de constructions individuelles et sociales tout comme producteur de réalités individuelles et sociales. **Dès lors, les chemins piétonniers sont formés à partir de la relation complexe qu'entretient l'individu avec l'environnement de la marche : en même temps qu'un individu planifie son itinéraire à partir de ses critères objectifs et subjectifs reposant sur ses besoins et ses attentes, l'environnement et le contexte de la marche conditionnent, en retour, ces choix d'itinéraires.**

Dans l'ensemble, nous confirmons donc la deuxième et la troisième hypothèse de cette thèse :

La manière dont les piétons perçoivent et se représentent l'environnement de la marche influence leurs évaluations concernant les trajets potentiels, ce qui les amènent à effectuer un trajet spécifique plutôt qu'un autre.

Le choix d'itinéraire suit un processus mental complexe reposant sur un ensemble de critères objectifs et subjectifs, influençant de manière consciente ou inconsciente l'établissement de préférences pour le choix d'un trajet parmi un ensemble d'alternatives potentielles.

Les perspectives de recherche

La combinaison des méthodes et des analyses appliquées dans cette thèse est en mesure d'apporter des pistes d'aide à la décision, en particulier à l'échelle locale. En effet, cette combinaison de méthodes et d'analyses constitue un outil de décision pertinent pour concevoir des politiques d'aménagement et d'urbanisme adaptées aux besoins et aux attentes des piétons.

Les modèles quantitatifs considèrent que les piétons ont des capacités physiques, mentales et cognitives égales et qu'ils cherchent à optimiser leurs ressources (de temps et d'énergie cognitive ou/et physique ; Perduea, 2019). En général, les méthodes modélisatrices ignorent les différences individuelles, culturelles et sociales, ainsi que le contexte du déplacement. Compte tenu des limites de notre recherche, et puisque nous avons plutôt mis l'accent sur l'analyse du réseau de voirie, nous ne nous sommes pas investie dans une méthode d'enquête plus approfondie sur les piétons. Cependant, il nous a semblé important d'explorer le rôle de l'analyse du réseau de voirie dans le choix des piétons pour un trajet plutôt que pour un autre.

Au regard des résultats de cette recherche et de leur utilité, nous considérons ce choix comme judicieux. Nous avons par ailleurs souhaité élargir cette analyse en ajoutant à notre recherche un volet qualitatif reposant sur une méthode d'enquête. Ce volet mérite d'être investigué plus profondément. Ainsi, il serait possible, dans l'optique d'améliorer et d'approfondir la compréhension du comportement des piétons et de leur choix d'itinéraire, de mettre l'accent sur les approches du choix cognitif, sur les méthodes d'entretiens qualitatifs et/ou sur des analyses anthropologiques approfondies.

Ces recherches permettront également de diminuer le décalage qui existe entre l'environnement marchable tel qu'il est conçu par les experts et les professionnels de l'urbanisme et l'environnement marchable tel qu'il est attendu ou perçu par les usagers. De plus, les études plus approfondies sur le déplacement à pied sont particulièrement importantes, car la marche en ville pour un individu donné est l'expression d'un rapport à tout ce qui l'environne : un rapport à l'espace réel et perçu, un rapport au temps, un rapport à l'autre et à la société et, aussi, un rapport à soi en particulier.

De plus, puisque généralement les études sur le déplacement à pied se concentrent majoritairement sur les personnes valides, afin de mieux cerner l'égalité sociale et d'assurer la présence de tous les groupes sociaux dans les milieux urbains, il nous semble important de savoir quel rapport les piétons invalides, âgés, ou bien les enfants entretiennent avec l'environnement urbain.

Il nous semble également pertinent d'étudier le comportement des piétons selon leurs motifs de déplacement, leurs caractéristiques socio-économiques, leur lieu de résidence, leur genre, etc.

Lors de nos enquêtes qualitatives, nous avons été confrontée à des représentations et à des réactions très variées vis-à-vis de la foule, notamment en fonction du terrain d'étude (à Tours et à Ispahan), de l'âge et du genre des personnes enquêtées. Par exemple à Tours, nous avons noté que la sensibilité par rapport à la foule est plus élevée ainsi que le développement de certaines stratégies d'évitement de la foule. Il nous semble donc intéressant d'explorer les perceptions et les représentations des piétons concernant la marche dans les centres-villes et les autres espaces publics ouverts où il y a la foule. Comment les différentes spécificités culturelles, individuelles et sociales contribuent-elles aux représentations et vécus des espaces urbains animés ?

Enfin, des facteurs circonstanciels tels que la situation sanitaire actuelle (le COVID) et les mesures de distanciation sociale, ainsi que les jours suivants des attentats peuvent amener certains piétons à modifier leurs comportements dans l'espace urbain. Ainsi, l'étude des comportements des personnes dans ce genre de situation, notamment les critères de choix du trajet des piétons, peut constituer une piste de recherche pour l'avenir.

Bibliographie

- ABRIC, Jean-Claude, « L'étude expérimentale des représentations sociales », in Jodelet, Denise (dir.), *Les représentations sociales*, Paris, Presses Universitaires de France, 1989, pp. 205-213.

- ADAM, Matthieu, *La production de l'urbain durable, L'enrôlement des concepteurs et des habitants par l'intégration des contradictions*, Paris, Université François-Rabelais de Tours, Thèse de doctorat, 14 juin 2016, 2135 p.

- ALDHUY, Julien, « Identité, catégorisation socio-spatiale et mobilité : être urbain et se penser rural ? », *TIGR* (*Travaux de l'Institut Géographique de Reims*), Vol. 29-30, N° 115-118, 2003, pp. 45-58

- ALEXANDER, Christopher, *A City is Not a Tree*, Mijnbestseller.nl, 1964, 236 p.

- ALFONZO, Mariela A. « To walk or not to walk? The hierarchy of Walking Needs », *Environment and behavior*, November 2005, Vol. 37 :6, pp. 808-836, URL : https://doi.org/10.1177/0013916504274016

- ALONSO, William, *Location and Land Use: Toward a General Theory of Land Rent*, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 1964, 204 p.

- AMAR, Georges et Michaud, Véronique, *La marche au cœur des mobilités : Etat des connaissances*, CERTU, novembre 2009, 64 p.

- APPLEYARD, Donald et *al*., *The View from the Road*, Cambridge, MA : MIT Press 1964, 64 p.

- APPLEYARD, Donald, *The Conservation of European Cities*, Cambridge, MA: MIT Press, 1979, 407 p.

- APPLEYARD, Donald, *Livable Streets*, University of California Press, Berkeley, 1981, 382 p.

- APPLEYARD, Donald, *Planning a Pluralist City: Conflicting Realities in Ciudad Guayana*, Cambridge, MA: MIT Press, 2003, 322 p.

- ARNAUD, Banos et *al*. « Stimuler les déplacements de piétons dans des environnements dynamiques ». Chapitre 4 in *Mobilités urbaines et risques des transports, approches géographiques*, Lavoisier, 2010, 244 P.

- AUSSERER, Karin et *al*., « Tasks of pedestrians and principles for simplification of those tasks », in 358 *PQN (Pedestrians' Quality Needs) Final Report, Part B1:*

Documentation, Functional Needs, Walk 21, COST (the acronym for European Cooperation in Science and Technology), Cheltenham (United Kingdom), 2010, pp.109-125 (310 p.)

- AYVAZIAN, Simon et *al*., *Maisons d'Ispahan*, Maisonneuve et Larose, Paris, 2002, 250 p.

- AZARM, Zahra et *al*., « Investigating the Nature of Urban Space Transformation in Historic Cities of Iran (Case Study: Isfahan) », *Bagh-e Nazar Journal* (en persan), 2019, Vol. 16 :73, pp. 29-40, URL: http://www.bagh-sj.com/article_88990.html

- BACHIRI, Nabila et DESPRÉS, Carole, « Mobilité quotidienne dans la communauté métropolitaine de Québec d'adolescents résidant en territoires rurbains », *Enfance, Familles, Générations*, N° 8, 2008, URI : https : //id.erudit.org/iderudit/018490ar

- BAILLY, Antoine S., « Distances et espaces : vingt ans de géographie des représentations », *L'espace géographique*, 1985, N° 3, pp. 197-205

- BAILLY, Antoine S., « Perception de la ville et déplacement. L'impact de la mobilité sur le comportement », *Cahiers de géographie du Québec*, 1974, Vol. 18, N° 45, 17 p.

- BAILLY, Antoine S. *La perception de l'espace urbain les concepts, les méthodes d'étude, leur utilisation dans la recherche urbanistique*, CRU, 1977, 264 p.

- BAILLY, Antoine S. et *al*., *Représenter la ville*, Economica, 1995, 112 p.

- BAILLY, Antoine S. et Ferras Robert, *Éléments d'épistémologie de la géographie*, Armand Colin, 2e édition, Paris, 2004, 191 p.

- BANOS, Arnaud et THÉVENIN Thomas, *Mobilités urbaines et risques des transports, approches géographiques*, Lavoisier, 2010, P. 244

- BAPTISTE, Hervé et *al*., « Quelles capacités des traceurs GPS à rendre compte des pratiques de mobilité quotidienne ? Une application sur des territoires de faible densité en Indre et Loire (37, France) », *Lucrările Seminarului Geografic Dimitrie Cantemir*, 2018, Vol. 46, No 1, Octobre pp. 41-64, DOI:10,155 51/lsgdc.v46i1.03

- BARAN, Perver et *al*., «Space Syntax and Walking in a New Urbanist and Suburban Neighbourhoods», *Urban Design*, 2008, Vol. 13 :1, pp. 5-28

- BARTHÉLEMY, Marc et FLAMMINI, Alessandro, « Modeling urban street patterns », *Physical Review Letters*, 2008, Vol. 100, 4 p.

- BASBAS, S. et *al*., «Pedestrian Functional and Perceived Needs in the Urban Environment», *International Conference on Accessibility and Safety for All Thessaloniki*, 2009, pp. 15-22

– BASBAS, S. et *al.*, «Factors and mechanisms which determine the outcome of strategic decisions with regard to walking», in 358 *PQN (Pedestrians' Quality Needs) Final Report, Part B1: Documentation, Functional Needs*, Walk 21, Cheltenham (United Kingdom), 2010a, pp. 128-155 (310 p.)

– BASBAS, S. et *al.*, «Pedestrians' needs in the urban environment: the case of the city of Trikala», Greece, WIT Press, WIT *Transactions on The Built Environment*, 2010b, Vol. 111

– BIVINA, G.R. et PARIDA, Manoranjan, « Prioritizing pedestrian needs using a multi-criteria decision approach for a sustainable built environment in the Indian context », *Environment, Development and Sustainability*, 2020, Vol. 22, pp. 4929-4950

– BLEČIĆ, Ivan et *al.*, «Planning and Design Support Tools for Walkability: A Guide for Urban Analysts», *Sustainability*, 2020, 20 p. DOI:10.3390/su12114405

– BONNET, Emmanuel et LASSARRE, Sylvain, « Analyse spatiale des déplacements des piétons en milieu urbain du point de vue des traversées afin d'évaluer l'exposition au risque d'accident », *Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement*, 2008, 13 p., DOI : https://doi.org/10.4000/tem.1002

– Boone-Heinonen, J. et *al.*, « Walking for prevention of cardiovascular disease in men and women: a systematic review of observational studies », *Obesity Review*, 2009, Vol. 10:2, pp. 204-217

– BRAAKSMA, John P. et COOK, W. Jordan, «Human Orientation in Transportation Terminals», *Transportation Engineering Journal* of ASCE, 1980, Vol. 2, pp.189-203.

– BRÈS, Antoine, « Le système des voies urbaines : entre réseau et espace », *FLUX*, 1998, N° 34, pp. 4-20

– BREUX, Sandra et *al.*, « Apports et potentialités de l'utilisation de la carte mentale en science politique », *TRANSEO, Figurer l'espace en sciences sociales*, janvier 2010, N° 2-3, URL : http : //hdl.handle.net/2268/28605

– BRIEY, Laurent et *al.*, « La mobilité », *Les cahiers du CEPESS (Centre d'Etudes Politiques, Economiques et sociales)*, 2006, 45 p.

– BRISBOIS, Xavier, *Le processus de décision dans le choix modal : importance des déterminants individuels, symboliques et cognitifs*, Thèse de doctorat : Université Pierre Mendès-France - Grenoble II, 2010, 259 p.

– BRUNET, Lucie, *Etude ergonomique de la modalité haptique comme soutien à l'activité de déplacement piéton urbain : un projet de conception de produit innovant*, Thèse de doctorat : Université Paris Sud - Paris, 2014, 202 p.

- BRUNO, Dufaÿ, « In Tours antique et médiéval. Lieux de vie, temps de la ville 40 ans d'archéologie urbaine », *Revue archéologique du Centre de la France* (Sous la direction de Henri Galinié), Tome 47, 2008, 12 p., URL : http://journals.openedition.org/racf/1250

- CARLO, Ratti, « Urban texture and space syntax: some inconsistencies », *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2004, Vol. 31

- CERVERO, Robert et KOCKELMAN Kara, « Travel demand and the 3Ds: density, diversity, and design », *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 1997, Vol. 2 : 3, pp. 199-219

- CERVERO, Robert et DUNCAN, Michael, «Walking, Bicycling, and Urban Landscapes: Evidence from the San Francisco Bay Area», University of California, Transportation Center Working Paper, 2003, 14 p.

- CERVERO, Robert et *al*., «Influences of Built Environments on Walking and Cycling: Lessons from Bogotá», *International Journal of Sustainable Transportation*, Vol. 3:4, 2009, pp. 203-226

- CHARRON, Mathieu et SHEARMUR, Richard, « Distances, interactions et analyse spatiale de la ville : le cas de Montréal », *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, Armand Colin, 2005/2 avril, pp. 163-192, URL : https://www.cairn.info/revue-d-economie-regionale-et-urbaine-2005-2-page-163.htm

- CHAUDET, Beatrice, *Handicap, vieillissement et accessibilité : Exemples en France et au Québec*, Thèse de doctorat : Université d'Angers, 2009, 471 p.

- CHELKOFF, Grégoire, « Expérimenter l'ambiance par l'architecture », *Ambiances Environnement sensible, architecture et espace urbain*, 2018, Vol. 4, 15 p.

- CHEN, Jui Lin et STANNEY, Kay, « A Theoretical Model of Wayfinding in Virtual Environments: Proposed Strategies for Navigational Aiding », *Presence*, 1999, Vol. 8 :6, pp. 671-685

- CHENG, Lin et *al*., « A review of pedestrian group dynamics and methodologies in modelling pedestrian group behaviours », *World Journal of Mechanical Engineering*, September 2014, Vol. 1 :1, pp. 02-13

- CHIARADIA, Alain, « La codification des réseaux piétons et le choix d'itinéraires », *Colloque International Francophone Piéton*, Montréal, 2013, 14 p.

- CHOI, An-Seop et *al*., « Application of the space syntax theory to quantitative street lighting design », *Building and Environment*, 2006, Vol. 41, pp. 355-366

- CHU, S. C. H., « When and Why Do People Walk in the City: The Influence of Urban Elements onTime-Pattern of Pedestrian Movement », *6e International Walk 21 Conference*, Zurich, September 2005, 13 p.

- CLAVAL Paul, « Réflexions sur la centralité », *Cahiers de géographie du Québec*, 2000, Vol. 44 : 123, pp. 285-301, URL : https://id.erudit.org/iderudit/022922ar

- COUREL, Jérémy et DEGUITRE, Lucien, *Les déterminants du choix modal. Synthèse des connaissances scientifiques*, L'institut paris région, Février 2020, 77 p. URL : www.institutparisregion.fr

- CRANE, Randall, «*The Influence of Urban Form on Travel: An Interpretive Review*», *Planning Literature*, 2000, Vol. 15:1, pp. 3-23

- CULLEN, Gordon, *Concise Townscape*, London : Van Nostrand Reinhold Company, 1961, p.199

- DAI, Xiaoling et WENBO, Yu, « A configurational exploration of pedestrian and cyclist movements: Using Hangzhou as a case study, China », *9e International Space Syntax Symposium*, Seoul, 2013, 11 p.

-DALTON, Ruth Conroy et *al*., « Wayfinding as a Social Activity », *Frontiers in Psychology*, 2019, Vol. 10:142, 14 p. URL : https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00142

-DARKEN, Rudolph et *al*., « Spatial Orientation and Wayfinding in Large-Scale Virtual Spaces II Guest Editors' Introduction », *Presence, Teleoperators and virtual environments*, 1999, Vol. 8 : 6, pp. 101-107

- DARKEN, Rudolph et PETERSON, Barry, *Spatial orientation, wayfinding, and representation*, Handbook of Virtual Environment Technology. Stanney, 2001, 24 p.

- DEBARBIEUX, Bernard, « Les problématiques de l'image et de la représentation en géographie », *Les concepts de la géographie humaine*, Paris, Armand Colin, 1998, pp. 199-211

- DEKOSTER, J. et SCHOLLAERT, U., *Villes cyclables villes d'avenir,* Commission européenne dg XI-Environnement, sécurité nucléaire et protection civile 2000, 63 p.

- DELL'ASIN, Giulia, «A qualitative approach to assessing the pedestrian environment, (pp. 23–40), 358 PQN (Pedestrians' Quality Needs) Final Report, Part B1: Documentation, Functional Needs, Walk 21», COST (the acronym for European Cooperation in Science and Technology), Cheltenham (United Kingdom), 2010, pp.1-310,

- DENIS, Michel et *al*., «Pedestrian Wayfinding in Urban Settings: Why References to Landmarks are Crucial in Direction-Giving», Chapitre 2 in *Applied Spatial Cognition*, Psychology Press, 1ère édition, September, 2006, pp. 25-50 (414 p.)

- DEPEAU, Sandrine, «Radioscopie des territoires de la mobilité des enfants en milieu urbain. Comparaison entre Paris intra-muros et banlieue parisienne», *Enfances, Familles, Générations*, No. 10, 2005, p. 1-22

- DEPEAU, Sandrine, « De la représentation sociale à la cognition spatiale et environnementale : La notion de «représentation» en psychologie sociale et environnementale », *UMR ESO - Rennes* N° 25, décembre 2006, pp. 29-35

- DEPEAU, Sandrine et QUESSEVEUR Erwan, « A la recherche d'espaces invisibles de la mobilité », *Netcom Association*, 28-1/2, 2014, URL : http://netcom.revues.org/1539

- DEPEAU, Sandrine et *al*., «Children's mobility is also part of parent's ways of life. A psychological and time-geographical exploratory crossed analysis», *24e International Association People Environment Studies (IAPS) Conference, The human being at home, work and leisure. Sustainable use and development of indoor and outdoor spaces in late modern everyday life*, Lund, Suède, 2016

- DEROUX, Clélie, *Développer la pratique de la marche à pied dans les métropoles : enjeux et mise en place d'un programme d'actions*, Architecture, aménagement de l'espace. 2016, 88 p.

- DERYCKE, Pierre-Henri et *al*., *Penser la ville : théories et modèles*, Economica, 1993, 335 p.

- DI MÉO, Guy, « De l'espace subjectif à l'espace objectif : l'itinéraire du labyrinthe », *L'espace géographique*, Tome 19-20, N° 4, 1990, pp. 359-373

- DI MÉO, Guy, « Patrimoine et territoire, une parenté conceptuelle », *Espaces et Sociétés*, N° 78,1994, pp. 15-34.

- DI MÉO, Guy, *Géographie sociale et territoires*, Nathan Université, 2001, 317 p.

- DI MÉO, Guy, *Introduction à la géographie sociale*, Paris : Armand Colin, 2014, 189 p.

- DIAS, Pierre, *Les représentations spatiales de la ville et les mobilités quotidiennes au prisme des positions sociales : une approche socio-cognitive des ségrégations socio-spatiales*, Thèse de doctorat : Université de Strasbourg, 2016, 398 p.

- DREVON, Guillaumeet et *al*., « Évaluation comparée de l'apport de l'assistance GPS aux enquêtes de mobilité », 2014, 13 p. URL: https://doi.org/10.4000/netcom.1527

- DUPUY, Gabriel, *La dépendance automobile. Symptômes, analyses, diagnostic, traitements*, Collection Villes, Paris, Janvier 1999, 166 p.

- DUANY, Andres et *al*., *Suburban nation: The rise of sprawl and the decline of the American dream*, New York, NY: North Point Press, 2000, 290 p.

- DUPUY, Gabriel, *La réduction de la dépendance automobile, Cahiers Lillois d'Economie et de Sociologie*, N° 37, 2001, pp. 61-86

- DUPUY, Gabriel, « RÉSEAUX, philosophie de l'organisation », *Encyclopædia Universalis*, Paris, 2002, pp. 743-750

- DUPUY, Gabriel, *La dépendance à l'égard de l'automobile*, Paris, Prédit, La Documentation Française, Collection « Le point sur », 2006, 93 p.

- DURKHEIM, Émile, « Représentations collectives et représentations collectives », *Revue de Métaphysique et de Morale*, janvier 1898, pp. 273-302, URL : https : //gallica.bnf.fr/ark:/12 148/bpt6k11052n/f279.item.texteImage

- ELLARD, Colin et ELLER, Meghan, « Spatial cognition in the gerbil: computing optimal escape routes from visual threats », *Animal Cognition*, 2009, Vol. 12 :2, pp. 333-45. DOI : 10,100 7/s10071-008-0193-9

- ELLARD, Colin, *Vous êtes ici, Pourquoi les hommes sont capables d'aller sur la lune et se perdent dans un parc*, (Traduit par : Jean-Rémi Alisse), Seuil, 2016, 336 p.

- EWING, Reid et CERVERO, Robert, *Travel and the Built Environment: A Synthesis*, *Transportation Research Board*, 2001, Vol. 1780:1, pp. 87-114

- EWING, Reid et *al*., *Identifying and Measuring Urban Design Qualities Related to Walkability-Final Report*, Princeton, NJ: Robert Wood JohnsonFoundation, 2005, 78 p. www.activelivingresearch.org/downloads/finalreport_071605.pdf

- EWING, Reid et HANDY, Susan, « Measuring the Unmeasurable: Urban Design Qualities Related to Walkability », *Urban Design*, 2009, Vol. 14:1, pp. 65-84, URL : http://dx.doi.org/10.1080/13574800802451155

- EWING, Reid et CERVERO, Robert, **«**Travel and the Built Environment A Meta-Analysis», *American Planning Association*, Chicago, Vol. 76, No. 3, Summer 2010, DOI 10.1080/01944361003766766

- EWING, Reid et CLEMENTE, Otto, *Measuring Urban Design Metrics for Livable Places*, ISLAND Press, Londre, 2013, 192 p.

- FALAHAT, Somaiyeh et SHIRAZI, M. Reza, « Spatial fragmentation and bottom-up appropriations: the case of Safavid Isfahan », *Urban History*, 2014, Vol. 42, Cambridge University Press, DOI: https://doi.org/10.1017/S0963926814000133

- FARR, Anna Charisse et *al*., « Wayfinding: A simple concept, a complex process », *Transport Reviews*, 2012, Vol. 32:6, pp. 715-743, URL : https://doi.org/10.1080/01441647.2012.712555

- FEILDEL, Benoit et *al*., « Les imaginaires de la mobilité. De possibles ressorts pour la mise en durabilité des espaces périurbains ? », *Recherche Transports Sécurité*, 2014, Vol. 30, N° 2-3, pp. 143-160

- FERRER, Sheila et *al*., « A qualitative study on the role of the built environment for short walking trips », *Transportation Research*, Part F 33, 2015, pp. 141–160

- FERRER, Sheila et RUIZ, Tomás, « The impact of the built environment on the decision to walk for short trips: Evidence from two Spanish cities », *Transport Policy*, 2017, p. 10, URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.04.009

- FOLTÊTE, Jean-Christophe et *al*., *Structures urbaines, offres de transport et comportement de mobilité*, Rapport de recherche ACI Ville, Ministère de l'Enseignement de la Recherche et de la Technologie, 2002, ⟨hal-00954682⟩

- FOLTÊTE, Jean-Christophe, « Quel rôle du réseau de voirie urbaine sur la distribution des flux piétonniers ? », *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, AFITL, N° 52, 2007, pp. 27-44

- FOLTÊTE, Jean-Christophe et *al.*, « Impacts des réseaux viaires sur les mobilités urbaines », Chapitre 5 in *Information géographique et dynamiques urbaines-Tome 1 Analyse et simulation de la mobilité des personnes.* Lavoisir, 2008, 290 p.

- FOLTÊTE, Jean-Christophe et PIOMBINI, Arnaud, « Caracteriser les déplacements piétonniers dans leur environnement urbain », Chapitre 3 in *Mobilités urbaines et risques des transports, approches géographiques*, Lavoisier, 2010, 244 p.

- FOUILLÉ, Laurent, *Entropie et anthropologie : dépendance automobile et fin du pétrole, Énergie & Société Sciences, gouvernances et usages*, Edisud, Aix en Provence, 2009, 235 p.

- FRANK, Lawrence et *al*., « The Development of a Walkability Index: Application To the Neighborhood Quality of Life Study », *British Journal of Sports Medicine Published*, April 2009, URL : http://dx.doi.org/10.1136/bjsm.2009.058701

- FRÉMONT, Armand, *La région, espace vécu*, Paris, Flammarion, 1999, 288 p.

- GAISBAUER, Christian et FRANK, Andrew, « Wayfinding Model For Pedestrian Navigation », *11e AGILE International Conference on Geographic Information Science*, University of Girona, Spain, 2008, 9 p.

- GALINIÉ, Henri. (Sous la direction), « Tours antique et médiéval. Lieux de vie, temps de la ville. 40 ans d'archéologie urbaine », *30e supplément à la Revue archéologique du centre de la France (RACF)*, Numéro spécial de la collection Recherches sur Tours, FERACF, 2007, 440 p.

- GALLAGHER, Nancy Ambrose et *al.*, «Neighborhood Factors relevant for Walking in Older, Urban, African American Adults», *Aging and Physical Activity*, 2010, Vol. 18 :1, pp.99-115.

- GÄRLING, Tommy et *al.*, « Cognitive mapping of large-scale environments: The interrelationship of action plans, acquisition, and orientation », *Environment and Behavior*, Vol. 16, N° 1, pp. 3-34

- GEBEL, Kalus et *al.*, «Correlates of non-concordance between perceived and objective measures of walkability», *Annals of Behavioral Medicine*, 2009, Vol. 37, pp. 228-238.

- GEBEL, Kalus et *al.*, «Mismatch between perceived and objectively assessed neighborhood walkability attributes: Prospective relationships with walking and weight gain», *Health and Place*, 2011, Vol. 17 :2, pp. 519-524

- GEHL, Jan, *Life Between Buildings: Using Public Space*, Van Nostrand Reinhold, 1980, 202 p.

- GEHL, Jan, *Cities for People*, Island Press, 2010, 288 p.

- GENRE-GRANDPIERRE, Cyrille, « Laisser leur chance aux modes non mécanisés par l'aménagement des réseaux routiers », *V^e rencontre de Théo Quant*, Février 2001, 12 p.

- GENRE-GRANDPIERRE, Cyrille et FOLTÊTE, Jean-Christophe, « Morphologie urbaine et mobilité en marche à pied », *3e Colloque du Groupe de Travail Mobilités spatiales et fluidité sociale (GT23) : Offre urbaine et expériences de la mobilité*, Strasbourg, mars 2003, 21 p., URL : https://doi.org/10.4000/cybergeo.3925

- GENRE-GRANDPIERRE, Cyrille et *al.*, *Construire des réseaux cyclables, Méthode pour l'élaboration, de réseaux cyclables en milieu urbain*, PREDIT, 2008, 20 p.

- GIBOUT, Christophe, « La « sur-mobilité» : une question de genre ? », in Sylvette Denèfle (dir), *Femmes et villes*, Presses universitaires François-Rabelais, Tours, 2004, pp. 155-165 (539 p.)

- GIUST-DESPRAIRIES, Florence, « Représentation et imaginaire », in *Vocabulaire de psychologie*, Positions et références, Erès, 2004, pp. 231-250.

- GODILLON, Sylvanie et CLOUTIER Marie-Soleil, « Sur le chemin de l'école : perceptions de parents et d'enfants du primaire face au risque routier lors de la mise en place d'un Trottibus au Québec », *Enfances Familles Générations*, 2018, Vol. : 30, 26 p.

- GOLLEDGE, R., «Path selection and route preference in human navigation: A progress report», *In Spatial Information Theory A Theoretical Basis for GIS*, Berlin, 1995, pp. 207-222, DOI:10.17815/CD.2016.9

- GOLLEDGE, R., «Human cognitive maps and wayfinding», *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes*, Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1999, pp. 1-45

- GOLLEDGE, R. et GÄRLING, T., «Spatial behavior in transportation modeling and planning», Chapitre 3 in Kostas Goulias (dir), *The Transportation and Engineering, Transportation systems planning: Methods and applications*, New York: CRC Press, 2001, 37 p., URL : http://worldcat.org/isbn/0849302730

- GOLLEDGE, R. et GÄRLING, T., «The role of spatial cognition in transport», in *Handbook of transport geography and spatial systems*, Amsterdam: Pergamon, 2004, pp. 501-512

- GOULD, Peter et WHITE Rodney, *Mental Maps*, Penguin Books Inc., New York. 1974, 208 p.

- GRISON, Elise, *Planifier et choisir un itinéraire en milieu urbain : approches plurielles d'un problème cognitif,* Thèse de doctorat : Université paris Descartes, Novembre 2015, 287 p.

- GUILLOUET, Yves, « Esquisse d'une étude de l'espace vécu chez l'enfant », *Supplément aux Cahiers de géographie de Caen*, 1973, pp.81-98

- GUMUCHAIN, Hérvé, *Représentations et aménagement du territoire*, Anthropos, Diffusion, Economica, 1991, 143 p.

- GUO, Qiang et *al*., «The effect of road network patterns on pedestrian safety: Azone-based Bayesian spatial modeling approach», *Accident Analysis and Prevention*, 2017, Vol. 99, pp. 114-124

- HABIB, Farah et HANAEI, Toktam, «Investigation of Men's and Women's Rout-Finding in Urban Spaces», *Armanshahr Architecture & Urban Development* (en persan), 2017, N° 19, pp. 95-106

- Haghighat-Bin, Mehdi et BOSTANI, Sima, « Silk road and isfahan's garden city sustainability during safavid period », *4e International Conference, Mukogawa Women's University*, Nishinomiya, Japan, July 2016, 166-169 pp.

- HAHMA, Yeankyoung et *al*., « Do built environments affect pedestrians' choices of walking routes in retail districts? A study with GPS experiments in Hongdae retail district in Seoul, South Korea », *Habitat International*, 2017, Vol. 70, pp. 50-60

- HALL, Edward, *The Hidden Dimension*, Garden City, N.Y., Doubleday, 1966, 240 P.

- HAMAINA, Rachid et *al*., « Caractérisation des tissus urbains à partir de l'analyse structurelle des réseaux viaires», *Cybergeo : European Journal of Geography, Systèmes*,

Modélisation, Géostatistiques, document 581, janvier 2012, 13 p., URL : https://doi.org/10.4000/cybergeo.25009

- HAMER, M. et CHIDA, Y., « Walking and primary prevention: a meta-analysis of prospective cohort studies », *British Journal of Sports Medicine*, 2008, Vol. 42 :4, pp. 238-243.

- HANDY, Susan et *al.*, **«**How the Built Environment Affects Physical Activity Views from Urban Planning», *American Journal of Preventive Medicine*, 2002, Vol. 23 : 2 S, pp. 64-73

- HEDAYAT, Mahmoud, « Urban growth and spatial structure of Isfahan and its suburb », *Geographical Researches* (en persan), 2001, N° 16, pp. 112-124, file:///C :/Users/216 099~1/AppData/Local/Temp/55313806006.pdf

- HILLIER, Bill et *al.*, « Creating life: or, does architecture determine anything? », *Architecture and Behaviour*, 1987, Vol. 3 : 3, pp. 233–250.

- HILLIER, Bill, « La morphologie de l'espace urbain : l'évolution de l'approche syntaxique », (traduit de l'anglais par Anne Noschis), *Architecture et Comportement (Architecture and Behaviour)*, 1987, Vol. 3, N° 3, pp. 205-216

- HILLIER, Bill et *al.*, «Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement», *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1993, Vol. 20, pp. 29-66

- HILLIER, Bill, «The hidden geometry of deformed grids: or, why space syntax works, when it looks as though it shouldn't», *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1999, Vol. 26, pp. 169-191

- HILLIER, Bill et *al.*, «Self-generated Neighbourhoods: the role of urban form in the consolidation of informal settlements», *Urban design international*, August 2000, Vol. 5:2, pp. 61–96

- HILLIER, Bill et IIDA Shinichi, «Network effects and psychological effects: a theory of urban movement», *International conference on Spatial Information Theory, Spatial Information Theory*, 2005, pp. 475-490

- HILLIER, Bill et VAUGHAN Laura, «The City as One Thing», *Progress in Planning*, 2007, Vol. 67: 3, pp. 205-230, DOI:10.1016/j.progress.2007.03.001

-HILLIER, Bill, *Space is the machine*, Edition électronique, 2007, www.spacesyntax.com, 368 p.

- HÖLSCHER, Christoph et *al.*, «Would you follow your own route description? Cognitive strategies», *Urban route planning, Cognition*, 2011, Vol. 121: 2, pp. 228-247. DOI: 10.1016/j.cognition.2011.06.005

- HUELAT, Barbara, *Wayfinding: Design For Understanding*, The Center For Health Design, 2007, 23 p.

- HUGUENIN-RICHARD, Florence et *al.*, « La marche à pied chez les personnes âgées : enjeux de mobilité et de sécurité », *Actes du colloque Bien vieillir en milieu urbain : le parcours dans l'espace et dans le temps*, 2014, 13 p., URL : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01358987

- HUGUENIN-RICHARD, Florence et *al.*, « Piétons âgés : leur mobilité au prisme de l'accessibilité et de la sécurité », Chapitre in *Vieillissement et Mobilité*, PREDIT, 2015, pp. 55-77

- HURIOT, Jean-Marie et PERREUR, Jacky, « *Distances, espaces et représentations* », Rapport de recherche, Institut de mathématiques économiques (IME), 1990, 35 p.

- JACEK, Malasek, «Walking accessibility of public transport modes», in 358 *PQN (Pedestrians' Quality Needs) Final Report, Part B1: Documentation, Functional Needs*, Walk 21, COST, Cheltenham (United Kingdom), 2010, pp. 239-246 (310 p.)

- JACOBS, Jane, *The Death and Life of Great American Cities*, Random House, New York, Modern Library, 1961, 598 p.

- JGUIRIM, Ines, *Modélisation et génération d'itinéraires contextuels d'activités urbaines dans la ville,* Thèse de doctorat : École Doctorale des Sciences de la Mer, novembre 2016, 176 p.

- JIANG, Bin et *al.*, «Integration of space syntax into GIS for modelling urban spaces», *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2000, pp. 161-171

- JIANG, Bin et *al.*, «Integration of Space Syntax into GIS: New Perspectives for Urban Morphology», *Transactions in GIS*, 2002, Vol. 6 :3, pp. 295-309

- JODELET, Denise, *Les représentations sociales*, Paris : Presses universitaires de France, 1989, 447 p.

- Jonietz David, « Personalizing Walkability: A Concept for Pedestrian Needs Profiling Based on Movement Trajectories », Chapitre in *Geospatial Data in a Changing World-Selected papers of the 19e AGILE Conference on Geographic Information Science*, (Sarjakoski Tapani et al.), 2016, pp. 279-295, DOI: 10.1007/978-3-319-33783-8_16

- JUAN, Torres, « Mobilité quotidienne et design urbain : la transposition du modèle Quartiers verts à Montréal », *La revue électronique en sciences de l'environnement*, Hors-série, Mai 2012, URL : http://vertigo.revues.org/11773

- KANG, Chang-Deok, «The effects of spatial accessibility and centrality to land use on walking in Seoul, Korea», *Cities 46*, 2015, pp. 94-103

- KANMEUGNE, Patrick Simo, *Simulation crédible des déplacements de piétons en temps réel : modèle microscopique à influence macroscopique,* Thèse de doctorat : Université Pierre et Marie Curie- Paris VI, Avril 2015, 160 p.

- KANT, Emmanuel, *Critique de la Raison pure*, Cyril Arnaud, Kant, 2017, 148 p.

- KARIMI, Kayvan, *Continuity and change in old cities; An analytical investigation of the spatial structure in iranian andenglish historic cities before and after modernisation*, Thèse de doctorat : The Bartlett School of Graduate Studies University College London, 1998, 405 p.

- KARIMI, Kayvan et MOTAMEDI Nooshin, «The tale of two cities: Urban planning of the city Isfahan in the past and present», *4e International Space Syntax Symposium*, London, 2003, 16 p.

- KAUFMANN, Vincent, *Temps et pratiques modales Le plus court est-il le mieux ?, Recherche Transport Sécurité*, 2002, pp. 131-143.

- KAUFMANN, Vincent, *Mobilité quotidienne et dynamiques urbaines: la question du report modal,* Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2000, 252 p.

-KOOHSARI, Mohammad Javad et *al*., «Using Space Syntax to Assess the Built Environment for Physical Activity: Applications to Research on Parks and Public Open Spaces», *Leisure Sciences*, 2014, Vol. 36, pp. 206-216,

- KOOHSARI, Mohammad Javad et *al.*, «Street network measures and adults' walking for transport: Application of space syntax», *Health et Place*, 2016, Vol. 38, pp. 89-95

- KUIPERS, Benjamin, « Modeling Spatial Knowledge », *Cognitive science*, 1978, Vol. 2, pp. 129-153

- L'HOMME, Serge, *L'analyse structurelle des réseaux techniques : modélisations, propriétés, vulnerabilities*, 2012, Version 1, 13 p., URL : https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00664023

- LAGESSE, Claire et *al.*, « Analyse des réseaux spatiaux- Application au réseau viaire », *RMPD (Road Materials and Pavement Design)*, 2012, Vol. 22, N° 1, pp. 1- 8

- LAGESSE, Claire et *al.*, « Méthodologie de modélisation et de caractérisation des réseaux spatiaux. Application au réseau viaire de paris », *FLUX*, Septembre 2016/3, N° 105, pp. 33-49

- LAKEHAL, Aymen et *al.*, « Modélisation des états de la tâche de wayfinding dans un but de conception de système d'aide à la mobilité des personnes présentant une déficience intellectuelle », *30eme conférence francophone sur l'interaction homme-machine*, Brest, Octobre 2018, 7 p.

- LAMIQUIZ, Patxi J. et DOMÍNGUEZ, Jorge López, « Effects of built environment on walking at the neighbourhood scale. A new role for street networks by modelling their configurational accessibility?», *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2015, Vol. 74: C, pp. 148-163

- LANG, Jon, *Creating Architectural Theory: The Role of the Behavioral Sciences in Environmental Design,* Van Nostrand Reinhold, 1987, 278 p.

- LAURENT, Amélie et FONDRILLON, Mélanie, « Mesurer la ville par l'évaluation et la caractérisation du sol urbain : l'exemple de Tours To measure the city by the evaluation and characterization of urban land: the example of Tours », *Revue archéologique du Centre de la France*, Tome 49, 2010, 38 p., URL : http://journals.openedition.org/racf/1485

- LAVADINHO, Sonia, *Le renouveau de la marche urbaine Terrains, acteurs et politiques,* Thèse de doctorat : École Normal Supérieur Lettres & Sciences Humaines, Lyon, Septembre 2011, 723 p.

- LAVADINHO, Sonia et Winkin, Yves, *Vers une marche plaisir en ville. Boîte à outils pour augmenter le bonheur de marcher,* CERTU, 2012, 232 p.

- LEE, Sugie et SEO KyungWook, «Combining space syntax with gis-based built environment measures in pedestrian walking activity», *9e International Space Syntax Symposium*, Seoul, 2013, 14 p.

- LEFEBVRE, Henri, *La production de l'espace,* Anthropos, 1974, 485 p.

- LEFEBVRE, Bastien, *La formation d'un tissu urbain dans la Cité de Tours : du site de l'amphithéâtre antique au quartier canonial (5e -18e s.),* Thèse de doctorat : Université François-Rabelais, 2008, 443 p.

- LERMAN, Yoav et Omer, Itzhak, « Urban area types and spatial distribution of pedestrians: Lessons from Tel Aviv », *Computers, Environment and Urban Systems*, 2016, Vol. 55, pp. 11-23

- LÉVY, Jacques, « Quelle mobilité, pour quelle urbanité ? », *601e Conférence de l'Université de tous les savoirs*, 2006, 12 p., URL : https : //streaming-canal-u.fmsh.fr/vod/media/canalu/documents/utls/download/pdf/050106.pdf

- LÉVY, Jacques, « Ville pédestre, ville rapide», *Urbanisme*, 2008, Vol. 359, pp. 57-59

- LÉVY, Jacques, *L'espace des classes moyennes Espaces et sociétés*, Érès, 2012/1 (N° 148-149), 2012, 304 p.

- LÉVY Jacque et LUSSAULT Michel, *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés,* Paris, Belin : 2013, 1127 p.

- LI, Rui et *al*., « Wayfinding in Libraries: Can Problems Be Predicted? », *Journal of Map And Geography Libraries*, 2012, Vol. 8, pp. 21- 38, DOI: 10.1080/15420353.2011.622456

- LITMAN, T., «Economic Value of Walkability», *World Transport Policy and Practice*, 2004, Vol. 10 :1, pp. 5-14

- L'HOSTIS, Alain, « Théorie des graphes et représentation des distances : chronocartes et autres représentations », Chapitre 9 in Mathis Philippe (dir), *Graphes et réseaux, modélisation multiniveau*, Hermès science: Lavoisier, 2003, pp.215-230 (361 p.)

- LÓPEZ, Ruth Pérez, « Quand le piéton défie la ville : traverser la chaussée à Mexico », *Environnement Urbain/Urban Environment (EUE)*, 2015, Vol. 9, 35 p.

- LOUF, Rémi et Barthelemy Marc, « À typology of street patterns », *Royal society interface*, Vol. 11:101, 2014, 7 p.

- LOURDES, Diaz Olvera et *al*., «La ville hors de portée ? Marche à pied, accès aux services et ségrégation spatiale en Afrique subsaharienne ». *Espace populations sociétés*. 2005/1, URL : https://doi-org.proxy.scd.univ-tours.fr/10.4000/eps.2771

- LUSSAULT, Michel, *Tours, images de la ville et politique urbaine*, Maison des sciences de la ville, Université François Rabelais, 1993, 415 p.

- LUSSAULT, Michel, *De la lutte des classes à la lutte des places*, Paris, Bernard Grasset, 2009, 220 p.

- LYNCH, Kevin, *The Image of the City*, MIT Press, 1960, 208 p.

- MANAUGH, Kevin et EL-GENEIDY, Ahmed M., « Does Distance Matter? Exploring the links among values, motivations and satisfaction in walking trips », *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2013, Vol. 50, pp. 198-208

-MANAUGH, Kevin et GENEIDY, Ahmed, « Validating walkability indices: How do different households respond to the walkability of their neighbourhood? », *Transportation research Part D: Transport and Environment*, 2013, Vol. 16 :4, 309-315 p.

- MARIA, Giannopoulou et *al*., « Trafic network and the urban environment, and adapted space syntax approche », *Social and Behavioral Sciences*, 2012, Vol. 48, pp. 1887-1896

- MARSHALL, Stephen, «Towards the integration of urban transport networks and urban design», *8e World Conference on Transport Research*, Antwerp, Belgium, July1998

- MARSHALL, Stephen, *Streets and Patterns*, Spon Press, London et New York, 2005, 333 p.

- MARSHALL, Stephen, «Un réseau viaire favorable aux transports collectives», (Traduction ; Perrine Warnier revue ; Éric Charmes), *FLUX* N° 66-67 Octobre 2006-Mars 2007, pp. 96-110

- MARSHALL, Wesley et GARRICK, Norman, «Street Network Types and Road Safety: A Study of 24 California Cities», *Urban Design International*, Aout 2009

- MARSHALL, Stephen, «Line structure representation for road network analysis», *JTLU (The Journal of Transport and Land Use)*, Vol. 9 N° 1, 2016, pp. 29-64

- MARSHALL, Stephen et *al*., «Street Network Studies: from Networks to Models and their Representations», *Networks and Spatial Economics*, September 2018, Vol. 18: 3, pp. 735-749

- MARTOUZET, Denis et *al*., « La carte : fonctionnalité transitionnelle et dépassement du récit de vie », *Natures Sciences Sociétés, N°18*, 2010, pp. 158-170, DOI:10.1051/nss/2010020

- MARTOUZET, Denis et *al*., *La mobilité et le périurbain à l'impératif de la ville durable Ménager les territoires de vie des périurbains Le périurbain à l'épreuve des modèles d'habiter La viabilité périurbaine entre théorie(s) et pratique(s)*, Rapport de recherche, Université de Tours François Rabelais, Février 2012, 403 p.

- MARTOUZET, Denis et *al*., « Durabilité des territoires périurbains et attitudes des habitants face à la notion de durabilité », Chapitre in *Vivre en ville hors des villes*. Synthèse du programme de recherche *: La mobilité et le péri-urbain à l'impératif de la ville durable : ménager les territoires de vie des péri-urbains*, PUCA (Plan Urbanisme Construction Architecture), 2014, pp. 77-102
URL : http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1161075.pdf

- MATEO-BABIANO, Iderlina et IEDA, Hitoshi, « Street Space Sustainability in Asia: The Role of the Asian Pedestrian and Street Culture », *The Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2007, Vol. 7, pp. 1915- 1930

- MATHIS, Philippe (dir), « Puissance et insuffisances des graphes pour la description et la modélisation des réseaux », Intoduction in *Graphes et réseaux, modélisation multiniveau*, Hermès science: Lavoisier, 2003, pp.19-47 (361 p.)

- MCKIBBIN, Matthew, «The influence of the built environment on mode choice-evidence from the journey to work in Sydney», *Australasian Transport Research*, Adelaide, September 2011, 12 p., URL : http://www.patrec.org/atrf.aspx

- METHORST, Rober et MONTERDE, Hector-i-Bort, « Summary Functional Needs section », In: *358 PQN (Pedestrians' Quality Needs) Final Report, Part B1: Documentation, Functional Needs*, Walk 21, COST, Cheltenham (United Kingdom), 2010, pp. 5-18 (310 p.)

- METHORST, Rober, «Assessing Pedestrians' Needs, The European COST 358 PQN project», *8e Annual International Conference on Walking and Liveable Communities*, Walk 21, Putting Pedestrians First, Toronto, Canada, 2007, pp.1-21

- MICHAEL, Y.L. et *al*., «Neighbourhood Design and Active Aging», *Health & Place*, 2006, Vol. 12, pp. 734-740

- MICOUIN, Patrice, *Proposals for the definition and the implementation of systems engineering processes: application au cas de la conceptin concourante dans le secteur de l'automobile*, Thèse de doctorat : École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris, septembre 2006, 179 p.

- MILAKIS, Dimitris et *al*., « Relationships between Urban Form and Travel Behaviour in Athens, Greece. A Comparison with Western European and North American Results », *EJTIR (Journal of Transport and Infrastructure Research)*, Vol. 8 :3, September 2008, pp. 201-215, ISSN: 1567-7141, www.ejtir.tbm.tudelft.nl

- MIRZAEI, Enayat et *al*., «Utilitarian and hedonic walking: examining the impact of the built environment on walking behavior», *European Transport Research Review*, 2018, Vol. 10:20, 14 p., URL : https://doi.org/10.1186/s12544-018-0292-x

- MISSLIN, Renaud et *al*., « Mobilités actives et santé: apports et limites d'un protocole de mesure de la marche et du vélo combinant des capteurs de mouvements (GPS et accéléromètres) », *Cybergeo: European Journal of Geography*, 2015, 22 p., URL : https://doi.org/10.4000/cybergeo.26711

- MOBILLION, Virginie et CHARREIRE, Hélène, « Évaluer les mobilités actives dans les espaces urbains : enjeux méthodologiques en santé publique », *4e Colloque francophone international du GERI COPIE*, novembre 2013, Montréal, pp. 17-24, URL : http : //espace.inrs.ca/id/eprint/4436/1/ville-sous-nos-pieds.pdf

- MOESSINGER, Pierre, « Les raisons et les sentiments », *L'Année sociologique* (1940/1948), 1996, Vol. 46 : 1, pp. 213-223

- MOHAMED, A.A. et *al.*, « The socio-economic implications of the spatial configuration in greater Cairo metropolitain area », *9e Symposium international de Space Syntax*, Seoul, 2013, 18 p.

- MOKHTARZADEH, Safoora, « Analysis of the relation between spatial structureand the sustainable development level. A case study from Mashhad/Iran », *8e Space Syntax Symposium*, Chili, 2012, 18 p.

- MOLES, Abraham et ROHMER, Elisabeth, *Psychologie de l'espace*, Paris, Casterman, 1972, 162 p.

- MOLINER, Pascal, *Images et représentations sociales. De la théorie des représentations à l'étude des images sociales*, Presses Universitaires de Grenoble, Grenoble, 1996, 280 p.

- MONJARET, Bruno, « Observatoire des mobilités actives, index national des fréquentations vélo en agglomération », *Club des villes et territoire cyclable*, 2017, 12 p., URL : http://www.villes-cyclables.org/modules/kameleon/upload/1Index2017VeloDef.pdf

- MONTELLO, Daniel R. et CORINA, Sas, « Human factors of wayfinding in navigation », *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*, CRC Press/Taylor et Francis, Londre, Angleterre, 2006, 18 p.

- MONTELLO, Daniel R., « The contribution of space syntax to a comprehensive theory of environmental psychology », *6e International Space Syntax Symposium*, Istanbul, 2007, 12 p.

- MORIN, Eymeric et *al*., « Évolution morphologique et sédimentaire de la plaine alluviale d'un espace urbanisé (Tours, Indre-et-Loire, France) Morphological and sedimentary evolution of a floodplain in an urban area (Tours, Indre-et-Loire, France) », *Revue archéologique du Centre de la France*, Tome 52, 2013, 35 p., URL : http://journals.openedition.org/racf/1985

- MOSCOVICI, Serge, *La Psychanalyse, son image et son public,* Presses Universitaires de France (PUF), 1976, 512 p.

- MOSCOVICI, Serge, *Psychologie sociale*, Presses Universitaires de France (PUF), 2003, 640 p.

- MOSER, Gabriel et WEISS, Karine. (Sous la direction), *Espaces de vie aspects de la relation homme-environnement,* Paris, Armand Colin, 2003, 396 p.

- MOURA, Filipe et *al*., « Measuring walkability for distinct pedestrian groups with aparticipatory assessment method: A case study in Lisbon », *Landscape and Urban Planning*, 2017, Vol. 157, pp. 282-296

- MURARD, Frédéric, «Développer la marche en ville : pourquoi, comment ?», *TECHNI. CITÉS*, N° 227, 8 avril 2012, 6 p.

- NADER, Brigitte, « Personnes âgées, les oubliées du territoire », *Les déterminants socio-environnementaux de la santé des aînés,* La Santé de l'Homme, INPES, 2011, 411 p.

- NAMDARIAN, Ahmad Ali et al., «The Network of Madis and the Urban Development of Isfahan along the Safavid Era», *Journal of Iranian Architecture Studies*, 2017, Vol. 5: 10, pp. 207-228

- NEWMAN, P. et KENWORTHY J., *Cities and Automobile Dependence,* An International Sourcebook, Aldershot: Gower Technical, 1989, 388 p.

- NICOLAS, Chausson et FILLOD-BARBARINO, Natalia, « Analyse de la mobilité par suivi GPS Observation zigzagante des salariés de la Porte des Alpes », *Séminaire Urban Fabrik Acte II, Nouveaux protocoles et outils d'observation et d'analyse des mobilités*, Grenoble, France, 2011, 15 p., URL : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01620844

- NORIZA, Raja et *al*., « Perceptions of the Urban Walking Environments », *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 105, 2013, pp. 589 - 597

- ORFEUIL, Jean-Pierre, «Mobilité et inégalité dans l'aptitude à la pratique des territoires», *Informations sociales*, N° 104, 2002, 26 p.

- Özbil, Ayse et PEPONIS, John, « Modeling Street Connectivity and Pedestrian Movement According to Standard GIS Street Network Representations », *6e International Space Syntax Symposium*, Istanbul, 2007, pp. 1–10

- ÖZER, Özlem, et KUBAT, A.S., «Walking Initiatives: A Quantitative Movement Analysis», *6e International Space Syntax Symposium*, Istanbul, 2007, 13 p.

- PACHILOVA, Rosica et SAILER Kerstin, «Ward layout, communication and care quality, Spatial inteligibility as a key component of hospital design», *12e Symposium de Space Syntax*, 2019, N° 493, 18 p.

- PAGNAC-BAUDRY, Héloïse, «Environnement urbain et marchabilité : l'exemple du quartier des Aubiers à Bordeaux», *Environnement Urbain/Urban Environment*, Vol. 9, 2015, 21 p.

- PARKS, James R. et SCHOFER, Joseph L., « Characterizing neighborhood pedestrian environments with secondary data », *Transportation Research*, Part D 11, 2006, pp. 250-263

- PASSINI, Romedi, « Spatial représentations, a wayfinding perspective », *Environmental Psychology*, Vol. 4, 1984, pp. 153-164

- PAULET, Jean-Pierre, *Les représentations mentales en géographie*, Economica, 2002, 152 p.

- PECOL, Philippe, *Modélisation 2D discrète du mouvement des piétons : application à l'évacuation des structures du génie civil et à l'interaction foule-passerelle*, Thèse de doctorat : Université Paris-Est, Décembre 2011, 200 p.

- PEPONIS, John. et *al*., « Finding the building in wayfinding », *Environment and behavior*, 1990, Vol. 22 :5, pp. 555-590.

- PEPONIS, John. et *al*., «On the description of shape and spatialconfiguration inside buildings: convex partitions and their local properties», To appear in *Environmentand Planning B, Planning and Design*, Vol. 24, 1997, pp. 761-781

- PERDUEA, Nicholas, «Agent-based Models in Supporting Pedestrian Transportation Planning and Design», *Humboldt Journal of Social Relations*, 2019, Vol. 41, pp. 24-41

- PERRY, Clarence, *The Neighborhood Unit: A Scheme of Arrangement for the Family-Life Community*, Regional Plan of New York and Its Environs New York: Arno Press, 1929, 119 p.

- PHAN, Denis, « La modélisation à base d'agents et la simulation par systèmes multi-agents de sociétés d'agents intentionnels », Chapitre 7 in Varenne Franck (dir), *Modéliser & simuler -Tome 2. Epistémologies et pratiques de la modélisation et de la simulation*, Paris, Éditions Matériologiques, « Modélisations, simulations, systèmes complexes », 2014, pp. 193-244.

- PHILIPPE, Menerault, « Contribution à une analyse morphologique des réseaux viaires », *FLUX*, Cahiers scientifique internationaux réseau et territoire, 1994, N° 16, pp. 49-67

- PIAGET, Jean et INHELDER, Barbel, *La psychologie de l'enfant*, Paris : Presses universitaires de France (PUF), 1967, 128 p.

- PIAGET, Jean et INHELDER, Barbel, *La représentation de l'espace chez l'enfant*, Presses Universitaires de France (PUF), 1972, 574 p.

- PIAGET, Jean, *La construction du réel chez l'enfant,* Delachaux Et Niestlé, 1973, 340 p.

- PIOMBINI, Arnaud, *Modélisation des choix d'itinéraires pédestres en milieu urbain. Approche géographique et paysagère*, Thèse de doctorat : Université de Franche-Comté, Décembre 2006, 302 p.

- PIOMBINI, Arnaud, «Apport d'un formalism psychologique a la modélisation des préférences individuelles Application aux choix d'itinéraires pédestres», *Colloque International de Géomantique et d'Analyse spatiale (SAGEO)*, Clermont-Ferrand, Jun 2007, 17 p.

- PIOMBINI, Arnaud et FOLTÊTE Jean-Christophe, «Évaluer les choix d'itinéraires pédestres en milieu urbain», *Revue internationale de géomatique*, Lavoisier, June 2007, Vol. 17 : 2, pp. 207-225.

- PIOMBINI, Arnaud et FOLTÊTE, Jean-Christophe, « Modéliser le rôle des paysages dans les choix d'itinéraires pédestres », *Recherche Transports Sécurité (RTS)*, IFSTTAR, 2008, Vol. 25 : 101, pp.315-326. ⟨ halshs-00559417⟩

- PIOMBINI, Arnaud et *al.*, «Préférences, utilité, choix et attractivité», Chapitre in Frankhauser P. et Ansel D. (dir), *La décision d'habiter ici ou ailleurs*, Anthropos, 2012, pp. 271-305

- PIOMBINI, Arnaud et *al.*, « Environnement bâti et mobilité piétonne - Analyse morphométrique des espaces de visibilité et choix d'itinéraires pédestres », *Colloque International Francophone Piéton*, Montréal, 2013, 14 p.

- PIOMBINI, Arnaud et *al.*, « Usage de la morphométrie dans la révélation des préférences de mobilité. Application aux cheminements piétons », *Revue Internationale de Géomatique*, 2014, Vol. 24 : 1, pp. 101-130

- PORTA, Sergio et *al.*, « Analyse du réseau des voiries urbaines : une approche directe », *Environment and Planning B: Planning and design*, 2006, Vol. 33, pp. 705-725

- POURJAFARA, Mohammadreza et *al.*, «Role of bazaars as a unifying factor in traditional cities of Iran: The Isfahan bazaar», *Frontiers of Architectural Research*, 2014, Vol. 3, pp. 10-19, URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.foar.2013.11.001

- POUYANNE, Guillaume, «Des avantages comparatifs de la ville compacte à l'interaction forme urbaine-mobilité Méthodologie et premiers résultats», *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, N° 45, 2004, pp. 49-82

- POUYANNE, Guillaume, « Note de recherche. Une estimation du lien entre forme urbaine et choix modal. Le cas de six aires urbaines françaises », Armand Colin : *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, N° 3, 2007, pp. 521-541

- PRADEAU, Jean-François, « Des conceptions de l'espace », *EspaceTemps*, N° 62-63, 1996, pp. 50-58

- PREDIT, *Projets de vie et de mobilités durables pour bien vieillir dans les territoires en 2030, Mobilités dans les régions urbaines*, PREDIT, 2012, 174 p.

- PUMAIN, Denise et SAINT-JULIEN, Thérèse, *L'analyse spatiale, localisations dans l'espace,* Armand Colin, Paris, 2004, 167 p.

- PUMAIN, Denise, « Essai sur la distance et l'espace géographique », *ATALA*, N° 12 (La distance, objet géographique), 2009, pp. 33-48

- RACHEL, Thomas, «Quand le pas fait corps et sens avec l'espace. Aspects sensibles et expressifs de la marche en ville», Cybergeo : *European Journal of Geography*, Document 261, Mars 2004, 13 p., URL : https://doi.org/10.4000/cybergeo.4304

- RAFORD, Noah et RAGLAND, David, «Space Syntax Innovative Pedestrian Volume Modeling Tool for Pedestrian Safety», *Transportation Research Board*, 2004, Vol. 1878 :1, 10 p.

- RAHMANI, A. et NACEUR, F., **«** Mouvement pédestre et modalités sensorielles au centre-ville de setif », *Courrier du Savoir*, N° 15, Mars 2013, pp. 105-113

- RAIBAUD, Yves et *al*., *Femmes et mobilité urbaines Analyse des bonnes pratiques de la ville durable sous l'angle des inégalités entre les femmes et les hommes*, Rapport pour Bordeaux Métropole, direction de la mobilité, CESSED, Février 2018, 44 p.

- RAJA, Ariffin et KHAIRI, Zahari. «Perceptions of the Urban Walking Environments», *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2013, Vol. 105, pp. 589–597

- RAMADIER, T. et BRONNER, A-C., « Knowledge of the environment and spatial cognition: JRS as a technique for improving comparisons between social groups », *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2006, N° 33, pp. 285-299

- RAMADIER, T., «Les représentations cognitives de l'espace : modèles, méthodes et utilité», in G. Moser et K. Weiss (dir), *Espaces de vie : aspects de la relation homme-environnement*, Paris : A. Colin, collection « Regard psychosociaux », 2003, pp. 177-200 (396 p)

-RAPOPORT, Amos, *Human Aspects of Urban Form: Towards a Man-environment Approach to Urban Form and Design*, Oxford; New York: Pergamon Press. 1977, 450 p.

- RATTI, Carlo, «Urban texture and space syntax: some inconsistencies», *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2004, Vol. 31, 12 p.

- RAULIN, François et *al*., « Évaluation de la marchabilité de trois environnements urbains de la région métropolitaine », *La revue électronique en sciences de l'environnement*, 2016, Vol. 16, N° 2, 31 p.

- REJEB-BOUZGARROU, Asma, *Analyse des formes morpho-fonctionnelles urbaines : mise en place d'un indicateur de mutations paysagères de la ville de Monastir entre 1956 et 2013*, Thèse de doctorat : Université de Bretagne occidentale - Brest ; Université du Centre (Sousse, Tunisie), 2019, 231 p.

- RENAUD, Lahaye et SYLVIE Ladet, «Les concepts de base des SIG nomades», *Le Cahier des Techniques de l'INRA*, N° special GeoExpe, 2014, pp. 28-35.

- RIBEIRO, Ana Isabel et HOFFIMANN, Elaine, « Development of a Neighbourhood Walkability Index for Porto Metropolitan Area. How Strongly Is Walkability Associated withWalking for Transport? », *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 10 p.

- RODIER, Xavier et GALINIÉ Henri, « Figurer l'espace/temps de Tours pré-industriel : essai de chrono-chorématique urbaine », M@ppemonde, *Maison de la géographie*, 2006, pp.1-15. ⟨halshs-00956168⟩

- RODRIGUE, Jean-Paul, *Claude Comtois, and Brian Slack, The Geography of Transport Systems*, Routledge, 2009, 432 p.

- ROLIM, Ana et *al*., « From progressive to labyrinthine: testing formal variations of an exhibition space typology », *12e Symposium de Space Syntax*, 2019, N° 291, 14 p.

- ROUSSEL, Julie, *Le confort de la marche dans l'espace public parisien : représentations, pratiques, enjeux*, Thèse de doctorat : Université Paris-Est, 2016, 303 p.

- SADEGHI, Sara et *al*., « Analysis of the effects of contemporary urban development plans on the spatial structure of north Isfahan's historical core », *Motaleate Shahri*, 2013, Vol. 2 :5, pp. 3-12

- SAMUEL, Carpentier, « Structuration urbaine et typologie des communes luxembourgeoises pour l'étude de la mobilité quotidienne », 2006, pp.20. ⟨halshs-01132902⟩

- SAMUELSON, P. A., « A Note on the Pure Theory of Consumer Behavior », *Economica*, 1938, Vol. 5, pp. 61-71

- SARAIVA, Susana et *al*., «Bahrain-continuity and rupture traditional and subsidized housing In Bahrain», *11e Space Syntax Symposium*, 2018, 17 p.

- SARAIVA, Susana et *al*., « Rethinking contemporary domestic space organization: Patterns of alterations in bahrain subsidized housing projects », *12e Symposium de Space Syntax*, N° 428, 2019, 17 p.

- SCHLOSSBERG, Marc et *al*., «School trips: Effects of urban form and distance on travel mode», *American Planning Association*, N°72 :3, 2006, pp. 337-346

- SERRA, Miguel et HILLIER, Bill, «Angular and Metric Distance in Road Network Analysis: A nationwide correlation study», *Computers, Environment and Urban Systems*, 2019, Vol. 74, pp. 194-207

- SHARMIN, Samia et KAMRUZZAMAN, Md., « Meta-analysis of the relationships between space syntax measures and pedestrian movement », *Transport Reviews*, 2017, Vol. 38:4, pp. 524-550, DOI : 10.1080/01441647.2017.1365101

- SHOKOOHI, Roya et *al*., « Children Walking to and from School in Tehran: Associations with Neighbourhood Safety, Parental Concerns and Children's Perceptions », *Asian Journal of Environment-Behaviour Studies*, 2011, Vol. 2 :4, pp. 13-25

- SINGH, Richa, « Factors affecting walkability of neighborhoods », *Procedia- Social and Behavioral Sciences 216*, 2016, pp. 643-654

- SOUTHWORTH, Michael et Eran Ben-Joseph, *Streets and the Shaping of Towns and Cities*, Island Press, 27 juin 2003, 197 p.

- SOUTHWORTH, Michael, «Designing the Walkable City», *Urban planning and development ASCE*, december 2005, pp. 246-257, URL : https://doi.org/10.1061/ (ASCE) 0733-9488 (2005) 131:4 (246)

- SPACE SYNTAX, *La morphologie spatiale des quartiers européens, partie A, Diagnostic de la structure spatiale existante, Région de Bruxelles-Capitale*, Fondation Roi Baudouin, Bruxelles, 2006, 44 p.

- SPACE SYNTAX, *La morphologie spatiale des quartiers européens, partie B, diagnostic de la structure spatiale existante*, Fondation Roi Baudouin, Bruxelles, 2007, 35 p.

- STEAD, Dominic et MARSHALL, Stephen, « The Relationships between Urban Form and Travel Patterns An International Review and Evaluation », *EJTIR (Journal of Transport and Infrastructure Research*), N° 2, 2001, pp. 113-141, DOI:10.18757/ejtir.2001.1.2.3497

- STEFAN, Reyburn, «L'urbanisme favorable à la santé : une revue des connaissances actuelles surl 'obésité et l'environnement bâti», *Environnement Urbain*, 2010, Vol. 4, 23 p.

- STRANSKY, Vaclav, *Forme et fonction d'un réseau : cas de la voirie urbaine de desserte locale*, Thèse : Université Paris XII - Val de Marne, 1995, 599 p.

- SYMONDS, Paul, *Finding Our Way: A Socio-Cultural Exploration of Wayfinding as an Embodied Experience*, Thèse de doctorat : Cardiff Metropolitan University, September 2017, 281 p.

- TEKNOMO, Kardi et *al*., « Review on Microscopic Pedestrian Simulation Model », *Japan Society of Civil Engineering Conference*, Japan, Mars 2000

- TERRIN Jean-Jacques, « Le piéton dans la villel 'espace public partagé », *Parenthèses*, 2011, 280 p., www.editionsparentheses.com

- THAO-PHAM, Thi Huong ,*Apports et difficultés d'une collecte des données à l'aide du récepteur GPS pour réaliser une enquête sur la mobilité*, Thèse de doctorat : Université Paris-Est, mai 2016, 148 p.

- THISSE, Jacques-François et BILLOT Antoine, « Modèles de choix individuels discrets : théorie et applications à la micro-économie », *Revue économique*, 1995, Vol. 46 : 3, pp. 921-931, DOI:10.3406/reco.1995.409707

- THOREAU, Henry David, *De la marche*, 1001 Nuits, Traducteur : Thierry Gillyboeuf, Barcelon, 2003, 79 p.

- TOM, Ariane et *al*., «Approche psychologique de l'activité de traversée des piétons Implications pour la simulation Pedestrians crossing», *Recherche Transports Sécurité*, N° 101, 2008, pp. 265-279

- TRAN, Dong-Binh et *al*., «Morphologie urbaine et mobilité dans la Communauté Urbaine de Strasbourg. Cybergeo: European Journal of Geography », *Systèmes, Modélisation, Géostatistiques*, document 702, décembre 2014, 30 p., URL: http://journals.openedition.org/cybergeo/26665

- *Vacher, Luc, Réflexion géographique sur la distance, une approche par les pratiques de tourisme, Thèse de doctorat : Université d'Angers, 2014, 256 p.*

- VAEZ, Sima et *al.*, « Urban Form and Wayfinding: Review of Cognitive and Spatial Knowledge for Individuals' Navigation », *ATRF (Australasian Transport Research Forum)*, 2016, 15 p.

- VAUGHAN, Laura et *al*., «Space and exclusion: does urban morphology play a part in social deprivation?», *Area*, 2005, Vol. 37: 4, pp. 402- 412

- VICTOR, Nadja, *Evaluation des déplacements piétons quotidiens : Application à la ville de Luxembourg*, Thèse de doctorat : Université Jean Monnet, 2016, 430 p.

- VTPI (2005), Online *TDM Encyclopedia*, Victoria Transport Policy Institute (www.vtpi.org).

- VURUCULAR, Elif et CIRAVOĞLU, Ayşen, «Spatial Morphology of Rebel cities: The cases Of Madrid, Merida and Istanbul», *10e International Space Syntax Symposium*, 2015, Londre, N° 61, 19 p.

- WEI, Vicky Feng et LOVEGROVE, Gord, «Sustainable road safety: A new (?) neighbourhood road pattern that saves VRU lives», *Accident Analysis and Prevention*, 2012, Vol. 44, pp. 140-148

- WEISMAN, Jerry, « Evaluating Architectural Legibility: Way-Finding in the Built Environment », *Environment and Behavior*, 1981, Vol. 13 :2, pp. 189-204

- WHYTE, H. William, *The Social Life of Small Urban Spaces*, Project for Public Spaces Inc, Washington D.C., 1980, 125 p.

- WIENER, Jan M. et *al.*, « Towards a Taxonomy of Wayfinding Tasks: A Knowledge-Based Approach », *Spatial Cognition & Computation*, 2009, Vol. 9 :2, 13 p.

- YOAV, Lerman et *al*., «Using Space Syntax to Model Pedestrian Movement», *Urban Transportation Planning, Geographical Analysis*, 2014, Vol. 46, pp. 392- 410

- ZEKRI, Elyes, *Caractérisation environnementale et comportementale des parcours piétonniers en milieu urbain,* Thèse de doctorat : Université de Nantes, 2010, 171 p.

- ZELEZNY, Richard, « Le tramway et le piéton au cœur des quartiers résidentiels d'aujourd'hui : pouvons-nous en tirer des enseignements de la passe ? Un contexte de comparaison franco-tchèque », *Colloque International du LABEX Futurs urbains : Enjeux*

interdisciplinaires émergents pour comprendre, projeter et fabriquer la ville de demain, 2013, 37 p., URL : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00871112

- ZHENG, Yinan et *al*., « Pedestrian Traffic Operations in Urban Networks », *Transportation Research Procedia*, 2016, Vol. 15, pp. 137-149

Table des matières

Remerciements 1

Résumé 3

Résumé en anglais 5

Sommaire 7

Liste des tableaux 10

Liste des figures 12

INTRODUCTION GÉNÉRALE 17

PREMIÈRE PARTIE - LE PIÉTON DANS L'ESPACE URBAIN : DES ÉLÉMENTS DE CONTEXTE À LA QUESTION DE RECHERCHE ET À L'HYPOTHÈSE 37

INTRODUCTION DE LA PREMIÈRE PARTIE 39

CHAPITRE I - L'orientation des piétons dans l'espace urbain à partir des représentations de l'espace 41

Introduction du chapitre I 41
1-1- L'orientation des piétons dans l'espace urbain 42
1-2- L'appréhension et connaissance de l'espace 48
1-2-1- Les définitions de l'espace 48
1-2-2- La définition des représentations de l'espace 54
1-2-3- Le processus de construction des représentations de l'espace lors du déplacement 61
1-2-3-1- L'acquisition d'informations sur l'espace 62
1-2-3-2- Les filtres sensoriels de l'information 63
1-2-3-3- Le traitement et l'interprétation de l'information 64
1-2-3-4- La création de modèles simplifiés de l'espace 68
1-2-4- Les principaux facteurs contribuant aux représentations de l'espace lors du déplacement 70
1-2-4-1- Les facteurs liés à l'environnement du déplacement 70
1-2-4-2- La configuration du réseau de voirie 74
1-2-4-3- Le moyen de déplacement 75
1-2-4-4- La familiarité avec l'environnement du déplacement 78
1-2-4-5- Les sources d'acquisition d'informations et les représentations de l'espace. 79
1-3- La prise de décision du choix d'itinéraire 81
Conclusion du chapitre I 85

CHAPITRE II - Les facteurs intervenant dans le choix d'itinéraire 89
Introduction du chapitre II 89
2-1- Deux approches théoriques du choix d'itinéraire 90
2-1-1- L'approche du choix rationnel, une approche de l'économie 90
2-2-1- L' approche du choix cognitif, une approche de la psychologie 92
2-2- La prise en compte de la distance dans le choix d'itinéraire 95
2-2-1- Les définitions de la distance 95
2-2-1-1- La distance objective et le déplacement 98
2-2-1-2- La distance subjective : la sous-estimation et la surestimation de la distance réelle 100
2-2-2- L'appréhension de la distance : l'individu, l'environnement, les circonstances . 101
2-2-2-1- Les caractéristiques individuelles des piétons 102
2-2-2-2- Les facteurs liés à l'environnement construit 104
2-2-2-3- La configuration du réseau de voirie et la simplicité du réseau 106
2-2-2-4- Les conditions de déplacement 108
Conclusion du chapitre II 113
CHAPITRE III - La contribution de l'environnement construit au choix d'itinéraire 115
Introduction du chapitre III 115
3-1- Les besoins principaux et les attentes des piétons 116
3-2- Un environnement urbain adapté aux piétons 124
3-3- La marchabilité de l'environnement urbain 126
3-2-1- De la ville marchable à la ville marchée 129
3-2-2- La densité de l'environnement construit 132
3-2-3- La diversité des usages du sol 134
3-2-4- L'accessibilité aux services de base 137
3-2-5- Le design de l'environnement urbain et le réseau de voirie 140
3-2-5-1- Le modèle prédominant du tracé de rues et la taille des îlots urbains 141
3-2-5-2- La connectivité du réseau de voirie (l'intensité des intersections) 144
3-2-5-3- La configuration du réseau de rues 146
3-2-5-4- La qualité d'aménagement de l'espace public 149
Conclusion du chapitre III 159
CONCLUSION DE LA PREMIÈRE PARTIE 163
DEUXIÈME PARTIE - MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE, CONSTITUTION DES DONNÉES THÉORIQUES ET EMPIRIQUES ET TERRAINS D'ÉTUDE 169
INTRODUCTION DE LA DEUXIÈME PARTIE 171
CHAPITRE IV - Modélisations du *wayfinding* et modélisations du réseau de voirie 173
Introduction du chapitre IV 173
4-1- La modélisation du processus d'orientation des piétons dans l'espace urbain 175
4-1-1- Les modèles cognitifs et mentaux du processus de *wayfinding* (les modèles qualitatifs) 175

4-1-2- Les modèles reposant sur la carte cognitive des personnes 178
4-1-3- Les modèles quantitatifs microscopiques 179
4-1-4- Les modèles quantitatifs macroscopiques 186
4-1-5- Un modèle quantitatif macroscopique : la Syntaxe spatiale 188
4-2- La modélisation du réseau voirie 191
4-2-1- L'approche fonctionnelle de la modélisation du réseau de voirie 193
4-2-3- L'approche structurelle de la modélisation du réseau de voirie 195
4-3- La Syntaxe spatiale : la modélisation du réseau de voirie et l'orientation des piétons dans l'espace 200
4-3-1- Les principes de la Syntaxe spatiale 200
4-3-2- La configuration du réseau dans la Syntaxe spatiale 204
4-3-3- L'espace et la distance dans la Syntaxe spatiale : la construction de la carte axiale 206
4-3-4- Les mesures d'accessibilité dans la Syntaxe spatiale 210
4-3-4-1- La connectivité 210
4-3-4-2- L'intégration spatiale et la profondeur 211
4-3-4-3- Le choix/l'intermédiarité 214
4-3-4-4- L'intelligibilité 214
4-3-4-5- Le mouvement Naturel 216
4-3-5- Les domaines d'applications de la Syntaxe spatiale 222
4-3-5-1- La relation entre structure spatiale et ségrégation sociale 222
4-3-5-2- En architecture 223
4-3-5-3-Dans les projets urbains 224
4-3-5-4- La thématique des déplacements à pied 225
Conclusion du chapitre IV 231

CHAPITRE V - Méthodes de constitution des données relatives aux déplacements pédestres 235

Introduction du chapitre V 235
5-1- Les différentes méthodes d'acquisition de données pour différents objectifs 236
5-2- L'utilisation des sources de données préalablement disponibles 237
5-3- Les enquêtes par entretiens et par questionnaires 240
5-4- Les comptages de personnes 248
5-5- L'enquête de suivi des individus 250
5-6- Les dispositifs de géolocalisation 252
5-7- Le choix de la méthode de recueil de données des éplacements à pied pour cette thèse : les capteurs GPS 260
Conclusion du chapitre V 263

CHAPITRE VI - Présentation des deux terrains d'étude 267

Introduction du chapitre VI 267
6-1- Le ville d'Ispahan 268
6-1-1-L'évolution générale de la structure spatiale 269
6-1- 2 - Le système de transport 283

6-2- L'agglomération de Tours 289
6-2-1- L'évolution générale de la structure spatiale de Tours 289
6-2-2- Le système de transport 297
Conclusion du chapitre VI 303

CHAPITRE VII - Constitution de la base de données théoriques et empiriques pour cette thèse 305

Introduction du chapitre VII 305
7-1- La constitution de la base de données théoriques : l'application de la Syntaxe spatiale 307
7-1-1- La modélisation de la configuration du réseau de voirie : la carte axiale 307
7-1-2- Le calcul des indices syntaxiques : intégration spatiale et profondeur spatiale 312
7-2- La proposition d'un périmètre d'étude tourangeau conforme aux déplacements empiriques collectés 320
7-3- La constitution de la base de données empiriques : utilisation des traceurs GPS 321
7-3-1 - Les caractéristiques des récepteurs GPS utilisées 322
7-3-2 - Le paramétrage des traceurs GPS 322
7-3-3 - Le déroulement de l'enquête 325
7-3-4 - Les profils des enquêtes 326
7-3-5- L'exploitation des données enregistrées 331
7-3-6 - Le traitement des données enregistrées 332
7-4- La constitution de la base de données empiriques : l'enquête qualitative 343
Conclusion du chapitre VII 345

CONCLUSION DE LA DEUXIÈME PARTIE 347

TROISIÈME PARTIE - ANALYSE DES DONNÉES ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS 353

INTRODUCTION DE LA TROISIÈME PARTIE 355

CHAPITRE VIII - Calcul des mesures syntaxiques de la configuration des réseaux et interprétation des résultats 359

Introduction du chapitre 359
8-1- L'identification des itinéraires théoriques sur le réseau de voirie 361
8-1- 1- L'intégration spatiale globale (R_n) du réseau de voirie d'Ispahan 362
8-1-2- L'intégration intermédiaire spatiale (R_r) des lignes axiales d'Ispahan 374
8-1-3- L'intégration spatiale locale (R_3) des lignes axiales d'Ispahan 379
8-1-4- L'intégration spatiale globale (R_n) du réseau de voirie de Tours 386
8-1-5 - L'intégration spatiale intermédiaire (R_r) des lignes axiales de Tours 397
8-1-6- L'intégration spatiale locale (R_3) des lignes axiales de Tours 401
8-2- La faible intelligibilité de la configuration spatiale des terrains d'étude 406
Conclusion du chapitre VIII 411

CHAPITRE IX : Analyse des trajets enregistrés et interprétation des résultats 415

Introduction du chapitre 415
9-1- Évaluation des attributs géométriques des segments de rues empruntés 417
9-1- 1 - La distance métrique des trajets réellement effectués 417
9-1-2 - Simulation des itinéraires théoriques les plus courts pour chaque couple d'OD 419
9-2- Évaluation du niveau d'importance fonctionnelle des tronçons de rues empruntés ... 428
9-3- Confrontation des données théoriques et empiriques : évaluation des attributs topologiques des segments de rue empruntés 439
9-3-1- Le niveau d'intégration et le profondeur spatiale des tronçons de rue empruntés à Ispahan 440
9-3-2- Le niveau d'intégration et la profondeur spatiale des tronçons de rue empruntés à Tours 442
9-3-3- Niveau d'intégration et profondeur spatiale des itinéraires par rapport à celui des quartiers/IRIS traversés 444
9-4- Évaluation de la distance topologique des trajets 447
9-5- Analyse des discours : interprétation des préférences déclarées 453
Conclusion du chapitre IX 465
CONCLUSION DE LA TROISIÈME PARTIE 469
CONCLUSION GÉNÉRALE 475
Bibliographie 491
Table des matières 517

Fatemeh GHALEHNOEE

L’influence de la structure du réseau de voirie sur les choix d’itinéraire des piétons

Études de cas : Ispahan et Tours

Résumé

Les caractéristiques de l’environnement urbain contribuent au choix d’itinéraire du piéton. Ce travail analyse la relation entre la structure du réseau de voirie et le choix d’itinéraire que font les piétons. L’hypothèse principale de cette recherche consiste à vérifier que la structure du réseau de voirie influence le choix du trajet de chaque piéton. Celle-ci a été testée à Ispahan (Iran) et à Tours (France). S’appuyant sur les approches du choix rationnel et cognitif, cette thèse met en évidence les préférences théoriques, révélées et déclarées des piétons en matière de choix du trajet. Elle montre que les distances métrique et topologique les plus courtes décrivent en partie les trajets effectués. La localisation des activités urbaines contribue fortement à ce choix. Néanmoins, la perception des piétons de la configuration du réseau constitue le principal facteur de leur choix.

Les mots-clés : réseau de voirie, déplacement à pied, choix d’itinéraire, piéton**,** représentations, Syntaxe spatiale, Ispahan, Tours

Abstract

Urban environment characteristics contribute to the choice of pedestrian itinerary. In this research, the relationship between the structure of the street network and the itinerary choice has been evaluated. The main hypothesis of this thesis is to verify that the structure of the street network influences the choice of itinerary for each pedestrian. This has been tested in Esfahan (Iran) and Tours (France). Based on rational and cognitive choice approaches, this thesis highlights the theoretical, revealed and declared preferences of pedestrians in terms of itinerary choice. It shows that the shortest metric and topological distances partly describe the journeys made. The location of urban activities strongly contributes to this choice. However, pedestrians' perception of the network configuration is the main factor in their choice.

Keywords: street network, walking, itinerary choice, pedestrian**,** representations, Space syntax, Isfahan, Tours